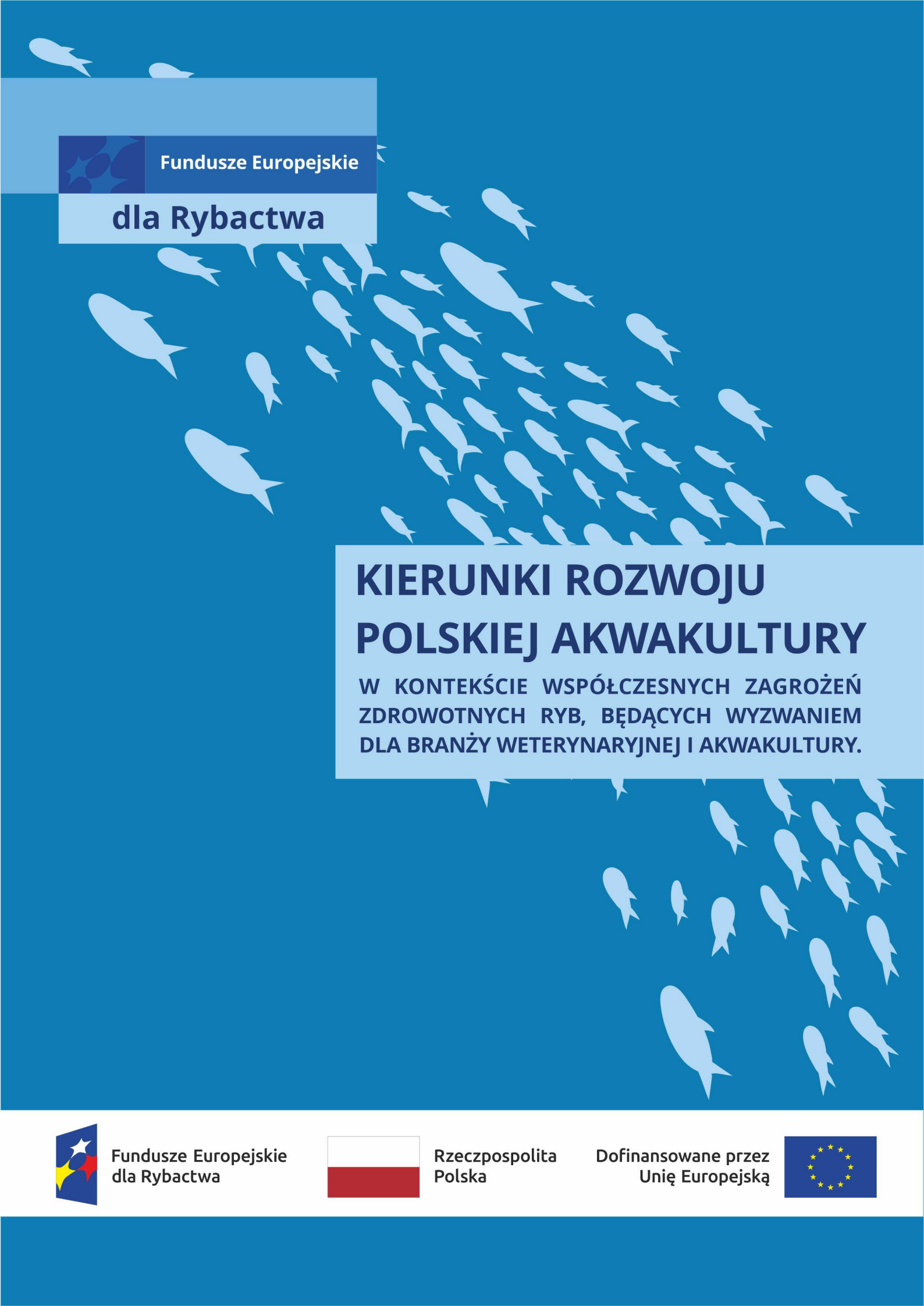




Fundusze Europejskie

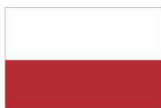
dla Rybactwa

KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY

W KONTEKŚCIE WSPÓŁCZESNYCH ZAGROŻEŃ
ZDROWOTNYCH RYB, BĘDĄCYCH WYZWANIEM
DLA BRANŻY WETERYNARYJNEJ I AKWAKULTURY.



Fundusze Europejskie
dla Rybactwa



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Publikacja pokonferencyjna, w ramach wydarzenia: Szkolenie – konferencja „Kierunki rozwoju polskiej akwakultury w kontekście współczesnych zagrożeń zdrowotnych ryb, będących wyzwaniem dla branży weterynaryjnej i akwakultury” - zrealizowanej w ramach projektu dofinansowanego w ramach Funduszy Europejskich dla Rybactwa - umowa o dofinansowanie NR FEDR.02.01-IP.01-0022/24.

Organizatorzy - beneficjenci:

- Nadnotecka Grupa Rybacka z siedzibą w Trzciance



- Polskie Towarzystwo Nauk Weterynaryjnych - Oddział Gdański PTNW oraz Sekcja Ichtiopatologii PTNW



Wydarzenie objęte patronatem Dziekan Wydziału Medycyny Weterynaryjnej i Nauk o Zwierzętach Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.



Autorzy i współpraca merytoryczna:

- mgr inż. Michał Blitek - Instytut Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności PAN
- lek. wet. Maciej Dragan - Dragan Fish Wet Serwis
- lek. wet. Hanna Głowacka - Zakład Higieny Weterynaryjnej w Bydgoszczy
- dr hab inż. Piotr Gomułka - prof. UWM - Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
- mgr inż. Wojciech Jóźwiak - Nadnotecka Grupa Rybacka / Akwakultura Rybakja
- dr hab inż. Radosław Kajetan Kowalski - prof. PAN - Instytut Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności PAN
- lek. wet. Marek Kubica - Państwowa Inspekcja Weterynaryjna
- dr inż. Marcin Kuciński - Uniwersytet Gdański
- prof dr hab. inż. Konrad Ocalewicz - Uniwersytet Gdański
- dr. hab Agnieszka Pękala-Safińska - prof. UPP - Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
- mgr Ziemowit Pirtań - Akwakultura Rybakja / Nadnotecka Grupa Rybacka
- prof dr hab. Małgorzata Pomorska-Mól - Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
- dr inż. Beata Sarosiek - Instytut Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności PAN
- lek. wet. Agnieszka Świątalska - Zakład Higieny Weterynaryjnej w Gdańsku
- mgr inż. Aleksandra Tomczykowska - Zakład Higieny Weterynaryjnej w Gda

Redaktor naukowy: dr hab inż. Radosław Kajetan Kowalski - prof. PAN

Recenzent: dr. hab Agnieszka Pękala-Safińska - prof. UPP
Skład i łamanie: Agencja Studio Oko
© Copyright by Nadnotecka Grupa Rybacka, Trzcianka 2025
Wydawca: Agencja Studio Oko, Wałcz
ISBN 978-83-978975-2-6

Spis treści

DBAŁOŚĆ O DOBROSTAN RYB W PRAKTYCE LEKARSKO-WETERYNARYJNEJ.....	3
DOBROSTAN RYB CZYM JEST I JAK POWINNI PODCHODZIĆ DO NIEGO PROFESJONALIŚCI.....	7
DOBROSTAN RYB W ASPEKCIE PROFILAKTYKI ZDROWOTNEJ.....	21
SZCZEPIONKI I SZCZEPIONKI AUTOGENICZNE: ANALIZA ZNACZENIA W PROFILAKTYCE - POTENCJAŁ W PRZYSZŁOŚCI.....	29
ZMIENNOŚĆ WARUNKÓW ŚRODOWISKA WODNEGO, A ZDROWOTNOŚĆ RYB.....	33
AKTUALNE CHOROBY ŚRODOWISKOWE RYB – PROBLEM „ZŁOTEJ ALGI” W ICHTIOPATOLOGII.....	38
GENETYKA I NARZĘDZIA DO MAPOWANIA GENÓW – DOSTĘPNE ROZWIĄZANIA I ICH POTENCJAŁ WYKORZYSTANIA W ROZWOJU AKWAKULTURY I WETERYNARII.....	39
MANIPULACJE GENOMOWE I INNE TECHNOLOGIE ZARZĄDZANIA ROZRODEM RYB – MOŻLIWOŚCI WPŁYWU NA JAKOŚĆ RYB I ICH ODPORNOŚĆ.....	43
ZMIANY LEGISLACYJNE W PRAWIE WETERYNARYJNYM W POLSCE I UE CO NAS CZEKA?.....	49
Appendix:	
app.1 - Raport z realizacji projektu "Salmocross"	
app.2 - Relacja fotograficzna ze szkolenia-konferencji: "Tego nie da się opisać, to trzeba zobaczyć"	

DBAŁOŚĆ O DOBROSTAN RYB W PRAKTYCE LEKARSKO-WETERYNARYJNEJ

Agnieszka Pękala-Safińska

Katedra Nauk Przedklinicznych i Chorób Zakaźnych
Wydział Medycyny Weterynaryjnej i Nauk o Zwierzętach
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Wstęp

Czym jest dobrostan? Jest nim taki stan, w którym zwierzę potrafi radzić sobie z presją czynników środowiska, w którym żyje - stan komfortu behawioralnego i fizycznego zwierząt bytujących w określonym środowisku (Broom, 1987). Dobrostan definiowany jest również jako stan zdrowia fizycznego i psychicznego osiągniany w warunkach pełnej harmonii organizmu w jego środowisku (Hughes, 1988). Światowa Organizacja Zdrowia Zwierząt natomiast uważa, że zwierzę posiada prawidłowy dobrostan, jeśli jest zdrowe, trzymane w odpowiednich warunkach, dobrze odżywione, jest w stanie wyrazić wrodzone zachowania i nie cierpi z powodu bólu, strachu i stresu (WOAH, 2008). W 1992 r. Rada Dobrostanu Zwierząt Gospodarskich (Farm Animal Welfare Council, FAWC) opublikowała listę tzw. 5 wolności, cechujących dobrostan zwierząt. Są nimi: wolność od głodu i pragnienia, wolność od dyskomfortu, wolność od bólu, urazów i chorób, wolność od strachu i stresu oraz zdolność do wyrażania normalnego behawioru. W wymienionych punktach zawarta jest filozofia humanitarnego utrzymania i obchodzenia się ze zwierzętami – wydawałoby się kwestii elementarnych i nie budzących wątpliwości, co do zasady. Ale czy aby na pewno są one określone, znane i rozumiane w aspekcie zwierząt akwakultury?

Wytyczne i wskazówki dotyczące dbałości o dobrostan w chowie i hodowli ryb wciąż podlegają walidacji i opracowaniu. Całokształt tych działań bez wątpienia opiera się na procesie zarządzania zdrowiem ryb, obejmującym optymalizację nadzoru zdrowotnego, które to podejście zdecydowanie ułatwi zdefiniowanie punktów krytycznych zagrażających zdrowiu ryb, a więc tych elementów, które naruszają dobrostan.

W odniesieniu do akwakultury znajdujemy niewiele pozycji traktujących na temat dobrostanu ryb, a istniejące opracowania wskazują w sposób bardzo ogólny na poruszane w niniejszym opracowaniu zagadnienia. Informacje na temat dobrostanu można znaleźć w następujących dokumentach:

- Kodeks zdrowia zwierząt wodnych (WOAH), rozdz. 7.3;
- Rozporządzenie Rady WE nr 1099/2009 z dnia 24 września 2009 r. w sprawie ochrony zwierząt podczas ich uśmiercania;
- Sprawozdanie Komisji dla Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie możliwości wprowadzenia pewnych wymogów dotyczących ochrony ryb podczas ich uśmiercania COM(2018) 87, Bruksela, 6.03.2018;
- Wytyczne dotyczące jakości wody i czynności wykonywanych wobec ryb służących zapewnieniu dobrostanu ryb utrzymywanych w gospodarstwie rybackim. Dokument utworzona z własnej inicjatywy grupa ds. ryb w ramach unijnej platformy ds. dobrostanu zwierząt (EU Platform on Animal Welfare Own Initiative Group on Fish DOC.11068.2020 Rev.1).

Wymienione powyżej akty prawne i opracowania stanowią wytyczne natury ogólnej, skierowane głównie na aspekty związane z utrzymaniem ryb. Działania te

powinny być skoordynowane z lekarzem weterynarii, ichtiopatologiem, prowadzącym nadzór nad danym gospodarstwem i współdziałającym z hodowcą.

Działania takie opierać się powinny na sporządzeniu analizy ryzyka wyznaczającego punkty krytyczne w systemie produkcyjnym ryb, mogące znacząco wpływać na obniżenie dobrostanu ryb. Zidentyfikowanie tych punktów pozwoli na realny wpływ lekarza weterynarii na 4 z 5 wolności - wolności od dyskomfortu, bólu, urazów i chorób, od strachu i stresu oraz zdolność do wyrażania normalnego behawioru.

Działania ws. dbałości o dobrostan ryb

Świadomość zagrożeń zdrowotnych ryb (zaburzeń wolności od bólu, urazów i chorób) wraz z możliwością wczesnego ich wykrywania, umożliwiają podjęcie szybkich i adekwatnych działań ograniczających potencjalne obniżenie dobrostanu i wystąpienie strat w hodowli ryb. Aktywny nadzór nad zdrowiem zwierząt wodnych powinien obejmować całokształt zabiegów skierowanych w pierwszej kolejności na zapobieganiu wystąpienia chorób, a w razie konieczności, na szybkiej eliminacji czynnika/ów zakaźnych i zaraźliwych. Działania te można przedstawić w następujący sposób:

- profilaktyka pierwotna – zapobieganie chorobom poprzez kontrolowanie czynników ryzyka;
- profilaktyka wtórna – zapobieganie konsekwencjom choroby poprzez jej wczesne wykrycie i leczenie (przesiewowe badanie przesiewowe).

Profilaktyka pierwotna definiowana jako zapobieganie chorobom poprzez kontrolowanie czynników ryzyka. W odniesieniu do intensywnej produkcji ryb, działania podejmowane w ramach profilaktyki pierwotnej są wielokierunkowe i znajdują szczególnie istotne miejsce w procesie zarządzania akwakulturą, mając bezpośrednie przełożenie w aktach prawnych UE. Przykładem może być zawiadomienie Komisji ws. „Wytycznych dotyczących rozważnego stosowania środków przeciwdrobnoustrojowych w medycynie weterynaryjnej” (2015/C 299/4), w którym to dokumencie, w pkt 6.5 Akwakultura, wskazuje się, iż „stosowanie szczepionek w celu zwalczania chorób najczęściej występujących u ryb jest szczególnie skuteczne”. W ramach profilaktyki pierwotnej należy wymienić następujące obszary działań:

- bioasekurację,
- immunoprofilaktykę.

Bioasekuracja inaczej biologiczna ochrona gospodarstw/hodowli, definiowana jest jako całokształt działań prowadzonych na terenie danego gospodarstwa, jak i w jego najbliższym otoczeniu, których celem jest ochrona biologiczna i zdrowotna gospodarstwa. Innymi słowy, jest to zestaw praktycznych działań i środków zapobiegających przedostawaniu się czynników chorobowych (wirusów, bakterii, pasożytów, grzybów oraz ich wektorów), do gospodarstwa, wdrożonych również w celu kontroli rozprzestrzeniania się infekcji/inwazji na terenie gospodarstwa, tworząc tym samym środowisko wolne od patogenów. Główne wytyczne dotyczące bioasekuracji przedstawia Światowa Organizacja Zdrowia Zwierząt, a Polsce także Główny Inspektorat Weterynarii.

Immunoprofilaktyka polegająca na bezpośrednim pobudzeniu układu odpornościowego organizmu poprzez oddziaływanie różnych czynników, celem uzyskania wyższego statusu immunologicznego. Ryby, w porównaniu do organizmów stałocieplnych, są bardziej narażone na zmienne warunki środowiskowe, które mogą zakłócić ich prawidłowe funkcjonowanie. Wśród nich kluczowe znaczenie mają

parametry fizyko-chemiczne wody czy też oddziaływanie czynników stresogennych, powodując obniżenie statusu immunologicznego ryb. Z tego względu, celem immunoprofilaktyki jest stymulacja mechanizmów odpornościowych organizmu, zabezpieczając go tym samym przed szkodliwym działaniem patogenów. Proces ten może przebiegać na dwóch płaszczyznach: immunoprofilaktyki nieswoistej (niespecyficznej) oraz swoistej (skierowanej na ściśle określony czynnik chorobotwórczy). W pierwszym przypadku, ochronę przeciwko czynnikom chorobotwórczym zapewniają związki określane jako tzw. immunostymulatory, a także prebiotyki czy probiotyki. Immunoprofilaktyka swoista odnosi się natomiast do stosowania szczepień ochronnych, skierowanych na konkretną jednostkę chorobową.

Profilaktyka wtórna polega na zapobieganiu konsekwencjom wystąpienia choroby poprzez jej wczesne wykrycie i leczenie. Wczesne wykrycie zaburzenia zdrowotnego i szybkie rozpoczęcie terapii umożliwia ograniczenie strat w hodowli. Kluczowe działania w tej fazie profilaktyki będą się więc koncentrowały na profilaktycznych badaniach przesiewowych. Mogą być one przeprowadzane w czasie kontroli stanu zdrowia zwierząt. O takiej kontroli jest mowa w art. 25 Rozporządzenia UE 2016/429 (AHL). Według zawartych tam wytycznych, kontroli takiej dokonuje lekarz weterynarii, z częstotliwością proporcjonalną do ryzyka stwarzanego przez dane gospodarstwo. W związku z powyższym, szacowanie ryzyka dla każdego z gospodarstw staje się kluczowe w profilaktyce chorób.

Ocena stanu zdrowotnego ryb leży u podstaw wszelkich działań związanych z ich cyklem produkcyjnym, stając się podstawowym zabiegiem wpisanym w przebieg dobrej praktyki hodowlanej. Nieodwołalne jest ustalenie programu nadzoru stanu zdrowia ryb, którego podstawą będzie przeprowadzanie regularnych badań kontrolnych/profilaktycznych ryb, uwzględniając szacowanie ryzyka określonego dla danego gospodarstwa. W panelu diagnostycznym powinny znaleźć się badania kliniczne, sekcyjne, parazytologiczne, a także bakteriologiczne i wirusologiczne. Wyniki takich badań umożliwiają wnioskowanie o statusie epizootycznym danego gospodarstwa i podjęcie adekwatnych działań zmierzających do realizacji zamierzonych celów hodowlanych.

W przypadku wystąpienia zaburzenia zdrowotnego u ryb o etiologii innej niż wirusowa, istnieje konieczność włączenia terapii ograniczającej wielkość strat w hodowli powstałych w wyniku choroby. Dlatego też, po zaobserwowaniu pierwszych objawów klinicznych, konsultacji ich z lekarzem weterynarii i przeprowadzeniu odpowiednich badań diagnostycznych, przekazywane są zalecenia, w tym podejmowana decyzja o podjęciu odpowiedniego leczenia. Może ono przebiegać w różny sposób: kąpieli terapeutycznych czy też zastosowaniu preparatów doustnych, w tym antybiotyków. Antybiotykoterapia powinna być zawsze zaleceniem lekarza weterynarii, opartym na wynikach diagnostycznych badań laboratoryjnych, polegających na izolacji i identyfikacji czynnika chorobowego, a następnie określeniu jego wrażliwości/oporności na dane chemioterapeutyki. Takie podejście rekomenduje Komisja Europejska w dokumencie mówiącym o „Wytycznych dotyczących rozważnego stosowania środków przeciwdrobnoustrojowych w medycynie weterynaryjnej”, który skupia się na ograniczeniu stosowania środków przeciwbakteryjnych w weterynarii, w tym akwakulturze (Dz. U. C 299 z 11.09.2015). Zaleca on wdrożenie różnych działań, m. in.:

- zapewnieniu odpowiednich warunków środowiskowych w hodowlach, w szczególności w odniesieniu do jakości i parametrów fizyko-chemicznych wody,

prędkości przepływu wody, poziomu nasycenia wody tlenem, a także w odniesieniu do żywienia ryb,

- wykonaniu oznaczenia wrażliwości na środki przeciwbakteryjne przed rozpoczęciem leczenia,
- opracowaniu programów nadzoru nad chorobami celem rozpoznania i pomocy w zapobieganiu potencjalnym wystąpieniom chorobom,
- wdrożeniu środków w zakresie higieny i bezpieczeństwa biologicznego, w tym środków zapobiegających przedostawaniu się i rozprzestrzenianiu zakażeń,
- opracowaniu i wdrożeniu szczepionek i szczepień,
- stosowaniu odpowiednich parametrów dobrostanu, np. w odniesieniu do gęstości obsady.

Z praktycznego punktu widzenia najistotniejszą kwestią jest skuteczność prowadzonej terapii antybiotykowej, manifestująca się zahamowaniem rozwoju choroby. W tym aspekcie kluczowym zagadnieniem jest więc dobór odpowiedniego leku. Terapia ryb zastosowana bez analizy przypadku i danych diagnostycznych, może okazać się nieskuteczna i narazić hodowlę na niepotrzebne straty. Za brak efektów leczenia najczęściej odpowiedzialne są mechanizmy lekooporności, które szybko rozwijają się wśród bakterii. Oporność na chemioterapeutyki może być zjawiskiem naturalnym, a więc będącym stałą cechą mikroorganizmu lub też cechą nabytą w wyniku działania różnych czynników, takich jak powszechne stosowanie chemioterapeutyków, powtarzające się i krótkoterminowe terapie antybiotykowe, nieodpowiednio dobrane dawki leków, jak i okres ich aplikacji, a także aplikacja leków bez zachowania okresów karencji czy stosowanie leków nawet po ustąpieniu klinicznych objawów choroby czy śnięć ryb. Niestety, oporność na powszechnie stosowane chemioterapeutyki obserwowana coraz częściej wśród bakterii izolowanych nie tylko od ryb, staje się obecnie zjawiskiem powszechnym.

W odniesieniu do zagadnień dobrostanowych wspomnieć należy także o humanitarnym uśmiercaniu ryb. Pewne wytyczne w tym zakresie znaleźć można w Rozporządzeniu Rady WE nr 1099/2009 z dnia 24 września 2009 r. w sprawie ochrony zwierząt podczas ich uśmiercania. Danych na temat odczuwania bólu przez ryby, intensywności i jakości tego zjawiska, wciąż jest niewystarczająco dużo, aby można było rozmawiać w tej materii językiem nauki, nie wchodząc niejednokrotnie w polemikę ideologiczną. Bez wątpienia niezbędne w tym zakresie są dalsze badania oraz wsłuchiwanie się w ich wyniki.

Podsumowanie

Mówiąc o dobrostanie, wskazujemy na aspekty znane i stosowane w rutynowych procedurach związanych z hodowlą ryb. Wciąż jednak pozostają obszary wymagające udoskonaleń. Prowadzone prace i badania pozwolą zapewne na uzupełnienie brakujących obszarów.

DOBROSTAN RYB CZYM JEST I JAK POWINNI PODCHODZIĆ DO NIEGO PROFESJONALIŚCI

Radosław Kowalski

Zespół Biotechnologii Rozrodu Organizmów Wodnych
Instytut Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności Polskiej Akademii Nauk w Olsztynie.

Dobrostan ryb od kilkunastu lat przestał być tematem pobocznym lub wyłącznie etycznym – stał się pełnoprawnym obszarem wiedzy naukowej, a równocześnie strategicznym filarem nowoczesnej akwakultury. Rosnące oczekiwania społeczne, zmiany regulacyjne oraz świadomość wpływu stresu na zdrowie i jakość produktu powodują, że profesjonalne podejście do dobrostanu staje się warunkiem koniecznym, a nie opcją dodatkową (Commission, 2021; AAC 2024). Dotyczy to **wszystkich gatunków ryb**, niezależnie od systemu chowu – od gatunków zimnolubnych po tropikalne, od produkcji stawowej po RAS.

Współczesne rozumienie dobrostanu ryb opiera się na jasnym konsensusie naukowym: ryby odczuwają ból, stres i negatywne stany afektywne, co potwierdzają liczne badania, w tym klasyczne prace Sneddon et al. [2003]. Pojęcie dobrostanu nie ogranicza się więc do unikania cierpienia, ale obejmuje kompleksowy stan fizyczny, behawioralny i psychiczny zwierzęcia (Kawamura et al., 2015; Barreto et al., 2022; Castanheira et al., 2017). Takie ujęcie jest spójne z koncepcją „One Welfare”, podkreślającą współzależność między zdrowiem zwierząt, ludzi i środowiska.

1. Antropocentryczna percepcja ryb jako czynnik opóźniający rozwój etyki

Studer (2020) argumentuje, że powolne uznawanie ryb za istoty zdolne do cierpienia wiąże się z głęboko zakorzenionymi schematami percepcji ludzkiej. Bariery te mają charakter zarówno kulturowy, jak i poznawczy.

Ryby nie wykazują zachowań, które człowiek intuicyjnie interpretuje jako oznaki cierpienia — brak mimiki, wokalizacji czy ekspresji posturalnej utrudnia tworzenie więzi empatycznych (Studer, 2020). Zjawisko to przypomina znane z psychologii społecznej „uprzedmiotowienie przez brak podobieństwa” (Haslam, 2006), gdzie zwierzęta o mniej „ludzkich” cechach otrzymują niższy status moralny.

Ryby przebywają w środowisku, do którego człowiek nie ma naturalnego dostępu. Brak bezpośredniej obserwacji ich zachowań i reakcji na stres prowadzi do tzw. „niewidzialności cierpienia” (Balcombe, 2016). Jak podkreśla Studer (2020), nawet aktywiści zajmujący się dobrostanem zwierząt długo nie dostrzegali ryb jako podmiotów moralnych.

Studer (2020) wskazuje, że choć ryby były przedmiotem badań biologicznych już w pierwszej połowie XX wieku, to kwestie bólu i dobrostanu były niemal nieobecne w nauce aż do początku XXI wieku. Autor przywołuje analizę Balcombe’a (2016), według której **69 z 71 prac naukowych dotyczących dobrostanu ryb opublikowano po roku 2001**.

Punktem zwrotnym były badania Sneddon i współpracowników (2003), które wykazały obecność receptorów bólowych (nocyceptorów) u pstrągów. Jak zauważa Studer (2020), dopiero dowód naukowy na możliwość odczuwania bólu przez ryby stworzył presję moralną i polityczną na branżę rybną.

Studer (2020) zwraca uwagę, że ryby stanowią **93–98% wszystkich zabijanych kręgowców**, co odpowiada od 1 do 3 bilionów osobników rocznie (Fishcount, 2020). W porównaniu z około 70 miliardami lądowych zwierząt hodowlanych mamy do czynienia ze **skrajną dysproporcją między skalą cierpienia a poziomem regulacji**.

Badacze zajmujący się etyką zwierząt (np. Singer, 2015) wskazują, że takie dysproporcje są przejawem tzw. „moralnej ślepoty systemowej”.

Rozwój akwakultury od lat 50. XX w. cechował się ekspansją 7–9% rocznie (FAO, 2016), co — jak podkreśla Studer (2020) — było wynikiem decyzji indywidualnych przedsiębiorców, nie planu państwowego. Akwakultura była przedstawiana jako ekologiczna alternatywa dla przełowionych oceanów, co wzmacniało jej wizerunek, nie zwracając uwagi na dobrostan ryb.

Studer (2020) wskazuje, że akwakultura obejmuje ponad **360 gatunków ryb**, podczas gdy zwierzęta lądowe udomowiono zaledwie w liczbie ok. 30 gatunków. Brak wiedzy o etologii większości z nich prowadzi do:

- chronicznego stresu,
- chorób,
- niemożności realizacji potrzeb gatunkowych.

Z etycznego punktu widzenia jest to sytuacja, którą można interpretować jako „eksperymentowanie masowe” (Brambell Committee, 1965).

Akwakultura drapieżników (np. łososia) wymaga ogromnych ilości mączki rybnej pozyskiwanej z dzikich populacji, co — jak zauważa Tacon i Metian (2008) — pogłębia presję ekologiczną. Studer (2020) zwraca uwagę, że przemysł ten „zjada więcej ryb, niż produkuje”.

2. Zasada 3R – fundament etyczny i technologiczny akwakultury

Choć pierwotnie zasada **3R (Replacement, Reduction, Refinement)** odnosiła się do badań na zwierzętach, w akwakulturze jej znaczenie jest jeszcze szersze – dotyczy codziennych decyzji produkcyjnych.

Replacement – zastąpienie

W hodowli ryb obejmuje m.in.:

- rezygnację z procedur inwazyjnych na rzecz metod nieinwazyjnych (np. pomiary kortyzolu z kału [Cao et al., 2017] zamiast pobierania krwi),
- stosowanie kamer wizyjnych zamiast łapania ryb,
- selekcję genetyczną odporności zamiast farmakoterapii (Gopikrishna, 2023; Schjolden & Winberg, 2007).

Reduction – redukcja

Nie chodzi o zmniejszanie produkcji, ale o zmniejszanie **niepotrzebnych obciążeń**:

- minimalizację transportu,
- skrócenie czasu zabiegów,
- odpowiednią gęstość obsady (Weirup et al., 2022; Gilmour et al., 2005),
- planowanie prac tak, aby nie powtarzać stresujących czynności.

Refinement – udoskonalenie

To praktyczne rdzenie dobrostanu:

- inteligentne karmienie,
- stabilna jakość wody,
- wzbogacanie środowiska,
- humanitarny ubój (Toni et al., 2019; Grandin, 2003),
- optymalny transport i przeładunek (Ashley, 2007; Sneddon et al., 2016).

Zasada 3R nadaje dobrostanowi realny kierunek: **mniej stresu – więcej zdrowia – lepsza produkcja**.

3. Kluczowe elementy profesjonalnego podejścia do dobrostanu

W codziennej praktyce najważniejsze są trzy grupy wskaźników (AAC 2024; DEFRA 2014):

Wskaźniki wejściowe

Warunki tworzone przez hodowcę:

- jakość i skład paszy,
- gęstość obsady,
- infrastruktura,
- procedury profilaktyczne.

Wskaźniki środowiskowe

Parametry wody: tlen, temperatura, pH, azotyny, amoniak (Brauner & Richards 2020; Islam et al., 2022).

Wskaźniki wynikowe

To, co mówią same ryby:

- śmiertelność,
- uszkodzenia płetw,
- zachowanie,
- tempo wzrostu,
- agresja,
- wydolność oddechowa.

Wskaźniki wynikowe są nadrzędne – bo jeśli warunki są dobre, ryby zawsze to „pokażą”.

4. Karmienie, środowisko, stres i zdrowie – wspólny system naczyń

Żywnienie wpływa na odporność, stres, zdrowie i skuteczność profilaktyki (Brauner & Richards, 2020). Post powinien być minimalny, bo jego przedłużenie jest stresorem (Sneddon et al., 2016). Z kolei jakość wody jest krytycznym determinantem dobrostanu – zmiany temperatury czy spadek tlenu są najsilniejszymi stresorami u ryb wszystkich gatunków (Islam et al., 2022; Galappaththi et al., 2020). Właściwe zarządzanie dobrostanem ryb umożliwia redukcję potrzeby leczenia (Mateus et al., 2017).

W akwakulturze żaden element nie istnieje w izolacji. Karmienie, jakość środowiska wodnego, poziom stresu oraz ogólny stan zdrowia ryb tworzą jeden **wzajemnie powiązany system**, w którym każda zmiana jednego parametru wywołuje reakcję we wszystkich pozostałych. Zrozumienie tej zależności jest kluczowe, ponieważ od niej zależy nie tylko dobrostan, ale również wydajność produkcji, tempo wzrostu, jakość mięsa oraz odporność całych populacji.

Punktem wyjścia jest biologiczny fakt, że ryby funkcjonują w środowisku wodnym o bezpośrednim kontakcie z ich powierzchnią ciała — skóra i skrzela pozostają w ciągłym, fizjologicznym dialogu z parametrami wody. Każda zmiana tlenu, temperatury czy stężenia metabolitów natychmiast odbija się na ich zachowaniu, metabolizmie oraz na skuteczności układu odpornościowego (Brauner & Richards, 2020; Islam et al., 2022). W takich warunkach nawet pozornie drobne różnice jakości środowiska mogą prowadzić do głębokich konsekwencji zdrowotnych.

Karmienie jest w tym układzie elementem o centralnym znaczeniu. Pasza to nie tylko źródło energii, ale również narzędzie regulujące odporność i reakcje stresowe. Dieta o stabilnym profilu składników odżywczych wspiera rozwój układu pokarmowego, wzmacnia barierę immunologiczną i poprawia tolerancję na stresory środowiskowe. Ryby karmione prawidłowo wykazują mniejszą reaktywność stresową i lepszą odporność na infekcje, natomiast zwierzęta niedożywione lub karmione nieregularnie szybciej reagują agresją, konkurencją i niepokojem, co prowadzi do zaburzeń

behawioralnych i częstszych urazów. Naukowo udowodniono, że regularne karmienie zmniejsza ryzyko konfliktów oraz stabilizuje rytm dobowy, co przekłada się na niższy poziom kortyzolu i lepsze tempo wzrostu.

Z drugiej strony nadmierne karmienie jest równie niebezpieczne. Prowadzi do gromadzenia się resztek organicznych, pogarsza jakość wody i zwiększa obciążenie biofiltracji. W konsekwencji spada poziom tlenu, rośnie amoniak oraz CO₂, co uruchamia pełną reakcję stresową ryb: przyspieszone ruchy oddechowe, zaburzenia równowagi, uszkodzenia skrzelii oraz wyższe ryzyko infekcji wtórnych (Fiordelmondo et al., 2023). W takich warunkach układ odpornościowy działa gorzej, a podatność na patogeny rośnie lawinowo (Mateus et al., 2017).

Warto zauważyć, że stres środowiskowy przychodzi szybciej, niż zwykle się zakłada. Wahania temperatury, nawet w granicach 1–2°C, mogą zaburzać metabolizm, zwłaszcza u gatunków zimnolubnych (Islam et al., 2022; Cui et al., 2025). Skracają one czas przebywania tlenu w wodzie, zwiększają zapotrzebowanie metaboliczne i powodują gwałtowne skoki kortyzolu. Ryby w takich warunkach spożywają mniej paszy, wolniej rosną i częściej zapadają na choroby.

Zależność między środowiskiem a stresem jest szczególnie widoczna w systemach recyrkulacyjnych (RAS), gdzie ryby znajdują się w gęsto kontrolowanym, lecz potencjalnie niestabilnym środowisku. Każda awaria natleniania, nagły wzrost metabolitów czy przerwa w filtracji natychmiast przekłada się na behavior ryb i zdrowie populacji. Stąd wynika znaczenie stałego monitoringu parametrów wody, w tym poziomu tlenu, CO₂, amoniaku, azotynów i temperatury — wskaźników, które łącznie determinują fizjologiczny komfort zwierząt (Brauner & Richards, 2020).

Stres, niezależnie od źródła, ma zawsze ten sam efekt biologiczny: aktywuje oś HPI, prowadząc do wzrostu kortyzolu. Jednorazowa odpowiedź stresowa jest normalna i adaptacyjna, lecz stres przewlekły — wynik słabej jakości wody, nieregularnego karmienia, zbyt dużej gęstości obsady lub niskiej jakości środowiska — staje się czynnikiem immunosupresyjnym. Ryby przestają rosnąć, maleje odporność, a infekcje bakteryjne, pasożytnicze i wirusowe rozprzestrzeniają się szybciej. Chroniczny stres zaburza też zachowania społeczne, prowadząc do agresji, odgradzania się osobników i nierównomiernego wykorzystania paszy.

W praktyce oznacza to jedno: **jeśli środowisko jest stabilne, dieta zbilansowana, a stres minimalizowany, zdrowie populacji staje się naturalnym efektem ubocznym**. Jeśli którykolwiek element zawiedzie — cała równowaga się zawala. Dlatego nowoczesna akwakultura traktuje te cztery obszary jako jeden ciągły system, a nie odrębne moduły produkcji.

Najlepsze gospodarstwa pracują z tą wiedzą na poziomie codziennych decyzji: karmią, obserwują, monitorują parametry i reagują, zanim ryby zaczną wykazywać niepokojące sygnały. Dobrostan w tym obszarze polega nie tyle na reagowaniu na problemy, ile na zapobieganiu im poprzez utrzymywanie stabilnego, przewidywalnego i biologicznie przyjaznego środowiska. Tylko wtedy ryby mogą rozwijać się w sposób naturalny, wykorzystywać swój potencjał wzrostowy, a produkcja może być powtarzalna i bezpieczna ekonomicznie.

5. Transport i przeładunek

To najtrudniejsze momenty w życiu ryby.

Wszelkie błędy — wysoka gęstość, brak tlenu, zbyt długi czas, hałas — podnoszą poziom kortyzolu i zwiększają śmiertelność (Ashley, 2007; Sneddon et al., 2016).

Optymalny transport jest zatem **warunkiem koniecznym**, a nie dodatkiem technicznym.

Transport i przeładunek to bez przesady **najbardziej stresujące momenty w całym cyklu życia ryby**. Żaden inny element produkcji nie ingeruje tak brutalnie w jej homeostazę jak wyjęcie z wody, zagęszczenie, kontakt z siatkami, zmiana temperatury, transport w hałasie, wibracjach i ograniczonej przestrzeni. Badania wykazują, że nawet dobrze zaplanowane operacje generują istotny wzrost kortyzolu oraz zmiany behawioralne (Ashley, 2007; Sneddon et al., 2016). Z tego powodu transport należy traktować nie jako czynność techniczną, lecz jako **procedurę wysokiego ryzyka**, której jakość determinuje zdrowie, śmiertelność i wyniki produkcyjne.

W czasie transportu nakładają się na siebie liczne stresory, których ryba nie może uniknąć:

- **Zagęszczenie** – dramatycznie ogranicza ruch, zaburza hierarchie społeczne, zwiększa kontakt cielesny i ryzyko urazów.
- **Ograniczony dostęp do tlenu** – rosnące stężenie CO₂ i spadające O₂ bezpośrednio wpływają na stres i uszkodzenia skrzeli.
- **Zmiana temperatury i parametrów wody** – nawet różnica 1–2°C może nasilać stres metaboliczny.
- **Wibracje, hałas, ruch samochodu lub łodzi** – rybia linia boczna i układ przedsionkowy są ekstremalnie wrażliwe na bodźce mechaniczne.
- **Ryzyko urazów** – otarcia, uszkodzenia płetw, siniaki, złamania operculum przy niewłaściwym sprężeniu.
- **Brak możliwości ucieczki** – kluczowa różnica między stresem adaptacyjnym (Eustress) a stanie bezradności i chronicznego lęku.

Ryba poddana takim bodźcom w ciągu minut uruchamia kaskadę neuroendokrynną: wzrost katecholamin, aktywacja osi HPI, wydzielanie kortyzolu, a następnie zaburzenia metaboliczne oraz immunosupresja. To nie jest “chwilowy dyskomfort” – to pełny alarm biologiczny organizmu.

Przygotowanie do transportu – fundament dobrostanu

Najważniejsze jest to, co dzieje się **zanim** ryba trafi do zbiornika transportowego.

Profesjonalna akwakultura wykorzystuje trzy etapy przygotowania:

a) Kondycjonowanie

Ryby powinny mieć zapewnione:

- optymalne natlenienie,
- stabilną temperaturę,
- brak manipulacji i hałasu,
- czas na wyrównanie metabolizmu po karmieniu.

Badania pokazują, że krótkookresowe pogorszenie jakości wody przed transportem nawet o kilka godzin potęguje odpowiedź stresową podczas samego przewozu.

b) Post przedtransportowy

Post ogranicza metabolizowanie paszy, redukuje obciążenie jelit i produkcję metabolitów. Czas postu powinien być **najkrótszy potrzebny**, bo jego wydłużenie jest samo w sobie stresorem (Sneddon et al., 2016).

Zwykle:

- gatunki zimnolubne: 12–24 h,
- gatunki ciepłolubne: 8–12 h,
- gatunki wymagające: 24–36 h.

c) Delikatne odłowienie

- siatki miękkie, najlepiej silikonowe, które nie niszczą łusek,
- brak wynoszenia ryb nad wodę (zawsze przetransfer w wodzie),
- minimalizacja kontaktu ze sprzętem,

- praca w ciszy, powolnymi ruchami, bez nagłych bodźców.

To etap, który profesjonaliści często bagatelizują, a ma największy wpływ na kortyzol.

Optymalne warunki transportu

a) Gęstość obsady

Jedyny parametr, który wprost determinuje ryzyko śmiertelności.

Gęstość musi uwzględniać:

- gatunek,
- temperaturę,
- wielkość osobników,
- czas transportu,
- stężenie tlenu i CO₂,
- typ pojemnika.

Zbyt mała gęstość zwiększa agresję, zbyt duża – ryzyko przyduszenia i urazów.

Profesjonalne systemy ustalają gęstość *dynamicznie*, nie według sztywnych tabel.

b) Tlen i dwutlenek węgla

Wysoka jakość natlenienia jest kluczowa.

Jeśli O₂ spada, ryby zaczynają gwałtownie wentylować skrzela, co zwiększa uszkodzenia i śmiertelność. CO₂ działa narkotycznie i ogranicza możliwość pobierania tlenu.

Najlepsze systemy stosują:

- czysty tlen,
- automatyczne sterowanie,

c) Temperatura

Zmiana temperatury jest jednym z najsilniejszych stresorów u ryb wszystkich gatunków (Islam et al., 2022).

Dlatego:

- temperatura wody w zbiorniku transportowym musi być **identyczna** jak temperatura wody w systemie produkcyjnym,
- dopuszczalna różnica: maks. 0,5–1°C.
Szybkie schładzanie, stosowane niekiedy u gatunków zimnolubnych, by „uspokoić” ryby, musi być realizowane **wyłącznie** w oparciu o specyfikę gatunku — może bowiem zwiększyć śmiertelność.

d) Jakość wody: amoniak i azotyny

Amoniak w formie niezjonizowanej (NH₃) jest neurotoksyczny, a ryby pod stresem wydalają go więcej.

Bezbuforowy transport w twardej wodzie prowadzi do gwałtownego wzrostu amoniaku i uszkodzeń skrzeli.

Profesjonalne systemy stosują:

- biofiltrację w obiegach zamkniętych,
- buforowanie pH,
- częściowe podmiany wody podczas postoju.

6. Wibracje, hałas i bodźce mechaniczne

Ryby odczuwają wibracje **kilkanaście razy silniej niż ssaki**, głównie dzięki linii bocznej i układowi przedsionkowemu.

Transport drogowy to:

- stałe drgania,
- zmienne przyspieszenia,
- hałas o niskiej częstotliwości.

Te bodźce powodują:

- wysoki poziom kortyzolu,
- dezorientację,
- czasami zaburzenia równowagi,
- zwiększenie reaktywności i paniki.

Z tego powodu:

- samochód powinien poruszać się możliwie płynnie,
- unikać gwałtownego hamowania,
- stosować wygłuszenie,
- minimalizować drgania poprzez prawidłowe mocowanie zbiorników.

W akwakulturze morskiej transport łodzią wiąże się dodatkowo z:

- falowaniem,
- rezonansami kadłuba,
- zmianami ciśnienia.

Te czynniki potęgują stres nawet przy krótkich dystansach.

7. Przeładunek – punkt krytyczny

Jeśli jeden etap całej procedury transportu jest naprawdę ryzykowny – to właśnie **przeładunek**.

Odpowiednio prowadzony:

- minimalizuje czas wyniesienia ryby ponad powierzchnię wody,
- eliminuje kontakt z twardymi krawędziami,
- ogranicza zginiatanie ryb warstwami własnych ciał,
- pozwala utrzymać stabilną temperaturę i tlen.

Zasady profesjonalnego przeładunku:

Przenosić ryby tylko w wodzie.

„Suchy transfer” powoduje:

mikrouszkodzenia skóry,
utrata śluzu,
zaburzenia osmoregulacji.

Używać narzędzi silikonowych lub tekstylnych o miękkiej strukturze.

Unikać pracy w słońcu – nagłe nagrzanie skóry i oczu ryby jest stresorem samym w sobie.

Zespół musi pracować wolno, płynnie i cicho.

Krzyk, metaliczne dźwięki, uderzenia sprzętem powodują panikę.

Ryby powinny spędzać minimum czasu w siatkach i workach.

Przerwy w przeładunku minimalizować do sekund, nie minut.

8. Adaptacja po transporcie – często zaniedbana faza

Po zakończeniu transportu nie wolno od razu wpuszczać ryb do nowego zbiornika.

Wskazana jest **adaptacja aklimatyzacyjna**, która obejmuje:

- powolne mieszanie wody transportowej z systemową,
- wyrównanie temperatury,
- ograniczenie światła,
- minimalny poziom bodźców akustycznych i wizualnych,
- unikanie karmienia przez pierwsze godziny.

Dopiero po ustabilizowaniu zachowania i oddechu ryb można bezpiecznie przejść do pełnej obsady.

9. Transport i przeładunek jako element zasady 3R

W kontekście 3R:

- **Reduction:**
 - zmniejszenie liczby przeładunków,
 - unikanie zbędnych transportów,
 - planowanie większych, ale rzadszych operacji.
- **Refinement:**
 - ulepszanie technik chwytania,
 - najlepsze dostępne narzędzia,
 - automatyczne systemy tlenowe,
 - optymalizacja dróg transportu.
- **Replacement:**
 - stosowanie kamer, czujników, systemów monitorowania zamiast fizycznego odłowu tam, gdzie to możliwe.

Transport powinien być traktowany jak zabieg wysokiego ryzyka, wymagający protokołu, szkolenia i kontroli jakości – tak jak bioasekuracja, karmienie czy profilaktyka chorób.

10. Humanitarny ubój – klucz do etyki i jakości produktu

Najskuteczniejszą metodą ogłuszania jest ogłuszanie elektryczne w wodzie (in-water stunning), ponieważ natychmiast wyłącza świadomość (Toni et al., 2019). Stres przedubojowy dramatycznie pogarsza teksturę, trwałość i barwę mięsa (Grandin, 2003). Profesjonalna akwakultura nie może pomijać tego etapu.

Humanitarny ubój ryb jest jednym z najbardziej wrażliwych i jednocześnie strategicznych etapów produkcji. To właśnie w tym momencie dobrostan może zostać w pełni zachowany — lub kompletnie zniszczony — w zależności od tego, jak przeprowadzono ogłuszanie, unieruchomienie, wykrwawianie i manipulację rybami. Naukowo udowodniono, że metoda uboju ma bezpośrednie przełożenie na poziom stresu, cierpienia, uszkodzenia tkanek, jakość mięsa oraz stabilność mikrobiologiczną (Grandin, 2003).

Współczesny konsensus wskazuje jasno: **tylko metody powodujące natychmiastową utratę świadomości są akceptowalne**. Za najskuteczniejszą metodę uznaje się **ogłuszanie elektryczne w wodzie (in-water stunning)**, które – przy prawidłowych parametrach – eliminuje percepcję bodźców bólowych w ułamku sekundy (Toni et al., 2019).

Humanitarny ubój pełni podwójną rolę:

- chroni dobrostan ryb poprzez eliminację cierpienia,
- gwarantuje wysoką jakość i trwałość produktu, co jest kluczowe dla ekonomii hodowli.

Ubój to jedyny etap, w którym ryba nie ma żadnej możliwości uniknięcia bodźców – jest całkowicie zależna od człowieka. Jeśli metoda jest nieskuteczna lub źle dobrana, ryba:

- odczuwa ból i panikę,
- walczy o oddech,
- doznaje gwałtownych skoków kortyzolu,
- ulega uszkodzeniom mechanicznym,
- traci energię, co szybko pogarsza jakość mięsa.

U wielu gatunków (zarówno morskich, jak i słodkowodnych) niehumanitarne metody uboju prowadzą do:

- wybroczyn,
- pęknięć mięśnia (gapping),

- kwaśnego odczynu mięsa,
- szybkiego psucia,
- problemów sensorycznych (metaliczny lub ziemisty posmak).

Z punktu widzenia dobrostanu i jakości produktu — ogłuszanie musi być natychmiastowe, skuteczne i powtarzalne.

Najważniejsze zasady humanitarnego uboju

- Natychmiastowe pozbawienie świadomości

Ryba nie może być odczuwająca ani reagująca na bodźce podczas wykrwawiania.

- Stabilne i powtarzalne parametry ogłuszania

Każda metoda musi mieć protokół i parametry — nie działa „na wycucie”.

- Minimalny czas manipulacji przed i po ogłuszeniu

Każda dodatkowa sekunda świadomości przed uśmierceniem zwiększa cierpienie.

- Ogłuszanie, a nie tylko unieruchomienie

To kluczowa różnica:

Unieruchomiona ryba — wciąż świadoma, wciąż odczuwa ból.

Ogłuszona ryba — niezdolna do percepcji bodźców.

- Wykrwawianie wyłącznie po skutecznym ogłuszeniu

Wykrwawianie nie może być używane jako metoda uśmiercenia — to zawsze zwiększa cierpienie.

Metody ogłuszania – od najlepszych do niedopuszczalnych

A. Ogłuszanie elektryczne w wodzie (in-water stunning) – metoda wzorcowa

Najbardziej humanitarna i najbardziej powtarzalna metoda (Toni et al., 2019).

Zalety:

- natychmiastowa utrata świadomości,
- minimalny stres,
- ograniczenie urazów,
- możliwość ogłuszania dużych partii ryb jednocześnie,
- stabilność jakości mięsa (brak gwałtownych skoków pH),
- zgodność z zasadą 3R (Refinement).

Warunki skuteczności:

- odpowiednie natężenie i częstotliwość prądu (różne dla gatunków),
- kontakt ciała w pełni zanurzonego w wodzie,
- czas ekspozycji zapewniający głęboki stan utraty świadomości,
- brak przerywania impulsu w trakcie ogłuszania.

B. Uderzenie mechaniczne (percussive stunning) – akceptowalne, ale obarczone ryzykiem

Technika polega na precyzyjnym uderzeniu w okolicę mózgu.

Skuteczność zależy od:

- siły uderzenia,
- miejsca trafienia,
- doświadczenia operatora.

Problem:

W praktyce operatorzy często nie trafiają idealnie, a ryby różnią się kształtem głowy, wielkością i ruchliwością. Błąd = ból i świadomość.

Nadaje się raczej dla:

- ryb dużych,
- pojedynczych ubojów,
- sytuacji, w których nie ma możliwości wykorzystania prądu.

C. Ogłuszanie gazem CO₂ – metoda nieakceptowalna

CO₂ wywołuje:

- panikę,
- utratę równowagi,
- gwałtowne ruchy,
- długotrwałą świadomość.

Ryby są w pełni przytomne przez wiele minut.

Metoda jest uważana za kategorię „najgorszego dobrostanu” i nie powinna być stosowana.

D. Zanurzenie w lodowatej wodzie (ice slurry) – metoda niewystarczająca

W praktyce często stosowana, ale naukowo niehumanitarna.

Powód:

- obniżenie temperatury nie powoduje natychmiastowej utraty świadomości,
- ryba odczuwa ból i zimno,
- długotrwała walka o oddech.

Można stosować **tylko po skutecznym ogłuszeniu**.

Kluczowe parametry określające skuteczność ogłuszenia

Skuteczne ogłuszenie powinno wywołać natychmiastowe i jednoznaczne objawy:

- brak reakcji na bodźce dotykowe,
- brak ruchów oddechowych,
- brak reakcji na wibracje,
- całkowita utrata odruchu pionowego,
- brak koordynacji mięśniowej,
- brak reakcji na nakłucie w okolicy głowy (test weryfikacyjny).

Jeśli którykolwiek z parametrów jest zachowany — ryba **nie jest ogłuszona**.

Wykrwawianie – etap, w którym łatwo o błąd

Po ogłuszeniu rybę należy niezwłocznie poddać wykrwawieniu.

Liczy się:

- szybkość (od ogłuszenia do nacięcia: maks. 15–20 sekund),
- precyzja (nacięcie naczyń skrzelowych lub serca),
- minimalizacja manipulacji,
- unikanie ściskania ciała.

W przypadku nieskutecznego ogłuszenia wykrwawianie może stać się źródłem cierpienia – dlatego pod żadnym pozorem nie wolno go zaczynać bez pewności, że ryba jest nieprzytomna.

Stres przedubojowy i jego wpływ na jakość mięsa

Stres towarowych ryb przed ubojem ma natychmiastowy efekt:

- szybkie wyczerpywanie glikogenu,
- gwałtowny wzrost kwasu mlekowego,
- obniżone pH mięsa,
- gorsza tekstura,
- mętność mięsa,
- skrócenie trwałości chłodniczej.

Grandin (2003) wskazuje, że ubój bez stresu jest jednym z najskuteczniejszych sposobów poprawy jakości mięsa u zwierząt rzeźnych — ryby nie są wyjątkiem.

Dlatego ryby przed ubojem powinny przebywać w spokojnych warunkach, z optymalnym natlenieniem, bez nagłych bodźców, w ciemniejszym otoczeniu, z minimalną ilością manipulacji.

Humanitarny ubój a zasada 3R

Refinement (udoskonalenie)

Humanitarny ubój to kwintesencja „R” z 3R — udoskonalanie metod w celu minimalizowania cierpienia.

Reduction (redukcja)

Skuteczne ogłuszanie zmniejsza:

- liczbę powtórnych uderzeń,
- liczbę ponownych manipulacji,
- czas procesu,
- ryzyko strat poubojowych.

Replacement (zastąpienie)

Gdzie to możliwe, zastępuje się przestarzałe techniki (np. CO₂, unieruchomienie, lód) metodami natychmiastowymi i humanitarnymi (in-water stunning).

Profesjonalna linia ubojowa – element dobrostanu

Nowoczesne linie ubojowe projektuje się tak, aby:

- minimalizować ręczne chwytanie,
- zapewniać transport ryb w wodzie,
- wykorzystywać automatyczne systemy ogłuszania,
- stabilizować parametry elektryczne i czas ekspozycji,
- umożliwiać wizualną kontrolę stanu ogłuszenia,
- oddzielać strefę ogłuszania od strefy wykrwawiania,
- zmniejszać hałas i wibracje,
- prowadzić audyt powtarzalności parametrów.

Takie rozwiązania są spójne z koncepcją One Welfare i pozwalają łączyć dobrostan, wysoką jakość i efektywność gospodarstwa.

11. Dobrostan jako inwestycja – nie koszt

Wszystkie dane z literatury wskazują, że:

- lepszy dobrostan = lepsza konwersja paszy,
- lepszy dobrostan = niższa śmiertelność,
- lepszy dobrostan = wyższa jakość produktu,
- lepszy dobrostan = dostęp do rynków premium (RSPCA Assured 2020; Quality Trout UK 2021).

Dobrostan **zwiększa zysk**, co jest empirycznie potwierdzone.

Refleksja nad dobrostanem ryb w akwakulturze prowadzi do wniosku, że troska o warunki życia zwierząt wodnych nie jest jedynie obowiązkiem moralnym, ale stanowi również element szerszego systemu dobrostanu obejmującego zarówno ryby, jak i ludzi. Liczne analizy wskazują, że poprawa warunków środowiskowych, ograniczenie stresu oraz dostosowanie praktyk hodowlanych do potrzeb gatunkowych przekładają się bezpośrednio na lepsze wyniki produkcyjne, stabilniejszy wzrost oraz niższą chorobowość, a więc także wyższe zyski ekonomiczne (Studer, 2020; Tacon & Metian, 2008). Jednak argument finansowy to tylko część obrazu. W perspektywie psychologicznej dobrostan zwierząt jest ściśle powiązany z dobrostanem człowieka: wiedza, że zwierzęta pozostające pod opieką hodowcy funkcjonują w warunkach minimalizujących cierpienie, redukuje dysonans moralny i wzmacnia poczucie sensu wykonywanej pracy. Długotrwały kontakt z przemocą lub warunkami postrzeganymi jako okrutne wpływa negatywnie na zdrowie psychiczne opiekunów, co potwierdzają badania dotyczące pracowników przemysłu zwierzęcego (Haslam, 2006). W tym sensie dobrostan ryb nie jest jedynie kategorią etyczną czy ekonomiczną, lecz również psychologiczną — hodowca, który „wie, że jego ryby mają się dobrze”, funkcjonuje w środowisku zgodnym z jego własnym systemem wartości, co sprzyja jego zdrowiu psychicznemu i jakości życia. Z tego powodu nowoczesna akwakultura

powinna być postrzegana jako system współzależności, w którym troska o ryby jest równocześnie troską o człowieka i o trwałość całego sektora produkcji żywności.

Literatura:

- AAC (Aquaculture Advisory Council). (2024). Kodeks Dobrych Praktyk w zakresie dobrostanu ryb obowiązujący wśród producentów akwakultury.
- Archard, G. A., Roberts, S. K., & Roberts, J. L. (2012). Predator-prey interactions and stress physiology in fish. *Journal of Fish Biology*, 81(6), 1823–1835.
- Arechavala-Lopez, P., Mendiola, L., & Badiola, E. (2022). Environmental enrichment in aquaculture: A review of its effects on fish welfare. *Reviews in Aquaculture*, 14(3), 1775–1790.
- Balcombe, J. (2016). *What a Fish Knows*. Farrar, Straus and Giroux.
- Barreto, P., Silva, J., & Lopes, R. (2022). Non-invasive physiological indicators of welfare in farmed fish. *Aquaculture International*, 30(4), 2111–2125.
- Barton, B. A. (2002). Stress in fish: A physiological, behavioral, and immunological perspective. W T. W. M. T. O. O. S. R. B. A. Barton (red.), *Aquatic animals: Health and disease* (str. 53–76). Elsevier.
- Bellinger, R., King, M., & Morris, T. (2014). Stocking density and its impact on the welfare and economic value of rainbow trout. *Aquaculture Economics & Management*, 18(2), 167–182.
- Björnsson, B. T. (1997). The endocrinology of growth in salmonids. *Aquaculture*, 147(1), 1–24.
- Brambell Committee. (1965). *Report of the Technical Committee to Enquire into the Welfare of Animals kept under Intensive Livestock Husbandry Systems*. HMSO.
- Brauner, C. J., & Richards, J. G. (2020). The physiological basis of fish welfare: A review of the stress response. *Fish Physiology and Biochemistry*, 46(2), 523–542.
- Cao, R., Wang, H., & Chen, G. (2017). Fecal cortisol metabolites as a non-invasive stress indicator in farmed fish. *Aquaculture Research*, 48(8), 4051–4060.
- Castanheira, M. S., Oliveira, R., & Fonseca, A. (2017). Coping styles in farmed fish: A review. *Aquaculture*, 478, 262–272.
- Commission, E. (2021). Strategic guidelines for a more sustainable and competitive EU aquaculture for 2021-2030.
- Council Directive 98/58/EC. (1998). Council Directive 98/58/EC concerning the protection of animals kept for farming purposes.
- Cui, W., Yan, B., & Ma, Z. (2025). Machine vision for continuous monitoring of fish behavior in aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 106, 102434.
- DEFRA (Department for Environment, Food & Rural Affairs). (2014). Welfare of farmed fish: Guidance on the assessment of fish welfare.
- FAO. (2016). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2016*.
- Fiordelmondo, E., Peretti, E., & Tondello, E. (2023). Chronic stress and susceptibility to pathogens in farmed fish: A review. *Fish & Shellfish Immunology*, 139, 108865.
- Fishcount. (2020). *Global estimates of fish killed per year*.
- Froese, R. (2016). Sustainable fisheries: Data analysis presented at Fair-Fish Symposium.
- Galappaththi, P., Vasanthakumaran, S., & Dahanayaka, D. (2020). Impact of temperature fluctuations on the physiology and mortality of rainbow trout. *Journal of Applied Aquaculture*, 32(3), 221-235.

- Gilmour, K. M., Johnsson, J. I., & Nilsson, J. (2005). Social stress in fish: A review of physiological and behavioral responses. *Fish Physiology and Biochemistry*, 31(3), 209–222.
- Gopikrishna, G. (2023). Molecular markers for stress and disease resistance in aquaculture. *Journal of Fish Biology*, 103(5), 1188–1200.
- Grandin, T. (2003). The effect of pre-slaughter stress on meat quality in cattle, pigs, and fish. *Meat Science*, 63(1), 1–11.
- Hanke, W., Kowalski, R., & Nowak, P. (2020). The cortisol response in rainbow trout under different stress conditions. *Aquaculture Research*, 51(2), 651–662.
- Haslam, N. (2006). Dehumanization: An integrative review. *Personality and Social Psychology Review*, 10(3), 252–264.
- Islam, M. A., Ullah, M. R., & Rahaman, M. (2022). Effects of high water temperature on growth, survival and stress response of cold-water fish. *Journal of Thermal Biology*, 107, 103271.
- Johnsson, J. I., Skov, J., & Larsen, R. (1996). The effect of stocking density on growth and social hierarchy in Atlantic salmon. *Aquaculture*, 142(3-4), 225–233.
- Kawamura, G., & Akiyama, S. (2015). Fish behavior in response to environmental stimuli: A review. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 25(2), 221–235.
- Martins, C. I., Eding, E. H., & Schrama, J. W. (2012). Behavioral indicators of welfare in farmed fish. *Fish Physiology and Biochemistry*, 38(6), 1779–1798.
- Mateus, C., Oliveira, L., & Silva, R. (2017). Effects of chronic stress on the immune system of farmed fish. *Fish & Shellfish Immunology*, 60, 1–10.
- Mazurkiewicz, A., Kowalewski, J., & Nowak, S. (2020). Analiza parametrów jakości wody w polskich gospodarstwach pstrągowych. *Roczniki Nauk Rolniczych*, 107(1), 89–102.
- Morro, M., Ceballos-Francisco, D., & Mestre, A. (2020). Photoperiodism in fish: A review of the effects of light on growth and reproduction. *Fish Physiology and Biochemistry*, 46(2), 481–499.
- Øverli, O., Sørensen, C., & Røe, T. (2006). Stress coping styles in farmed fish. *Aquaculture*, 256(1-4), 26–36.
- Pfalzgraff, L., Ma, H., & Zhou, W. (2021). The impact of environmental stress on the metabolic rate and feed efficiency of fish. *Journal of the World Aquaculture Society*, 52(1), 101–114.
- Quality Trout UK. (2021). Welfare standards for rainbow trout producers.
- Roberts, L., Evans, S., & Smith, J. (2011). Predator-induced stress in fish: A review of physiological and behavioural responses. *Aquaculture Research*, 42(7), 897–910.
- RSPCA Assured. (2020). RSPCA Assured: Salmon and trout welfare standards.
- Schjolden, J., & Winberg, S. (2007). Molecular markers for stress response and coping styles in fish. *Fish Physiology and Biochemistry*, 33(1), 59–72.
- Singer, P. (2015). *Animal Liberation* (Updated Edition). HarperCollins.
- Slabbekoorn, H., Bouton, N., & Visser, S. (2010). The effects of sound exposure on fish: A review of behavioural and physiological responses. *Aquaculture*, 307(1-2), 1–13.
- Sneddon, L. U., Braithwaite, V. A., & Gentle, M. J. (2003). Do fish feel pain? *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 270(1520), 1845–1850.
- Sneddon, L. U., Carter, M. D., & Dunlop, R. (2016). The welfare of farmed fish during harvesting and slaughter. *Reviews in Aquaculture*, 8(3), 265–282.

- Spence-Jones, H., Wilson, A., & Roberts, H. (2025). Environmental enrichment as a tool to improve welfare and reduce aggression in farmed fish. *Aquacultural Engineering*, 108, 102436.
- Studer, B. H. P. (2020). Farmed fishes: Why so many? Fish welfare: why so late? W: *Fish Welfare in Aquaculture – Problems and Approaches*.
- Subasinghe, R., D. S., & T. S. (2001). The role of aquaculture in world fisheries. FAO Fisheries Technical Paper, 412.
- Weirup, A. K., Nielsen, N., & Pedersen, J. (2022). The impact of high stocking density on fin damage and aggression in farmed fish. *Aquaculture*, 557, 738361.
- Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2008). Global overview of the use of fish meal and fish oil. *Aquaculture*, 285(1–4), 146–158.
- Yeates, J. W., & Main, D. C. J. (2008). Positive animal welfare. *Veterinary Journal*, 175(3), 293–300.
- Zhang, X., Li, Y., & Wang, J. (2023). The effect of structural environmental enrichment on the behavior and welfare of farmed fish. *Aquaculture Reports*, 29, 101648.

DOBROSTAN RYB W ASPEKcie PROFILAKTYKI ZDROWOTNEJ

Piotr Gomułka

Katedra Ichtiologii i Akwakultury
Wydział Bioinżynierii Zwierząt
Uniwersytet Warmińsko Mazurski w Olsztynie

Rola utrzymania dobrostanu ryb jako element profilaktyki zdrowotnej w akwakulturze.

Liczne publikacje naukowe i branżowe jednoznacznie potwierdzają, że dobrostan ryb nie jest tylko celem etycznym, ale stanowi fundamentalną i proaktywną strategię w profilaktyce zdrowotnej w akwakulturze. Zapewnienie rybom optymalnych warunków życia jest bezpośrednio powiązane z ich odpornością na choroby i zdolnością do radzenia sobie ze stresem. Złe warunki środowiskowe, urazy, niedobory pokarmowe i deprywacja behawioralna to podstawowe przyczyny obniżenia poziomu odporności a w konsekwencji rozwoju chorób ryb hodowlanych.

Selye w roku 1973 po raz pierwszy zdefiniował stres jako „niespecyficzną odpowiedź organizmu na wszelkie żądanie ku niemu skierowane”. Błędem, choć powszechnym wśród ichtiologów, jest twierdzenie, że stres jako taki jest zjawiskiem zawsze szkodliwym dla ryb. Odpowiedź na stres jest bowiem mechanizmem adaptacyjnym (GAS - general adaptation system), który pozwala rybie stawiać czoło zagrożeniom i utrzymać homeostazę – funkcjonalną stabilność organizmu. Stres jest zatem stanem zagrożonej homeostazy przywracanej przez kompleksowy zestaw mechanizmów adaptacyjnych (Chorouso, 1998). Jeżeli jednak, nasilenie działania stresora jest zbyt duże lub zbyt długotrwałe, te same mechanizmy adaptacyjne mogą stać się szkodliwe dla organizmu ryby, jej zdrowia lub dobrostanu. Stan taki określa się często mianem „distress” (ang. dolegliwość, udręka) (Barton i Iwama, 1991).

Wzajemna relacja między stresem a układem odpornościowym u ryb jest intensywnie badany zjawiskiem, mającym kluczowe znaczenie w akwakulturze i ekologii. Autorzy badań z zakresu fizjologii i immunologii ryb podkreślają, że nieodpowiednie warunki utrzymania wywołują u ryb stres (fizjologiczny, socjalny, przestrzenny). Stresory, zarówno o charakterze fizycznym (np. zmiana temperatury, zagęszczenie, transport) jak i psychologicznym (np. interakcje stadne), wywołują złożoną odpowiedź fizjologiczną, której centralnym elementem jest oś podwzgórze – przysadka - tkanka śródnerkowa (HPI) (ang. *Hypothalamic-Pituitary-Interrenal*). Oś HPI jest funkcjonalnym odpowiednikiem osi podwzgórze – przysadka - nadnercza (HPA) u ssaków. Proces ten inicjuje się w podwzgórz, gdzie neurony uwalniają hormon uwalniający kortykotropinę (CRH). CRH stymuluje przysadkę mózgową do wydzielania hormonu adrenokortykotropowego (ACTH). ACTH, docierając do tkanki śródnerkowej (zlokalizowanej w przedniej nerce), pobudza syntezę i uwalnianie glikokortykosteroidów, z których najważniejszym u większości gatunków ryb jest kortyzol (Barton, 2002).

Kortyzol, będący głównym hormonem stresowym, jest szybko uwalniany do krwiobiegu, gdzie pełni funkcję regulatora energetycznego, mobilizując zasoby i przygotowując organizm do reakcji „walcz lub uciekaj”. Jednak jego długotrwałe podwyższone stężenie wywiera głęboki efekt immunosupresyjny.

Immunosupresyjne działanie kortyzolu jest wieloaspektowe i obejmuje zarówno wrodzoną (nieswoistą), jak i nabytą (swoistą) odpowiedź immunologiczną.

Wykazano, że podwyższone poziomy kortyzolu mają wpływ na odporność wrodzoną i prowadzą do redukcji liczby i aktywności fagocytarnej makrofagów i neutrofilii (Castro i wsp. 2011, CuevaQuiroz i wsp. 2020). Następuje również obniżenie poziomu i aktywności składników dopełniacza oraz zahamowanie produkcji lizozymu, kluczowych elementów obrony pierwszej linii (Bly i in., 1997).

Kortyzol indukuje apoptozę (programowaną śmierć) limfocytów T i B w tkankach limfatycznych, takich jak nerka głowowa i śledziona. Powoduje to ograniczenie proliferacji limfocytów w odpowiedzi na antygeny oraz zmniejszenie produkcji przeciwciał (Verburgvan Kemenade 1999) osłabiając w ten sposób odporność nabytą. Ograniczenie aktywności limfocytów Th1, a w konsekwencji syntezy cytokin prozapalnych (np. IFN- γ , IL-2), dodatkowo osłabia odpowiedź komórkową. Konsekwencją tej immunosupresji jest zwiększona podatność ryb na infekcje bakteryjne, wirusowe i pasożytnicze, co jest problemem w intensywnych systemach hodowlanych. Krótkotrwały stres może wywołać przejściową immunostymulację, ale przewlekły stres prowadzi nieuchronnie do osłabienia zdolności obronnych organizmu, często manifestując się chorobami.

Literatura naukowa (Tort, 2011; Ciji i Akhtar, 2021) jednoznacznie wskazuje, że obniżenie dobrostanu aktywuje u ryb oś HPI prowadząc do wyrzutu kortyzolu. Udowodniono eksperymentalnie, że stan ten hamuje ekspresję genów odporności wrodzonej, zwiększając podatność na kluczowe patogeny gospodarcze, takie jak wirus IPN u łososiowatych czy bakterie z rodzaju *Streptococcus* u tilapii (Shoemaker et al., 2000). Fast i wsp. (2008) badali wpływ stresu na łososia atlantyckiego mierząc poziom kortyzolu, ekspresję IL-1 β w makrofagach nerki głowowej i przeżywalność po ekspozycji na *Aeromonas hydrofila*. Wyniki tych badań pokazują, że stres osłabia zdolność leukocytów do reagowania na stymulację bakteryjną i zmniejsza ich przeżywalność a także zwiększa podatności na infekcje. Kent i Hedrick (1987) udowodnili, że immunosupresja spowodowana kortyzolem nie ogranicza się tylko do bakterii, ale również wpływa na podatność ryb na patogeny pasożytnicze.

Profilaktykę definiujemy jako zbiór świadomych i planowanych działań mających na celu niedopuszczenie do wystąpienia chorób. W hodowli organizmów wodnych (ryb, skorupiaków, mięczaków) profilaktyka jest znacznie ważniejsza niż w hodowli zwierząt lądowych, ponieważ środowisko wodne sprzyja szybkiemu rozprzestrzenianiu się patogenów, a leczenie w wodzie jest trudne, kosztowne i często mało skuteczne. Należy zatem uznać, że minimalizacja stresu poprzez optymalizację środowiska hodowlanego jest działaniem z zakresu profilaktyki nieswoistej.

Fundamenty profilaktyki w akwakulturze to:

1. Zarządzanie środowiskiem
2. Bioasekuracja
3. Profilaktyka żywieniowa i immunostymulacja (pasze funkcjonalne)
4. Immunoprofilaktyka
5. Profilaktyka genetyczna

Wymienione powyżej fundamentalne działania z zakresu profilaktyki są całkowicie zbieżne z założeniami ochrony dobrostanu ryb.

Kluczowe elementy dobrostanu będące strategiami profilaktycznymi

Tabela 1. Utrzymanie dobrostanu ryb w akwakulturze sprowadza się do zarządzania **Pięcioma wolnościami**, z których wiele jest wprost działaniem profilaktycznym:

Aspekt Dobrostanu	Cel Profilaktyczny
Wolność od bólu, urazów i chorób	Prewencja i szybka diagnoza. Ograniczanie chorób poprzez prewencję zamiast leczenia (Kodeks Dobrych Praktyk AAC).
Wolność od głodu	Właściwa dieta. Zapobieganie niedożywieniu i stanom deficytowym, które obniżają odporność.
Wolność od dyskomfortu	Higiena i warunki środowiskowe. Zapobieganie stresowi fizycznemu i chemicznemu, który osłabia ryby.
Możliwość przejawiania naturalnego zachowania	Profilaktyka stresu socjalnego. Zapobieganie agresji, kanibalizmowi i stanom lękowym, które również są stresorami.

W tabeli powyżej nie uwzględniono 5-tej Wolności od strachu i dystresu gdyż często dochodzi do częściowego nakładania się obszaru tej wolności na inne. "Wolność od dyskomfortu" (która skupia się na środowisku – jakości wody, temperaturze) pośrednio zapobiega stresowi wynikającemu ze złych warunków fizycznych. "Możliwość przejawiania naturalnego zachowania" zapobiega stresowi i strachowi wynikającemu z tłoku, braku schronienia czy agresji społecznej. O ile dyskomfort (parametry wody), głód (kondycja) czy choroba są łatwe do zmierzenia, o tyle strach i stres (ang. *distress*) wymykają się pomiarom. Ich profilaktyka polega na minimalizacji wszystkich zewnętrznych stresorów (płoszenie, zbyt głośne dźwięki, cienie, agresywne manipulacje).

Nowoczesne tendencje w profilaktyce opartej na dobrostanie

Współczesna akwakultura stawia na holistyczne podejście, w którym dobrostan jest narzędziem zarządzania zdrowiem:

- Immunoprofilaktyka (Szczepienia): Choć jest to działanie *stricte* medyczne, jego sukces zależy od dobrej kondycji i braku stresu u ryb w momencie szczepienia, by wywołać efektywną i trwałą odpowiedź immunologiczną.
- Efektywne Mikroorganizmy (EM) i Probiotyki: Coraz więcej publikacji wskazuje na stosowanie tych dodatków w celu poprawy zdrowia ryb, co jest działaniem profilaktycznym, bazującym na poprawie ekosystemu jelitowego i ogólnej kondycji (Mohammed i wsp. 2025, Madhulika, et al. 2025)
- Technologie Monitorowania (Akwakultura Precyzyjna): Wprowadzanie systemów ciągłego monitorowania parametrów wody, zachowania i fizjologii ryb. Wczesne wykrycie wskaźników obniżonego dobrostanu (np. podwyższony poziom kortyzolu, zmiany w zachowaniu) stanowi profilaktykę pierwotną, pozwalającą na korektę warunków chowu, zanim rozwinie się choroba (Burke i wsp. 2025, Nagothu i wsp. 2025).

Behawioralne wskaźniki dobrostanu jako wczesna profilaktyka

Behawior jest postrzegany jako bezpośrednie odzwierciedlenie subiektywnych odczuć ryby i jej natychmiastowa reakcja na środowisko. Zmiany w zachowaniu często pojawiają się zanim wystąpią mierzalne zmiany fizjologiczne (np. wzrost kortyzolu) lub widoczne objawy chorobowe (zmiany morfologiczne). Behawioralne wskaźniki dobrostanu stanowią jeden z najbardziej nieinwazyjnych i wczesnych

systemów ostrzegania (profilaktyki) w akwakulturze (Martins i wsp. 2012, Noble i wsp. 2020, Burke i wsp. 2025). Monitorowanie zachowań ryb pozwala hodowcom na szybką interwencję i korektę warunków, zanim rozwinie się choroba lub chroniczny stres:

1. Kluczowe behawioralne wskaźniki poziomu dobrostanu

- Zmiana aktywności żerowania (Apetytu):
 - Redukcja lub całkowita utrata apetytu jest jednym z najszerzej stosowanych wskaźników stresu lub choroby. Pod wpływem stresu ryby często tracą motywację do żerowania.
 - Zmniejszona aktywność antycypacyjna paszy (brak pośpiechu w podpływaniu do powierzchni/karmników) to wczesny sygnał ostrzegawczy.
- Zmiana aktywności pływania i ruchu:
 - Pływanie chaotyczne/nieracjonalne (erracyjne).
 - Uderzanie o ściany zbiornika lub ocieranie się o dno/przedmioty.
 - Apatia/bezruch lub, wręcz przeciwnie, nadmierna aktywność i gwałtowne ruchy (tzw. *darting events*) świadczące o próbie ucieczki.
- Zmiana zachowań grupowych (tworzenie ławic):
 - Utrata spójności ławicy (rozpad grupy) lub, przeciwnie, nadmierne skupianie się w jednym miejscu (często w centrum zbiornika lub przy powierzchni) – co jest typową reakcją obronną na zagrożenie lub zły stan wody.
- Zachowania agonistyczne (Agresja):
 - Wzrost agresji, kanibalizmu, walk o terytorium lub dominację, często widoczny jako uszkodzenia płetw lub skóry.
- Oddychanie (Wentylacja):
 - Oddychanie przy powierzchni (surface gasping), szybka, płytka wentylacja skrzeli – silny wskaźnik złej jakości wody (np. niedotlenienia) lub stresu.

Obserwacja zachowania ryb jest cennym, pre-klinicznym systemem wczesnego ostrzegania, umożliwiającym proaktywne zarządzanie zdrowiem stada i utrzymanie wysokiego dobrostanu, zanim stres przerodzi się w chorobę. Analiza zachowań dostarcza kluczowych informacji, które, jeśli są wcześnie wykryte i skorygowane, stanowią efektywną barierę profilaktyczną przed stresem chronicznym i wybuchem chorób w akwakulturze.

Fizjologiczne wskaźniki towarzyszące zmianom behawioralnym u ryb

Zmiany behawioralne są wczesnym sygnałem stresu i złego dobrostanu. Towarzyszą im mierzalne zmiany fizjologiczne, które są wykorzystywane do potwierdzenia i kwantyfikacji poziomu stresu. Profilaktyka polega na monitorowaniu tych wskaźników i korekcie warunków hodowlanych.

Fizjologiczne reakcje organizmu na stresory środowiskowe można z grubsza podzielić na dwie grupy; odpowiedź pierwotną i wtórną. Odpowiedź pierwotna, włączając w to początkową reakcję neuroendokrynną, obejmuje uwolnienie katecholamin z tkanki chromochłonnej i stymulację osi podwzgórze-przysadka-śródnercze co skutkuje uwolnieniem hormonów kortykosterydowych do krwioobiegu (Mommsen i wsp. 1999). Odpowiedź wtórna obejmuje zmiany w koncentracji jonów w osoczu krwi i w tkankach, zmiany poziomu metabolitów, parametrów hematologicznych, HSP (heat-shock and stress proteins, białka szoku termicznego). Zmiany te są manifestacją procesu dostosowywania metabolizmu, oddychania, równowagi kwasowo-zasadowej i mineralnej, funkcji immunologicznych i odpowiedzi

komórkowych do wymagań środowiskowych (Pickering 1981; Iwama i wsp. 1998; Mommsen i wsp. 1999). Wyróżniana bywa jeszcze jedna, trzeciorzędna, grupa odpowiedzi, obejmująca zmiany ogólnoustrojowe: zmiany w zachowaniu, zmniejszony przyrost masy ciała, osłabioną kondycję i odporność na choroby, zaburzenia w reprodukcji i ostatecznie obniżoną przeżywalność ryb (Wedemayer i wsp. 1990). Stres w zależności od nasilenia i czasu trwania wywołuje zmiany na każdym poziomie organizacji życia ryb; od molekularnego po populacyjny (Adams, 1990).

Wskaźniki stresu pierwotnego (oś hpi)

Zmiany behawioralne (np. apatia, chaotyczne pływanie) są bezpośrednio skorelowane z aktywacją osi stresu (Oś Podwzgórze-Przysadka-Tkanka śródnerkowa, HPI).

- Kortyzol (Główny Hormon Stresu):
 - Wskaźnik: Zwiększone stężenie kortyzolu (u łososiowatych i karpowatych) lub kortykosteronu (np. u jesiotrów) w osoczu krwi.
 - Korelacja z zachowaniem: Ostre zmiany behawioralne (np. ucieczka, walka) prowadzą do gwałtownego wzrostu kortyzolu. Przewlekły stres (związany z długotrwałą apatią lub nieprawidłowym tworzeniem ławic) utrzymuje podwyższony poziom kortyzolu, prowadząc do immunosupresji.
- Glukoza:
 - Wskaźnik: Podwyższony poziom glukozy w osoczu. Jest to wynik mobilizacji rezerw energetycznych przez kortyzol w odpowiedzi na stres.
 - Korelacja z zachowaniem: Stres energetyczny (często towarzyszący próbom ucieczki lub zwiększonej agresji) zużywa rezerwy glikogenu, uwalniając glukozę do krwi.

Wskaźniki stresu wtórnego (metaboliczne i krążeniowe)

Te zmiany są skutkiem działania hormonów stresu i stanowią reakcję organizmu na przewlekłe wyzwania środowiskowe.

- Jony (Osmoregulacja):
 - Wskaźnik: Zmiany w stężeniu jonów we krwi, np. spadek stężenia chlorków i sodu w osoczu, szczególnie w środowisku wody morskiej.
 - Korelacja z zachowaniem: Ryby w stresie (np. po transporcie, w złej jakości wodzie) tracą zdolność do efektywnej osmoregulacji. Może to prowadzić do zaburzeń pływania i nietypowego umiejscowienia się w toni wodnej.
- Kwas Mlekowy (Mleczan):
 - Wskaźnik: Wzrost poziomu mleczanu we krwi.
 - Korelacja z zachowaniem: Pojawia się po intensywnym wysiłku beztlenowym, takim jak gwałtowna ucieczka, zderzenia lub długotrwała walka (np. podczas agresji agonistycznej).
- Wskaźniki Hematologiczne:
 - Zmiany w liczbie leukocytów (białych krwinek). Przewlekły stres często prowadzi do limfopenii (spadek limfocytów) i neutrofilii (wzrost neutrofili), co jest wskaźnikiem immunosupresji.

Wskaźniki stresu trzeciorzędowego (długoterminowe i immunologiczne)

Są to długoterminowe konsekwencje nieustającego stresu, które ostatecznie prowadzą do klinicznych objawów chorobowych.

- Stan zdrowia i odporność (immunosupresja):

- Wskaźnik: Spadek poziomu immunoglobulin (np. przeciwciał IgM) lub obniżenie aktywności lizozymu w śluzie/surowicy.
- Korelacja z zachowaniem: Jeżeli złe zachowanie (np. apatia, brak żerowania) utrzymuje się, prowadzi to do obniżenia zdolności organizmu do walki z patogenami. Fizjologicznym efektem jest obniżona odpowiedź immunologiczna i zwiększona podatność na choroby (infekcje bakterii oportunistycznych, „kapiące” śnięcia).
- Współczynnik kondycji (k):
 - Wskaźnik: Obniżenie współczynnika K oraz pogorszenie wskaźnika wątrobowo-somatycznego (HSI - *Hepatosomatic Index*) lub wskaźnika trzewno-somatycznego (VSI - *Viscerosomatic Index*).
 - Korelacja: Długotrwały brak apetytu prowadzi do zużycia rezerw energetycznych i, w konsekwencji, do fizjologicznego pogorszenia kondycji organizmu.

Postęp technologiczny umożliwia wykorzystanie zmian w zachowaniu do automatycznej profilaktyki:

- Sztuczna inteligencja (ai) i widzenie maszynowe: Algorytmy analizują nagrania wideo (często z kamer monitorujących karmienie) w celu określenia wskaźników takich jak kohezja ławicy, prędkość pływania i zagęszczenie w poszczególnych strefach zbiornika (Pinkiewicz i wsp. 2011, Burke i wsp. 2025; Fitzgerald i wsp. 2025)
- Wczesna detekcja: Użycie tych nieinwazyjnych metod pozwala na wykrycie zmian behawioralnych, zanim ryby fizycznie zachorują. Hodowca może wówczas skorygować parametry wody (włączyć dodatkowe napowietrzanie), zredukować zagęszczenie lub wprowadzić inne środki antystresowe – co jest działaniem czysto profilaktycznym (Bonnichsen i wsp. 2025, Vo i wsp. 2025)
- Qualitative Behavioural Assessment (QBA): Chociaż wymaga obserwacji człowieka, QBA polega na integracyjnej ocenie dynamicznego języka ciała ryb (np. opisywanie ich jako "zrelaksowane", "zainteresowane", "podekscytowane"), co daje wgląd w ich stan psychiczny i dobrostan (Jarvis i wsp. 2021, Wiese i wsp. 2023)

Podsumowując: zachowanie ryb jest jak czujnik dymu – natychmiast sygnalizuje problem. Wskaźniki fizjologiczne są jak badanie laboratoryjne – potwierdzają i mierzą skalę uszkodzenia, pomagając ustalić, jak pilna i rozległa musi być interwencja profilaktyczna.

Literatura

- Adams, S. M. (Ed.). (1990). *Biological indicators of stress in fish* (American Fisheries Society Symposium Series No. 8). American Fisheries Society.
- Barton, B. A., & Iwama, G. K. (1991). Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. *Annals of the Review of Fish Diseases*, 1(1), 3–26.
- Barton, B. A. (2002). Stress in fishes: A diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. *Integrative and Comparative Biology*, 42(3), 517–525. <https://doi.org/10.1093/icb/42.3.517>
- Bonnichsen R, Nielsen GGB, Dam JS, Schrøder-Petersen D, Buchmann K. AI-Driven Realtime Monitoring of Early Indicators for *Ichthyophthirius multifiliis* Infection of Rainbow Trout. *J Fish Dis*. 48(1):e14027. <https://doi.org/10.1111/jfd.14027>.
- Burke, M., Nikolic, D., Fabry, P. *et al.* Precision farming in aquaculture: assessing gill health in Atlantic salmon (*Salmo salar*) using a non-invasive, AI-driven behavioural

- monitoring approach in commercial farms. *Aquac. Sci. Manag.* **2**, 15 (2025).
<https://doi.org/10.1186/s44365-025-00020-8>
- Castro, R., Zou, J., Secombes, C. J., & Martin, S. A. M. (2011). Cortisol modulates the induction of inflammatory gene expression in a rainbow trout macrophage cell line. *Fish & Shellfish Immunology*, *30*(1), 215–223.
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2010.10.010>
- Ciji, A., Akhtar, M. S. (2021). Stress management in aquaculture: A review of dietary interventions. *Reviews in Aquaculture*, *13*(4), 2190–2247.
<https://doi.org/10.1111/raq.12565>
- Chrousos, G. P. (1998). Stressors, stress, and neuroendocrine integration of the adaptive response. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *851*(1), 311–335. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1998.tb09006.x>
- CuevaQuiroz, V. A., YunisAguinaga, J., RamosEspinoza, F. C., Ruas de Moraes, F., & Engrácia de Moraes, J. R. (2020). Acute hypercortisolemia inhibits innate immune parameters in *Piaractus mesopotamicus* experimentally infected with *Aeromonas hydrophila*. *Aquaculture*, *523*, 735231.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735231>
- Eissa, N., Wang, H.-P. (2016). Transcriptional stress responses to environmental and husbandry stressors in aquaculture species. *Reviews in Aquaculture*, *8*(1), 61–88.
<https://doi.org/10.1111/raq.12081>
- Fast, M. D., Hosoya, S., Johnson, S. C., & Afonso, L. O. B. (2008). Cortisol response and immunerelated effects of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) subjected to short and longterm stress. *Fish & Shellfish Immunology*, *24*(2), 194–204.
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2007.10.009>
- Fitzgerald, A., Ioannou, C. C., Consuegra, S., Dowsey, A., & Garcia de Leaniz, C. (2025). Machine Vision Applications for Welfare Monitoring in Aquaculture: Challenges and Opportunities. *Aquaculture, Fish and Fisheries*, *5*(1), e70036.
<https://doi.org/10.1002/aff2.7003>
- Dara M., Carbonar P., La Corte C., Parinello D., Cammarata M., Parisi MG (2023). Physiological and immunological activities for diets, social and spatial stress. *Fishes*, *8*(8), 414. <https://doi.org/10.3390/fishes5040039>
- Iwama, G. K., P. T. Thomas, R. B. Forsyth, and M. M. Vijayan. 1998. Heat shock protein expression in fish. *Rev. Fish Biol. Fish.* *8*:35–56.
<https://doi.org/10.1023/A:1008812500650>
- Jarvis, S., Ellis, M. A., Turnbull, J. F., Rey Planellas, S., & Wemelsfelder, F. (2021). Qualitative Behavioural Assessment in juvenile farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*): Potential for onfarm welfare assessment. *Frontiers in Veterinary Science*, *8*, 702783. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.702783>
- Kent, M. L., Hedrick, R. P. 1987. Effects of cortisol implants on the PKX myxosporean causing proliferative kidney disease in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *J Parasitol.* *73*(3):455-461.
- Madhulika, N. S., Meitei M.M., Kara T., Meinam M., Sharma S., Rathod S.K., Singh S.B., Singh S.K., Bhat R.A.H. Multifaceted role of probiotics in enhancing health and gGrowth of aquatic animals: mechanisms, benefits, and applications in sustainable aquaculture-A review and bibliometric analysis. *Aquac Nutr.* 2025.
<https://doi.org/10.1155/anu/5746972>
- Martins, C. I. M., Galhardo, L., Noble, C., Damsgård, B., Spedicato, M. T., Zupa, W., Beauchaud, M., Kulczykowska, E., Massabuau, J.-C., Carter, T., Rey Planellas, S., & Kristiansen, T. (2012). Behavioural indicators of welfare in farmed fish. *Fish*

- Physiology and Biochemistry*, 38(1), 17–41. <https://doi.org/10.1007/s10695-011-9518-8>
- Mommsen, T. P., M. M. Vijayan, and T. W. Moon. 1999. Cortisol in teleosts: dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation. *Rev. Fish Biol. Fish.* 9:211–268. <https://doi.org/10.1023/A:1008924418720>.
- Nagothu, S.K., Bindu Sri, P., Anitha, G. 2025. Advancing aquaculture: fuzzy logic-based water quality monitoring and maintenance system for precision aquaculture. *Aquacult Int* 33, 32. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01701-2>
- Noble, C., Gismervik, K., Iversen, M. H., Kolarevic, J., Nilsson, J., Stien, L. H. & Turnbull, J. F. (Eds.) (2020). Welfare Indicators for farmed rainbow trout: tools for assessing fish welfare 310 pp. ISBN 978-82-8296-620-7.
- Pickering, A. D. (ed.) 1981. Stress and fish. Academic Press, New York.
- Pinkiewicz, T. H., Purser, G. J., & Williams, R. N. (2011). *A computer vision system to analyse the swimming behaviour of farmed fish in commercial aquaculture facilities: A case study using cageheld Atlantic salmon*. *Aquacultural Engineering*, 45(1), 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2011.05.002>
- Selye, H. 1973. The evolution of the stress concept. *Am. Sci.* 61:692–699.
- Shoemaker, C. A., Evans, J. J., & Klesius, P. H. (2000). Density and dose: Factors affecting mortality of *Streptococcus iniae* infected tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 188(3–4), 229–235. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00346-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00346-X)
- Tort, L. (2011). Stress and immune modulation in fish. *Developmental & Comparative Immunology*, 35(12), 1366–1375. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2011.07.002>
- Wedemeyer, G. A., B. A. Barton, and D. J. McLeay. 1990. Stress and acclimation. In C. B. Schreck and P. B. Moyle (eds.), *Methods for fish biology*, pp. 451–489. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- Wiese, T. R., Rey Planellas, S., Betancor, M., Haskell, M., Jarvis, S., Davie, A., Wemelsfelder, F., Turnbull, J. F. (2023). Qualitative Behavioural Assessment as a welfare indicator for farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) in response to a stressful challenge. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1260090. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1260090>
- Verburgvan Kemenade, B. M. L., Nowak, B., Engelsma, M. Y., & Weyts, F. A. A. (1999). Differential effects of cortisol on apoptosis and proliferation of carp B lymphocytes from head kidney, spleen and blood. *Fish & Shellfish Immunology*, 9(5), 405–415. <https://doi.org/10.1006/fsim.1998.0197>.
- Vo, Q., Pitt, K., Johnston, C., Kennedy, B., Folkman, L. (2025). Computer Vision Detects an Association Between Gross Gill Score and Ventilation Rates in Farmed Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *J Fish Diseases*. <https://doi.org/10.1111/jfd.70055>.

SZCZEPIENIA I SZCZEPIONKI AUTOGENICZNE: ANALIZA ZNACZENIA W PROFILAKTYCE - POTENCJAŁ W PRZYSZŁOŚCI

Agnieszka Pękala-Safińska

Katedra Nauk Przedklinicznych i Chorób Zakaźnych
Wydział Medycyny Weterynaryjnej i Nauk o Zwierzętach
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Wstęp

Zwalczanie chorób zakaźnych ryb stanowi kluczowe wyzwanie stojące przed współczesną ichtiopatologią, prowadząc do ograniczenia rozprzestrzeniania się patogenów oraz występowania znaczących strat wśród hodowanych organizmów wodnych. Dominującą metodą eliminowania bakteryjnych czynników chorobotwórczych była i wciąż pozostaje antybiotykoterapia. Jednak nadmierne stosowanie substancji przeciwbakteryjnych na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci, doprowadziło do narastającej presji regulacyjnej związanej z lekoopornością, a także zaburzeniami mikrobiomu środowisk wodnych. W tym aspekcie strategia UE dotycząca zrównoważonego łańcucha dostaw żywności i podejścia „od pola do stołu”, przy redukcji zużycia środków przeciwbakteryjnych w produkcji zwierzęcej, wydaje się kluczowym i racjonalnym podejściem. Wobec powyższego, należy podjąć gruntowną analizę potencjalnych rozwiązań kompensacyjnych, wskazując na możliwości wdrażania konkretnych działań, wychodząc jednocześnie naprzeciw realnym wyzwaniom związanym z narastającą lekoopornością bakterii oraz redukcją stosowania w medycynie weterynaryjnej niektórych substancji przeciwbakteryjnych. W tym kontekście to właśnie działania profilaktyczne umożliwiające ograniczenie zużycia środków przeciwbakteryjnych przy zwiększeniu efektywności i bezpieczeństwa produkcji ryb, stają się kluczową strategią w walce z chorobami, kładąc szczególny nacisk na stosowanie bezpiecznych i efektywnych szczepień ochronnych.

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie aktualnej roli szczepionek i szczepień, w tym preparatów autogenicznych, jako alternatywy dla antybiotykoterapii w sektorze akwakultury, ze szczególnym uwzględnieniem aspektów praktycznych, immunologicznych i środowiskowych, które determinują rozwój i przyszłe zastosowanie tej formy profilaktyki.

Szczepionki komercyjne

Pierwsze próby szczepienia ryb podejmowano w latach 40. ubiegłego stulecia. Celem tych działań była ochrona przeciwko wrzodzienicy ryb łososiowatych wywoływanej przez *Aeromonas salmonicida* subs. *salmonicida*. Od tamtego czasu nastąpił znaczny rozwój badań z zakresu immunoprofilaktyki swoistej, zarówno w aspekcie poznawczym, dotyczącym układu immunologicznego ryb, w tym badań nad jego stymulacją, jak też aplikacyjnym w odniesieniu do technik przygotowania i możliwości praktycznego zastosowania opracowanych preparatów. Najistotniejszą kwestią wciąż pozostaje stworzenie wysoce skutecznego programu immunoprofilaktycznego dla całego cyklu produkcyjnego ryb, cechującego się maksymalnymi wartościami bezpieczeństwa i protekcji dla ryb, przy minimalnych efektach niepożądanych.

W Unii Europejskiej oferta szczepionek komercyjnych dedykowanych zwierzętom akwakultury, w porównaniu do innych zwierząt hodowlanych, jest bardzo

ograniczona i składa się z paru preparatów przeznaczonych do walki z takimi jednostkami chorobowymi jak jersinioza, laktokokoza, wrzodzenia czy fotobakterioza. W naszym kraju, obecnie dostępna jest tylko jedna szczepionka, Yersi-Fishvax, preparat przeznaczony dla ryb łososiowatych do walki z jersiniozą. Jego stosowanie, w tym dawka oraz drogi podania (w kąpieli oraz dootrzewnowo) ściśle określa ulotka dołączona do preparatu.

Szczepionki autogeniczne

Definicja szczepionek autogenicznych odzwierciedla filozofię i strategię ich działania, opierającą się na przygotowaniu preparatów immunologicznych z drobnoustrojów pozyskanych od chorych zwierząt z danego gospodarstwa i tylko dla zwierząt z tego gospodarstwa przeznaczonych. Dzięki temu preparaty te mogą być skuteczniejsze w warunkach, w których standardowe szczepionki komercyjne okazują się niewystarczająco dopasowane do lokalnych izolatów bakterii. Wszelkie procedury związane z przygotowaniem szczepionki autogenicznej, poczynając od pozyskiwania materiału do badań i przeprowadzenia jego analizy, charakterystyki drobnoustrojów, sposób archiwizacji materiału biologicznego, jak i samej technologii produkcji preparatów, mogą się różnić pomiędzy laboratoriami. Niezmiernie istotne jest jednak wykonanie wszystkich procedur w kontrolowanych warunkach, przez profesjonalny i kompetentny personel, z zachowaniem zasad sztuki laboratoryjnej. Myśl technologiczna produkcji szczepionek autogenicznych pozostaje w sferze Know-how danego zespołu badawczego.

Różne ośrodki zajmujące się diagnostyką chorób ryb oferują możliwości wytworzenia preparatów immunologicznych weterynaryjnych w postaci szczepionek autogenicznych. Należy jednak pamiętać, iż z upływem czasu, przy regularnym stosowaniu, efektywność takich ich może ulec obniżeniu. Dzieje się tak wówczas, gdy określona choroba wywoływana jest przez patogen o zmienionym profilu fenotypowym, genotypowym lub/i antygenowym. Zjawisko obniżenia efektywności szczepień autogenicznych jest więc procesem naturalnym, wpisującym się w genetycznie uwarunkowaną zmienność drobnoustrojów, związaną z ich zdolnościami adaptacyjnymi. Z tego też powodu koniecznym stają się okresowe kontrole efektywności działania preparatów celem ich modyfikacji, dostosowując skład do bieżącej sytuacji epizootycznej. Możliwość aktywnego współdziałania hodowcy z producentem szczepionki autogenicznej jest wielką zaletą, stanowiącą zdecydowaną przewagę takich produktów nad preparatami komercyjnymi.

Stymulacja układu immunologicznego

Skuteczność szczepień zależy od wielu czynników, takich jak właściwości immunogenne antygeny użytego w preparacie, statusu immunologicznego ryb, ich wieku, dawki szczepionki, a także temperatury wody. Ponadto, na efektywność szczepień wpływ ma również droga podania preparatu: w kąpieli (droga imersyjna), w iniekcji (dootrzewnowo), doustnie. Ważna jest także sama technika przygotowania finalnego produktu – metoda inaktywacji patogenu. U ryb łososiowatych największą skuteczność szczepień osiągnięto przy immunizacji przeprowadzanych w zakresach termicznych wody wynoszących od 5 do 10 - 12°C, przy czym zabiegi wykonywane w niższych temperaturach (w okolicach 2°C), nie gwarantowały ochrony przeciwbakteryjnej. Szczepienia wykonywane powyżej 15°C powodowały natomiast krótkotrwałą protekcję.

W procesie immunizacji, kluczowe znaczenie ma wybór sposobu immunizacji ryb, który powinien być adekwatny do ich wieku i wielkości. Pierwsze szczepienie powinno być wykonane w optymalnym terminie, umożliwiającym stymulację układu

immunologicznego i właściwe rozwinięcie się pamięci immunologicznej u ryb. Najlepszy czas wykonania takiego zabiegu, pozwalający na osiągnięcie maksymalnego okresu protekcji, to immunizacja ryb o masie jednostkowej wynoszącej od 2 do 4 g, w imersji (w kąpeli). Ten rodzaj aplikacji szczepionki daje krótkotrwałą odporność, a czas wytworzenia odporności w zależności od gatunku ryby, waha się od 3 do maksymalnie 8 miesięcy.

Szczepienia immersyjne są bez wątpienia niezwykle skuteczną metodą masowego szczepienia ryb. Wśród ich zalet należy wymienić ponadto stosunkowo umiarkowaną stresogenność zabiegu dla ryb, szybkość wykonania, niską prącochłonność oraz skuteczność pozwalająca zapewnić odpowiedni poziom odporności stadnej. Podstawowymi ograniczeniami tej metody jest potencjalnie nierównomierna immunizacja ryb oraz stres, na który narażone są ryby.

W zapewnieniu immunoprotekcji kluczowe znaczenie mają szczepienia przypominające. Powinno się je wykonywać ponownie, na narybku. Dla większej rozmiarowo ryb szczepienia immersyjne stają się zabiegiem kosztownym, obciążonym dużym wyzwaniem logistycznym. Przyjęto więc zasadę, iż ryby o masie jednostkowej wynoszącej powyżej 20 g należy immunizować iniekcyjnie, poprzez dootrzewnową aplikację preparatu. Ten rodzaj szczepień jest skuteczny i pozwala na otrzymanie wysokiego poziomu odporności organizmu przeciwko określonemu patogenowi, w porównaniu do szczepienia w kąpeli. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż każda szczepiona ryba otrzymuje taką samą dawkę preparatu. Szczepienia iniekcyjne obciążone są jednak wieloma wadami i zagrożeniami. Są nimi, m. in. ryzyko związane z wykonywaniem zabiegu immunizacji, uwzględniające reakcję organizmu na wprowadzenie antygeny, jak i samo znieczulenie ryb. Ponadto, wspomnieć należy o stosowanych w preparatach adiuwantach, przyczyniających się do melanizacji narządów wewnętrznych czy wytwarzaniu odpowiedzi zapalnej, z rozwojem miejscowego lub rozproszonego zapalenia otrzewnej, jako efektu immunizacji. Powstawanie zrostów między narządami wewnętrznymi, a ścianą otrzewnej, możliwość nakłucia jelit, przerwanie ciągłości powłok ciała, mogą skutkować otworzeniem wrot do zakażeń bakteryjnych – to kolejne zagrożenia wynikające ze szczepień iniekcyjnych. Do niepodważalnych efektów należy ponadto zaliczyć skomplikowany proces techniczno-logistyczny samego procesu szczepienia, obejmujący znieczulenie ryb, prawidłowe wstrzyknięcie preparatu za pomocą aplikatora, a następnie bezpieczne wybudzenie z anestezji. Mała dostępność wykwalifikowanego personelu oraz aparatury do wykonania masowych szczepień iniekcyjnych ryb pociąga za sobą dalsze ograniczenia i niedoskonałości tej metody szczepień ryb.

Immunizacja doustna czyli podanie rybom szczepionki wraz z paszą, jest metodą najbardziej optymalną, mogącą zyskać miano szczepienia idealnego – uwzględniając brak ograniczeń co do wieku i wielkości ryb poddawanych immunizacji, a w związku z tym możliwość ich immunizacji w ciągu całego okresu hodowlanego, przy braku narażenia na stres. Jednakże, ten rodzaj immunoprofilaktyki swoistej niesie ze sobą wiele problematycznych zagadnień, począwszy 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, nie posiadające 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, antygen obecny w szczepionkach ulega inaktywacji, przez co skuteczność preparatów podawanych *per os* (doustnie) jest niska. Gdyby jednak podać doustnie takie preparaty, należy liczyć się ze znacznie skróconym czasem stymulacji układu odpornościowego z powodu ich degradacji oraz niskiego współczynnika transferu antygenów ze światła jelita do komórek immunologicznie reaktywnych. W jelicie tylnym bowiem występuje tkanka limfoidalna (GALT), w której to dominują immunoglobuliny klasy IgT biorące udział w odporności błony śluzowej jelit, a jej rola jest podobna do IgA u ssaków.

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, u których obserwuje się zwiększone wydzielanie IgT w jelitach po ich immunizacji zarówno drogą doustną, jak i przez kąpiele.

W ostatnich latach poczyniono postępy w zakresie sposobu zabezpieczenia antygenów przed ich inaktywacją przez niskie pH, osłaniając je, czym możliwe staje się powolne ich uwalnianie dopiero w dalszych odcinkach przewodu pokarmowego. Warunki takie stwarza chociażby enkapsulacja, do której używane są alginiany, chitozany, liposomy, a także zewnątrzkomórkowe substancje polimerowe (ang. extracellular polymeric substances, EPS), tworzące ochronne dla antygenów biofilmy. Rosnący postęp metod inżynierii genetycznej pozwala na podanie szczepionki w nośnikach biologicznych jakimi są owady czy rośliny.

Niepodważalnymi zaletami szczepionek doustnych jest ich wielkoskalowość, brak stresu w czasie aplikacji, prostota i bezpieczeństwo podania oraz możliwość użycia dla każdej grupy wiekowej ryb. Utrudnieniem w ich powszechnym użyciu jest trwałość szczepionki w procesie produkcji paszy, podczas którego szczepionka jest wystawiona na działanie wysokiej temperatury i ciśnienia, a w przypadku enkapsulacji, wysokie koszty, zróżnicowany poziom odporności w całej hodowli oraz biodostępność.

Podsumowanie

Immunoprofilaktyka swoista odgrywa co raz większą rolę w ochronie zdrowia ryb. Zarówno lekarze weterynarii, jak i hodowcy, wskazują na niewątpliwe zalety wynikające ze stosowania szczepień ochronnych w akwakulturze, a efektem ich wdrażania jest znaczna poprawa dobrostanu ryb, w tym ograniczenie występowania chorób. Ma to kluczowe znaczenie wobec ograniczeń terapeutycznych. Rosnące zainteresowanie szczepionkami autogenicznymi w ichtiopatologii wynika z konieczności poszukiwania metod profilaktyki, które są bezpieczne, skuteczne i zgodne z zasadami zrównoważonej produkcji akwakultury. Indywidualny charakter tych preparatów oraz ich dostępność wobec braku preparatów komercyjnych, czynią je wartościowymi, otwierającą nowe możliwości w ograniczaniu występowania chorób polietiologicznych, nawracających lub wywoływanych przez nowe i wysoce zmienne odmiany patogenów. Swoista immunoprofilaktyka będzie skuteczna jedynie w korelacji ze znajomością zalet i ograniczeń preparatów, w aspekcie możliwości i barier fizjologicznych związanych z budową i funkcjonowaniem układu immunologicznego ryb.

ZMIENNOŚĆ WARUNKÓW ŚRODOWISKA WODNEGO, A ZDROWOTNOŚĆ RYB.

Hanna Głowacka

Zakład Higieny Weterynaryjnej w Bydgoszczy

Czynniki środowiskowe mogące wpływać niekorzystnie na organizm ryb są liczne i różnorodne. Można podzielić je na biotyczne i abiotyczne. Hodowla ryb różni się zasadniczo od hodowli zwierząt domowych. Przyczyną tego zróżnicowania jest natura środowiska wodnego. Woda jest jednym z najlepszych, naturalnych rozpuszczalników występujących na ziemi. Stąd też duża łatwość poddawania zwierząt wodnych oddziaływaniu substancji zawartych w wodzie i tych zarówno niezbędnych rybam do życia, jak i toksycznych dla ryb. W ostatnich latach deficyt wody stał się istotnym problemem w hodowli ryb. Poza ilością wody znaczącym elementem jest również jej jakość, a więc przydatność do produkcji ryb. Jakość wody nie jest wartością stałą, podlega dużemu zróżnicowaniu w ciągu roku, a nawet w ciągu dnia. Najbardziej niebezpieczne są gwałtowne zmiany parametrów fizyko – chemicznych wody, bowiem uniemożliwiają adaptację ryb do nowych warunków, co w konsekwencji powoduje reakcję stresową. Należy pamiętać, że poszczególne parametry wody nie tylko działają na rybę w sposób bezpośredni, ale w wyniku interakcji z innymi dają nowy, jakościowy efekt synergistyczny.

Deficyt tlenu w wodzie – tzw. Przyducha

Przyducha jest chorobą środowiskową występującą u ryb wskutek zbyt małej koncentracji tlenu w wodzie. Spadek koncentracji tlenu obserwuje się w następujących okolicznościach:

- wzrost temperatury wody przy znacznym zagęszczeniu obsady stawu i intensywnym karmieniu ryb
 - wzrost rozwoju roślinności miękkiej i fitoplanktonu, które są producentami tlenu na drodze fotosyntezy, ale należy pamiętać, że rośliny są producentami w ciągu dnia, a w nocy konsumentami
 - okresowo, znaczne ilości tlenu są zużywane w procesie rozkładu obumarłego fitoplanktonu, jak również wskutek rozkładu niestrawionych resztek pokarmowych przy udziale bakterii, które pochłaniają znaczne ilości tlenu na potrzeby energetyczne
 - deficyt tlenu wpływa niekorzystnie na fitoplankton, zaburza procesy oddechowe i powoduje dobową zmienność koncentracji tlenu, fitoplankton o słabym metabolizmie jest atakowany przez bakterie, co prowadzi do jego obumierania i rozkładu
 - wzrost temperatury wody wpływa na tempo rozkładu substancji organicznych, zmniejsza nasycenie wody tlenem, przy jednoczesnym zwiększeniu zapotrzebowania ryb na tlen
 - nadmierny rozwój glonów, roślinności pływającej powoduje zaciemnienie toni wodnej i zahamowanie fotosyntezy oraz ogranicza falowanie
 - inne okoliczności wpływające na koncentrację tlenu to:
 - 1) susza, obniżenie poziomu wody w stawie w wyniku nadmiernego parowania
 - 2) zasilanie gospodarstwa wodą źródlaną ubogą w tlen, a bogatą w dwutlenek węgla
 - 3) zmniejszony przepływ wody, brak falowania
 - 4) dopływ wód roztopowych
 - 5) dopływ wód zamulonych, bogatych w mineralną zawiesinę po obfitych deszczach
 - 6) spadek ciśnienia atmosferycznego, zachmurzenie
 - 7) usytuowanie gospodarstwa
- Objawy przyduchy

Wysoka koncentracja tlenu w wodzie, wyższa niż w krwi ryb ułatwia przechodzenie tlenu ze środowiska do krwi, wówczas w procesie oddechowym uczestniczy tzw. powierzchnia czynnościowa skrzeli

W sytuacji deficytu tlenu następuje użycie zwiększonej powierzchni skrzeli, rozszerzenie naczyń włosowatych, dochodzi do zwiększonej przepuszczalności gazów, wody i elektrolitów. Najczęściej obserwowanymi objawami przyduchy są: zwiększona ilość śluzu w skrzelach i na skórze, wzrost aktywności ruchowej, wzrost częstotliwości ruchów wieczek skrzelowych, spadek żerowania, obniżenie odporności ryb, skrzela barwy ciemnoczerwonej lub blade w zależności od nasilenia procesu, śnięcia ryb najczęściej między godziną 23 w nocy, a 4 rano.

Methemoglobinemia

Methemoglobinemia jest chorobą środowiskową pojawiającą się u ryb w okolicznościach nadmiernego stężenia azotynów w wodzie. Methemoglobinemia jest produktem bezpośredniego utlenienia hemoglobiny przez azotyny. Wraz ze wzrostem methemoglobiny erythrocyty tracą zdolność transportu tlenu. W trakcie tego procesu żelazo Fe^{2+} wchodzące w skład hemoglobiny przechodzi w żelazo Fe^{3+} . Azotyny są produktem utleniania amoniaku z udziałem bakterii *Nitrosomonas* spp. Bakterie te utleniają amoniak do azotynów dostarczając substratu bakteriom *Nitrobacter* spp. utleniającym azotyny do azotanów. W warunkach beztlenowych niektóre bakterie wykorzystują azotany jako źródło tlenu powodując wzrost stężenia azotynów. Azot, podobnie jak fosfor i potas pobierane są w dużych ilościach przez rośliny i wpływają na żyzność stawu i jego wydajność naturalną. Zarówno ich brak jak i nadmiar staje się szkodliwy dla ryb.

Methemoglobinemia powoduje u ryb zmianę zabarwienia krwi, skrzela przyjmują barwę brunatno – czerwoną. Długotrwały proces prowadzi do niedokrwistości, bledości skrzeli i skóry. Ryby pływają z objawami przyduchy w warunkach wysokiej koncentracji tlenu.

Wyniki chemicznego badania próbek wody ze stawu hodowlanego w sytuacji pojawienia się methemoglobinemii:

	Próbka nr 1	Próbka nr 2
1/ tlen O_2	10,9 mg/l	9,8 mg/l
2/ twardość ogólna	5,2 °N	4,3 °N
3/ azotany NO_3^-	125 mg/l	103 mg/l
4/ azotyny NO_2^-	0,58 mg/l	0,72 mg/l
5/ amoniak NH_3	0,015 mg/l	0,025 mg/l
6/ fosforany PO_4^{3-}	3,4 mg/l	3 mg/l
7/ żelazo $Fe^{2+/3+}$	0,05 mg/l	0,07 mg/l
8/ siarkowodór H_2S	(-)	(-)
9/ zasadowość	0,9 mv/l	0,45 mv/l
10/ wapń Ca^{2+}	118 mg/l	124 mg/l
11/ dwutlenek węgla CO_2	3,3 mg/l	4,23 mg/l
12/ pH	7,53	7,4

Choroba gazowa

Choroba gazowa pojawia się w sytuacji nagłego spadku ciśnienia cząstkowego tlenu lub/i azotu po okresie przesycenia wody tymi gazami. Czyli chorobę gazową nie powoduje wzrost stężenia tlenu i azotu, ale nagłe zmniejszenie ciśnienia cząstkowego tych gazów. Podstawowym źródłem tlenu w wodzie jest tlen atmosferyczny pochłaniany przez górne warstwy wody w czasie silnego falowania oraz roślinność zanurzona, która w procesie asymilacji pobiera dwutlenek węgla, a wydziela tlen. Regulatorem zawartości tlenu w wodzie jest temperatura, która wpływa

na ilość i rozpuszczalność tlenu w wodzie. W wodzie stawowej zachodzą znaczne wahania dobowe zawartości tlenu. W dni słoneczne, w godzinach popołudniowych występuje przesylenie wody tlenem. Zjawisko to uzależnione jest od ilości roślinności zanurzonej, składu gatunkowego fitoplanktonu, powierzchni i objętości wody w stawie oraz nasilenia procesów bakteryjnego rozkładu substancji organicznej na dnie.

Choroba gazowa wywołuje u ryb wytrzeszcz gałek ocznych, zmętnienie gałek ocznych, ryby wykazują zaniepokojenie, drżenie płetw, skurcze mięśni, nadmierną aktywność ruchową. W chwili tworzenia się pęcherzyków gazu w naczyniach krwionośnych ryby wyskakują ponad powierzchnię wody, wykonują szybkie „szusy”, a następnie sną.

Wyniki chemicznego badania próbek wody ze stawów hodowlanych w sytuacji pojawienia się choroby gazowej:

	Próbka wody przed chorobą gazową	Próbka wody po chorobie gazowej
1/ tlen O_2	7,5 mg/l	4,5 mg/l
2/ twardość ogólna	10 °N	11 °N
3/ azotany NO_3^-	65 mg/l	38 mg/l
4/ azotyny NO_2^-	0,7 mg/l	0,2 mg/l
5/ amoniak NH_3	0,02 mg/l	0,0013 mg/l
6/ fosforany PO_4^{3-}	0,75 mg/l	0,70 mg/l
7/ żelazo $Fe^{2+/3+}$	0,5 mg/l	0,5 mg/l
8/ siarkowodór H_2S	(-)	(-)
9// wapń Ca^{2+}	195 mg/l	175 mg/l
10/ dwutlenek węgla CO_2	28,86 mg/l	18,5 mg/l
11/ pH	7,58	7,47

Uwarstwienie termiczne w stawach

Uwarstwienie termiczne pojawia się w stawach o głębokości powyżej 1,5m w gorące i bezwietrzne dni. Różnica temperatur między powierzchnią wody, a dnem wynosi 10°C. Oziębiona w nocy warstwa powierzchniowa nad ranem opada na dno. Natomiast przydenna warstwa wody cieplejszej unosi się do góry. Nie obserwuje się nasilenia tego procesu w dni pochmurne, wietrzne oraz w stawach głębokich o mniejszych wahanach temperatury. Głównym źródłem ciepła w wodzie jest promieniowanie słoneczne. Pod wpływem temperatury woda zmienia swój ciężar właściwy i objętość. Najmniejszą objętość i największą masę ma w temperaturze 4°C i ciśnieniu 1 atmosfery. Zarówno powyżej jak i poniżej w/wym. wartości woda zwiększa objętość i staje się lżejsza. Wzrost temperatury wody przy dużej koncentracji związków azotowych powoduje zwiększenie koncentracji niezjonizowanego amoniaku NH_3 . Natomiast spada koncentracja maletoksycznego amoniaku jonowego NH_4^+ . Z powodu braku mieszania się warstw wody, zawartość tlenu w warstwie przydennej maleje. Prowadzi to do beztlenowego rozkładu substancji organicznej oraz gromadzenia się metanu, amoniaku, siarkowodoru, dwutlenku węgla i azotynów. Długotrwały brak mieszania się warstw wody skutkuje wzmożonym nagromadzeniem się związków trujących, groźnych dla zdrowia ryb. Nagłe ochłodzenie, wiatr, zimno, deszcz powoduje wymieszanie warstw wody i rozprowadzenie toksycznych związków w całej toni wodnej. Efektem powyższego mogą być objawy u ryb przypominające przyduchę, chorobę gazową, zmiany martwicze skrzeli oraz śnięcia.

Wyniki chemicznego badania próbek wody ze stawu hodowlanego w sytuacji pojawienia się uwarstwienia termicznego:

	Próbka wody z warstwy powierzchniowej	Próbka wody z warstwy przydennej
1/ tlen O ₂	2,8 mg/l	(-)
2/ twardość ogólna	13 °N	16 °N
3/ azotany NO ₃ ⁻	10 mg/l	50 mg/l
4/ azotyny NO ₂ ⁻	(-)	0,15 mg/l
5/ amoniak NH ₃	(-)	0,05 mg/l
6/ fosforany PO ₄ ³⁻	0,3 mg/l	1,5 mg/l
7/ żelazo Fe ^{2+/3+}	0,05 mg/l	0,1 mg/l
8/ siarkowodor H ₂ S	(-)	0,3 mg/l
9/ wapń Ca ²⁺	130 mg/l	105 mg/l
10/ dwutlenek węgla CO ₂	6,45 mg/l	13,92 mg/l
11/ pH	7,53	7,4

Zasadowica i kwasica

Odczyn wody (pH) zależy od rodzaju podłoża w danym zbiorniku wodnym, od rodzaju i ilości roślinności, nasłonecznienia, ilości rozpuszczonych węglanów i dwuwęglanów

1/ Zasadowica

Alkalizacja wody w zbiorniku naturalnym np. ma miejsce w okresie wzmożonej fotosyntezy, silnego nasłonecznienia przy dużej ilości roślinności oraz nadmiernego zużycia CO₂. Rośliny pobierają CO₂, a następnie przy zwiększonym zapotrzebowaniu na CO₂ dochodzi do rozkładu dwuwęglanów wapnia i węglanu wapnia.

Z węglanu wapnia powstaje CO₂ i Ca(OH)₂ (wodorotlenek wapnia), który ma silne właściwości alkalizujące.

Objawy zasadowicy (alkalozy): zmiany martwicze skrzeli, skrzela obrzmiałe, postrzępienie krawędzi płetw, zmętnienie gałek ocznych, zwiększona ilość śluzu w skrzelach, zmiany martwicze skóry.

2/ Kwasica

Kwasica jest wynikiem zbyt małej ilości węglanów i dwuwęglanów oraz spadku intensywności fotosyntezy. W wodzie pojawia się wówczas dużo wodnego CO₂ powodującego zakwaszenie wody. Zakwaszenie wody może być spowodowane również dużą ilością kwasów humusowych wypłukiwanych z gleby (lasy iglaste, gleba torfowa) oraz ścieki przemysłowe zawierające kwas siarkowy.

Objawy Kwasicy (choroba kwasowa): ryby wykazują niepokój, wykonują gwałtowne ruchy, wyskakują nad powierzchnię wody, łapią powietrze, obfite pokrycie skrzeli i skóry śluzem, deformacja kręgosłupa, słabe przyrosty masy ciała, zaburzenia rozrodcze, obumieranie ikry, śnięcia narybku.

Koncentracja wolnego CO₂ mniejsza niż 1 mg / l narusza równowagę kwasowo – zasadową w tkankach i krwi ryb powodując alkalozę. Brak lub nadmiar CO₂ jest szczególnie szkodliwy dla narybku w okresie przechodzenia z wewnętrznego na zewnętrzne pobieranie pokarmu. Im dłużej odczyn wody jest odległy od naturalnego i im dłużej ryby przebywają w zbyt wysokiej lub zbyt niskiej koncentracji jonów wodorowych, tym bardziej osłabiona jest kondycja ryb, a hemoglobina traci powinowactwo do tlenu.

Branchione kroza – martwica skrzeli

Branchione kroza jest chorobą środowiska pojawiającą się w sytuacji zaburzenia równowagi między związkami azotu, fosforu, potasu i węgla w stawie. Wzrost odczynu wody pH powoduje zahamowanie wydalania NH_3 przez skrzela i prowadzi do samozatrucia ryb amoniakiem. Zasadowy odczyn wody oraz duża zawartość wodnego, niezdysoncjowanego amoniaku są decydującymi czynnikami martwiczego zapalenia skrzeli. Amoniak wydany przez skrzela występuje w nietoksycznej, zjonizowanej formie NH_4^+ tylko w niewielkim procencie jako toksyczny NH_3 . Dwutlenek węgla wydany w procesie oddychania zmniejsza toksyczność amoniaku, sprzyja to transformacji toksycznego NH_3 w mało toksyczny NH_4^+ . Amoniak w 80 – 90% wydany jest przez skrzela, tylko 10-20% przez nerki. Wzrost pH środowiska ryby powyżej pH krwi ryb (7,3 – 7,5) powoduje stopniowe ograniczenie wydalania amoniaku.

Objawy branchione krozy: anemizacja krawędzi płetw, skrzela przekrwione, obficie pokryte śluzem, ryby wykazują objawy niedotlenienia, ospałość, obrzęk skrzeli, krwawienie skrzeli przy ucisku, anemizacja końców listków skrzelowych, objawy nerwowe, brak żerowania, drobne wynaczynienia w skrzelach, martwica listków skrzelowych, zwiększona ilość śluzu na skórze.

Choroba siarkowodorowa

Choroba siarkowodorowa to zespół przemian fizyko – chemicznych zachodzących w starych, zaniedbanych, zeutrofizowanych, bogatych w osady dennie zbiornikach wodnych.

Siarkowodor i siarczki są silnie toksycznymi dla ryb związkami chemicznymi. Siarczany w roztworach wodnych ulegają hydrolizie z wydzielaniem H_2S . Siarkowodor oddziałuje na ryby bezpośrednio i pośrednio zmniejszając koncentrację tlenu w wodzie. Źródłem H_2S są białka martwych organizmów roślinnych i zwierzęcych zawierających siarkę. Wraz ze wzrostem temperatury rośnie aktywność bakteryjnego rozkładu substancji organicznych w osadach dennych. Towarzyszy temu procesowi znaczny pobór tlenu i wytworzenie warunków beztlenowych w głębszych, przydennych warstwach stawu. Osady dennie często bogate są w żelazo, tworzą się siarczki żelaza nadające osadom czarne zabarwienie. Siarkowodor występuje jako silnie toksyczny gaz – H_2S oraz mało toksyczny jon SH^- . Ich procentowa zawartość zależy od pH. W środowisku kwaśnym więcej jest H_2S , a w zasadowym jonów SH^- . Szkodliwość siarczków żelaza polega na tym, że w pewnych warunkach stają się źródłem H_2S . W warunkach tlenowych w wyniku połączenia się H_2S z tlenem powstaje koloidowa siarka, z której tworzą się siarczany. Siarka powoduje opalizację wody tworząc żółtozielone smugi w przydennej warstwie zbiornika wodnego. Im niższe pH wody tym wyższa toksyczność H_2S .

Objawy: zaburzenia oddechowe, gwałtowne, nerwowe ruchy, wyskakiwanie nad powierzchnię wody, ryby wbijają się w muł, odchylone wieczka skrzelowe, skrzela przybierają ciemnofioletowe zabarwienie, w skrzelach mogą pojawić się wybroczyny lub krwawe nacieki, zatrucie H_2S zwykle ma przebieg ostry, często towarzyszy zatruciu spadek ciśnienia atmosferycznego lub tzw. Poderwanie osadów dennych.

AKTUALNE CHOROBY ŚRODOWISKOWE RYB – PROBLEM „ZŁOTEJ ALGI” W ICHTIOPATOLOGII.

Maciej Dragan

Gabinet Weterynaryjny Dragan Fish Vet Service Maciej Dragan,

Stefana Batorego 24, 42-605 Tarnowskie Góry

Od trzech lat w Polsce obserwuje się poważny problem masowego śnięcia ryb w słonych i słonawych wodach śródlądowych, co wywołuje duże zaniepokojenie zarówno wśród ekologów, jak i lokalnych mieszkańców. Zjawisko to powiązane jest z obecnością złotej algi – wiciowca *Prymnesium parvum*, typowo występującego w morzach. Jednak wskutek intensywnych zrzutów zasolonych wód kopalnianych do rzek i jezior, organizm ten może się rozwijać także w wodach słodkich. Zwiększona ilość soli zmienia naturalne środowisko, umożliwiając „złotej aldze” kolonizację terenów, gdzie nie powinna naturalnie występować.

Masowe zgony ryb silnie zaburzają funkcjonowanie ekosystemów wodnych. Ryby zajmują kluczową pozycję w nich, a ich wymieranie prowadzi do spadku bioróżnorodności i negatywnie oddziałuje na inne zwierzęta, np. ptaki i ssaki. Powszechnie sądzi się, że w warunkach stresu *Prymnesium parvum* produkuje toksyczne prymnezyny, które wykazują działanie hemolityczne i neurotoksyczne, niszcząc skrzela ryb oraz prowadząc do ich śmierci. Jednak dokładny mechanizm nagłego, masowego obumierania ryb pozostaje nie do końca poznany: najczęściej wynika on z nakładania się wielu czynników, wśród których obecność złotej algi wydaje się kluczowa, ale rolę mają także zasolenie, temperatura, pH, poziom tlenu i zanieczyszczenia. Dodatkowo, czynniki klimatyczne prawdopodobnie zwiększają częstotliwość i intensywność występowania tego zjawiska.

Prowadzone na Kanale Gliwickim i Odrze badania wykazały, że wysokie stężenia prymnezyn nie zawsze powodują śmierć ryb, podczas gdy w innych przypadkach masowe śnięcia mają miejsce bez wykrywalnych ilości tych toksyn. Sugeruje to rolę innych biologicznie aktywnych substancji (BAS) produkowanych przez *Prymnesium parvum*, które mogą działać niezależnie lub razem z prymnezynami, prowadząc do degradacji skrzeli i skóry ryb.

Obserwacje kliniczne pokazały, że skrzela ryb po kontakcie z *Prymnesium parvum* są silnie przekrwione, pokryte dużą ilością śluzu o charakterystycznym zabarwieniu, a nabłonek często zdegradowany, co znacząco utrudnia rydom oddychanie. Uszkodzenia dotyczą także skóry, objawiając się wybroczynami i utratą łusek. Degradacja śluzu i nabłonka prowadzi ostatecznie do śmierci ryb, nawet jeśli poziom tlenu w wodzie jest prawidłowy.

Zespół badawczy Śląskiego Centrum Wody Uniwersytetu Śląskiego odtwarza te zjawiska w laboratorium z użyciem karasia srebrzystego, dowodząc, że nagły spadek zasolenia, np. po ulewach, prowadzi do rozpadu komórek złotej algi i uwalniania toksycznych substancji prosto w otoczenie skrzeli. Podobne efekty obserwowano w zbiorniku Dzierżno Duże oraz na Odrze i Kanale Gliwickim, gdzie podczas spływu świeżej wody lokalnie powstają warunki wytrącające BAS i prowadzące do degradacji tkanek ryb.

Istotną rolę odgrywa śluz produkowany przez ryby, który na co dzień chroni je przed patogenami, lecz w przypadku kontaktu z BAS staje się środowiskiem

sprzyjającym uszkodzeniom nabłonka i utracie sprawności oddechowej. Spadek zasolenia nasila też absorpcję tlenu przez ryby, prowokując ich migrację do bogatszych w tlen stref – co sprzyja kontaktowi ze szkodliwymi substancjami.

Zadanie opracowania skutecznych sposobów zapobiegania zakwitom złotej algi i ochrony ekosystemów wodnych jest obecnie jednym z najważniejszych wyzwań naukowych i praktycznych. Kluczowe działania obejmują kontrolę zasolenia, rozwój systemów monitoringu jakości wody oraz wykorzystanie rozwiązań biologicznych lub technicznych do eliminacji *Prymnesium parvum* z akwenów.

Skuteczna walka z zakwitami złotej algi wymaga systemowego, interdyscyplinarnego podejścia, łączącego dorobek badań naukowych z praktycznymi rozwiązaniami służącymi ochronie wód przed powtarzającymi się katastrofami.

GENETYKA I NARZĘDZIA DO MAPOWANIA GENÓW – DOSTĘPNE ROZWIĄZANIA I ICH POTENCJAŁ WYKORZYSTANIA W ROZWOJU AKWAKULTURY I WETERYNARII

Konrad Ocalewicz

Katedra Biologii Morza i Biotechnologii,

Wydział Oceanografii i Geografii,

Uniwersytet Gdański, e-mail: konrad.ocalewicz@ug.edu.pl

Programy selekcyjne w akwakulturze to zabiegi hodowlane mające na celu poprawę cech gospodarczych organizmów wodnych, głównie ryb, poprzez wybieranie do tarła i kojarzenie osobników o cechach pożądanых z punktu widzenia wydajności i rentowności produkcji. Nadrzędnym celem prowadzenia programów selekcyjnych jest zwiększenie wartości hodowlanej zwierząt. Cechami, które interesują hodowców ryb są najczęściej: masa i długość ciała w konkretnym momencie życia zwierząt (generalnie tempo wzrostu), odporność na choroby, wydajność rzeźna, jak najpóźniejsze uzyskanie dojrzałości płciowej, płodność, odporność na niekorzystne warunki termiczne (czy generalnie środowiskowe) oraz wybarwienie tkanki mięśniowej. Cechy te nazywamy ilościowymi, są one mierzalne i wyrażane liczbowo (np. wiek, wzrost), podczas gdy cechy jakościowe są niemierzalne i opisowe (np. płeć, ubarwienie, deformacje szkieletowe).

Programy hodowlane w akwakulturze wymagają ustalenia celu hodowli oraz utworzenia planu, który ma prowadzić do jego osiągnięcia. W takim przypadku najczęściej stosuje się metodę masowej selekcji kierunkowej. Sukces prac selekcyjnych zależy między innymi od tego w jakim stopniu dana cecha użytkowa jest odziedziczalna. Odziedziczalność cechy to miara statystyczna, która określa, jaki procent zmienności danej cechy w populacji jest spowodowany różnicami genetycznymi między osobnikami, a nie czynnikami środowiskowymi. Wartość odziedziczalności mieści się w przedziale od 0 (brak wpływu genów) do 1 (całkowity wpływ genów). Jeżeli zmienność danej cechy fenotypowej w stadzie jest wysoka, to szansa na poprawienie tejże jest duża. Jeżeli natomiast mamy do czynienia z niewielkimi zasobami zmienności w stadzie to powodzenie programu selekcyjnego jest bardzo wątpliwe. Wymienione powyżej cechy fenotypowe, których poprawianiem najbardziej interesują się hodowcy ryb, są cechami ilościowymi i wielogenowymi. Co oznacza, że są one wypadkową działania mniejszej lub większej liczby genów.

Region w genomie, który odpowiada za zmienność fenotypową cechy ilościowej to geny o dużych efektach opisywane w literaturze jako loci cechy ilościowej (ang. Quantitative Trait Loci, QTLs). QTL to nie pojedynczy gen, ale obszar DNA, który może zawierać jeden lub więcej genów wpływających na daną cechę. Identyfikacja QTL odbywa się za pomocą metod statystycznych (tzw. mapowanie QTL), które łączą dane o fenotypach (obserwowanych cechach) z danymi genotypowymi (markerami molekularnymi) w celu zlokalizowania tych regionów w genomie.

Badania molekularne pozwalają na odnalezienie markerów genetycznych, którymi są najczęściej wysoce polimorficzne fragmenty DNA lub polimorfizm pojedynczych nukleotydów (SNP) sprzężone z genami o dużych efektach. Opisanie takich markerów umożliwia ich wykorzystanie w pracach selekcyjnych ryb, a proces taki nazywa się selekcją z wykorzystaniem markerów genetycznych (Marker Assisted Selection – MAS). Metoda MAS umożliwiła na przykład wczesną identyfikację łososi o podwyższonej odporności na zakaźną martwicę trzustki (IPNV), bazując na obecności specyficznych markerów DNA, zamiast czekać na faktyczne wystąpienie choroby (Houston i in. 2010). Pozwoliło to na szybszą i bardziej precyzyjną selekcję materiału hodowlanego. Co więcej, badania genetyczne doprowadziły do zidentyfikowania głównego QTL, który ma dominujący wpływ na odporność na IPNV (Houston i in. 2010). Potwierdzono, że ten pojedynczy, główny QTL odpowiada za znaczną część obserwowanej zmienności fenotypowej w zakresie odporności na IPNV, szacowaną na około 29%. Odkrycie to pozwoliło zaoszczędzić 26.4 mln funtów i ochroniło około 750 miejsc pracy.

Przełomem w badaniach, których celem jest uzyskanie genetycznych markerów cech ilościowych zostało opracowanie wysoko wydajnych technik analizy całych genomów zwanych potocznie metodami „sekwencjonowaniem nowej generacji” (Next Generation Sequencing, NGS). Sekwencjonowanie NGS to zaawansowana technologia do szybkiego i równoczesnego sekwencjonowania milionów fragmentów DNA lub RNA. Metoda ta pozwala na kompleksową analizę genomu, transkryptomu, a także detekcję mutacji, co jest kluczowe w badaniach genetycznych, diagnostyce chorób, monitorowaniu patogenów oraz w badaniach naukowych. W przeciwieństwie do starszych metod (metoda Sanger), NGS pozwala na jednoczesne sekwencjonowanie milionów fragmentów DNA w jednym eksperymencie, co znacznie zwiększa szybkość i wydajność. Techniki NGS pozwalają na uzyskanie bardzo dużej ilości informacji dotyczącej zmienności DNA w każdym obszarze badanego genomu i dostarczają wielu nowych markerów genetycznych powiązanych z interesującymi nas cechami ilościowymi. Rozwój wysokowydajnych technik sekwencjonowania całych genomów i metod obliczeniowych umożliwia uporządkowanie danych i znalezienie korelacji z genami o dużych efektach. Rozwój technologii NGS drastycznie obniżył koszty sekwencjonowania DNA, co uczyniło badania genetyczne bardziej dostępnymi także dla sektora akwakultury. Koszty spadły z milionów dolarów (za cały genom) w 2001 roku do kilkuset dolarów w 2020 roku. Aby dodatkowo ograniczyć koszty, zamiast sekwencjonować cały genom można sekwencjonować tylko wybrane geny (panele).

Selekcja genomowa i badania asocjacyjne całego genomu (GWAS)

Zastosowanie technik sekwencjonowania nowej generacji pozwolił znacząco obniżyć koszty uzyskania genetycznych markerów cech użytkowych ważnych w akwakulturze oraz poprawić skuteczność prowadzonych prac selekcyjnych. Obniżenie kosztów i zwiększenie dostępności technologii NGS pozwoliło na prowadzenie selekcji genomowej oraz badań asocjacyjnych całego genomu (GWAS). Selekcja genomowa to metoda polegająca na ocenie wartości genetycznej ryb na

podstawie analizy ich całego genomu setek tysięcy a nawet milionów markerów genetycznych, umożliwiając wybór do programów hodowlanych najlepszych osobników co zdecydowanie przyspiesza postęp hodowlany. Metoda ta umożliwia selekcję cech o niskiej dziedziczalności, zdrowotnych czy produkcyjnych, co czyni programy hodowlane bardziej efektywnymi i zrównoważonymi. Z kolei badania asocjacyjne w całym genomie (GWAS) to naukowe podejście pozwalające identyfikować warianty DNA (SNPs) powiązane z cechami na przykład odporności na choroby, porównując genomy dużej grupy ryb chorych (przypadki) z grupą zdrowych osobników(kontrolę). GWAS pozwalają odkryć, które warianty genów są statystycznie związane z daną cechą oraz znaleźć geny, które mogą wpływać na ryzyko ich wystąpienia.

Badania GWAS pstrąga tęczowego wykazały, że genetyczne podstawy cechy jaka jest kolor fileta (w zakresie od czerwonego przez żółty do białego) jest kontrolowany przez wiele genów zaangażowanych w metabolizm karotenoidów, homeostazę mioglobiny i utlenianie lipidów. Zidentyfikowano kluczowe geny, takie jak BCO1 (karotenoid) i ATP5F1B (mioglobina), co pozwala na selekcję genetyczną w celu poprawy koloru pod kątem atrakcyjności dla konsumentów (oraz obniżyć koszty produkcji ryb o konkretnym kolorze mięśni). Zidentyfikowane równoległe markery genetyczne (SNP) położone w pobliżu genów mających największy wpływ na wybarwienie mięśni potencjalnie mogą pomóc hodowcom wybierać pstrągi o pożądanym kolorze fileta (jaskrawoczerwonym lub białym) do sprzedaży komercyjnej (Ahmed i in. 2022).

Podobna strategia pozwoliła zidentyfikować locus *vgll3* (ang. *vestigial-like family member 3*), który w największym stopniu kontroluje wiek osiągnięcia dojrzałości płciowej u łososia atlantyckiego (zarówno dzikiego, jak i udomowionego). Gen ten odpowiada za znaczną część (do 40%) zmienności fenotypowej w wieku osiągnięcia dojrzałości płciowej. Locus *vgll* wykazuje dominację zależną od płci. U samców sprzyja wcześniejszemu dojrzewaniu, podczas gdy u samic promuje dojrzewanie późniejsze (Ajllon i in. 2015). Odkrycie roli genu *vgll3* ma duże znaczenie dla zarządzania populacjami łososia oraz dla hodowli, umożliwiając na przykład hodowcom selekcję ryb, które dojrzewają później, co zapobiega problemom związanym z przedwczesnym dojrzewaniem w warunkach akwakultury.

Edycja genomu

Edycja genomu to technologia pozwalająca na precyzyjne modyfikacje DNA organizmów, takie jak dodawanie, usuwanie lub zmiana sekwencji genów. O ile programy hodowlane są zazwyczaj długotrwałe, to metoda edycji genomu pozwala uzyskać osobniki o określonym fenotypie już w pierwszym pokoleniu. Wyłączenie genu miostatyny (*mstn*) u morlesza (ang. red seabream) za pomocą technologii edycji genomu, takiej jak CRISPR/Cas9, prowadzi u nosicieli tej nowej mutacji do znacznego wzrostu masy mięśniowej i szybszego tempa wzrostu (Ohama i in. 2020). Ryby ze wyłączonym genem *mstn* osiągają masę rynkową w krótszym czasie, co ma istotne implikacje dla akwakultury. Niektóre badania wykazały poprawę wskaźnika konwersji paszy, co oznacza, że ryby efektywniej wykorzystują pożywienie do budowy masy ciała. Tak zmodyfikowana ryba została oficjalnie dopuszczona w Japonii do sprzedaży.

Z kolei chińscy naukowcy z powodzeniem wykorzystali technologię edycji genów do wyprodukowania pozbawionych śródmięśniowych ości leszczy *Megalobrama amblycephala*. Kluczowym elementem tych badań było zidentyfikowanie i wyłączenie genu *runx2b*, który odpowiada za ich powstawanie. Jego wyłączenie nie miało istotnego negatywnego wpływu na wzrost, skład mięśni

ani mineralizację pozostałych kości szkieletowych ryb w stadium młodocianym (Dong i in. 2023).

Literatura:

- Ahmed, R. O., Ali, A., Al-Tobasei, R., Leeds, T., Kenney, B., & Salem, M. (2022). Weighted Single-Step GWAS Identifies Genes Influencing Fillet Color in Rainbow Trout. *Genes*, 13(8), 1331. <https://doi.org/10.3390/genes13081331>
- Ayllon F, Kjærner-Semb E, Furmanek T, Wennevik V, Solberg MF, Dahle G, Taranger GL, Glover KA, Almén MS, Rubin CJ, Edvardsen RB, Wargelius A. The vgl3 Locus Controls Age at Maturity in Wild and Domesticated Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) Males. *PLoS Genet.* 2015 Nov 9;11(11):e1005628. doi: 10.1371/journal.pgen.1005628. PMID: 26551894; PMCID: PMC4638356.
- Qiang Dong, Chun-Hong Nie, Ya-Ming Wu, Dong-Yang Zhang, Xu-Dong Wang, Tan Tu, Jian Jin, Zu-Yu Tian, Jun-Qi Liu, Zheng-Yu Xiao, Shi-Ming Wan, Ze-Xia Gao, 2023. Generation of blunt snout bream without intermuscular bones by runx2b gene mutation, *Aquaculture*, Volume 567,739263,ISSN 0044-8486, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739263>
- Houston, R., Haley, C., Hamilton, A. *et al.* The susceptibility of Atlantic salmon fry to freshwater infectious pancreatic necrosis is largely explained by a major QTL. *Heredity* 105, 318–327 (2010). <https://doi.org/10.1038/hdy.2009.171>
- Mitsuki Ohama, Youhei Washio, Kenta Kishimoto, Masato Kinoshita, Keitaro Kato. 2020. Growth performance of myostatin knockout red sea bream *Pagrus major* juveniles produced by genome editing with CRISPR/Cas9, *Aquaculture*, Volume 529,735672,ISSN 0044-8486, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735672>

MANIPULACJE GENOMOWE I INNE TECHNOLOGIE ZARZĄDZANIA ROZRODEM RYB – MOŻLIWOŚCI WPŁYWU NA JAKOŚĆ RYB I ICH ODPORNOŚĆ.

Radosław Kowalski

Zespół Biotechnologii Rozrodu Organizmów Wodnych,
Instytut Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności PAN w Olsztynie.

Konrad Ocalewicz

Katedra Biologii Morza i Biotechnologii,
Wydział Oceanografii i Geografii,
Uniwersytet Gdański.

Ziemowit Pirtań

Aqakultura Rybajka Spółka z o.o.

Wprowadzenie

Współczesne rybactwo i akwakultura należą do najszybciej rozwijających się sektorów produkcji zwierzęcej na świecie. Dynamiczny wzrost populacji ludzkiej, zmiany klimatyczne oraz rosnące zapotrzebowanie na białko pochodzenia zwierzęcego powodują, że rośnie również zapotrzebowanie na wysokiej jakości produkty rybne. W odpowiedzi na te wyzwania hodowcy oraz jednostki naukowe podejmują liczne działania mające na celu udoskonalenie procesów rozrodczych, poprawę cech użytkowych ryb oraz zwiększenie odporności na choroby. W ostatnich dekadach szczególnego znaczenia nabrały **manipulacje genetyczne** oraz **technologie biotechnologiczne**, obejmujące m.in. selekcję, transgenezę, edycję genomu oraz triploidyzację.

Jednocześnie rozwój metod kriokonserwacji nasienia, optymalizacja procesów rozrodczych oraz możliwość krzyżowania gatunków rozmnażających się w różnych sezonach znacząco zwiększyły elastyczność produkcyjną wylęgarni. W praktyce umożliwia to przygotowanie materiału zarybieniowego o ściśle określonych parametrach, niezależnie od naturalnego cyklu rozrodczego poszczególnych gatunków.

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie najważniejszych technologii manipulacji genetycznych stosowanych w nowoczesnym rybactwie oraz omówienie ich praktycznego zastosowania na przykładzie projektu SALMOCROSS, w ramach którego połączono techniki kriokonserwacji, pneumatycznego pozyskiwania oocytów i triploidyzacji w celu produkcji odpornych i szybko rosnących hybryd ryb łososiowatych.

1. Manipulacje genetyczne w rybactwie – ujęcie teoretyczne

1.1. Klasyczna selekcja hodowlana

Selekcja hodowlana to najstarsza metoda kształtowania cech użytkowych organizmów, stosowana w rolnictwie od tysięcy lat. W rybactwie, z uwagi na możliwość uzyskania wielu pokoleń w krótkim czasie, ma ona szczególne znaczenie. Dzięki precyzyjnemu doborowi osobników o pożądanym cechach, takich jak tempo wzrostu, odporność na choroby czy wydajność rozrodu, możliwe jest tworzenie wysoko wyspecjalizowanych linii hodowlanych.

Przykładem sukcesu selekcji jest pstrąg tęczowy, którego współczesne linie trą się w różnych porach roku – zarówno jesienią, jak i wiosną. Zjawisko to powstało w wyniku wieloletnich zabiegów hodowlanych, których celem było dostosowanie produkcji do potrzeb rynku. Dzięki temu wylęgarnie są w stanie podażowo utrzymać wysoki poziom produkcji niezależnie od zmian sezonowych.

Selekcja hodowlana, rozumiana jako celowy dobór osobników o pożądanych cechach fenotypowych i genotypowych, stanowi najstarszą metodę manipulacji genetycznej wykorzystywaną w akwakulturze (Gjedrem & Baranski, 2009). Jej efektywność wynika z krótkiego cyklu życiowego wielu gatunków ryb, co pozwala na uzyskiwanie kolejnych generacji w stosunkowo krótkim czasie.

Przykładem sukcesu selekcji jest pstrąg tęczowy (*Oncorhynchus mykiss*), w przypadku którego wyhodowano linie o zmienionym sezonie rozrodu — zarówno formy trące się jesienią, jak i wiosną. Umożliwia to produkcję materiału zarybieniowego bez przerw sezonowych, co ma kluczowe znaczenie dla wylęgarni funkcjonujących w trybie ciągłym. Współcześnie selekcja jest wspomagana analizami molekularnymi, jednak nadal pozostaje procesem długotrwałym i wymagającym szerokiej bazy genetycznej.

Wraz ze wzrostem wiedzy genetycznej oraz dostępem do metod fenotypowania i genotypowania selekcja stała się jeszcze skuteczniejsza, choć jej ograniczenia (czasochłonność, zależność od zmienności genetycznej populacji) sprawiają, że w ostatnich latach ustępuje miejsca bardziej precyzyjnym technikom manipulacji genomem.

1.2. Transgeneza – wprowadzanie obcego materiału genetycznego

Transgeneza polega na wprowadzeniu do genomu organizmu docelowego fragmentu DNA pochodzącego z innego gatunku. Jej rozwój rozpoczął się w latach 70. XX wieku wraz z odkryciem możliwości łączenia fragmentów DNA za pomocą enzymów restrykcyjnych oraz ligaz. Kluczowe znaczenie miały prace Boyera i Cohena, którzy wykazali, że DNA obcego gatunkowo może podlegać transkrypcji oraz translacji w komórkach gospodarza.

W latach 90. technika ta znalazła znaczące zastosowanie w rybactwie, kiedy Devlin i współpracownicy uzyskali transgeniczne łososie o znacząco zwiększonym tempie wzrostu. Ryby te, znane obecnie pod nazwą **AquaBounty**, wprowadzono na rynek amerykański i kanadyjski odpowiednio w 2015 i 2016 roku. Jakkolwiek firma w 2025 roku zaprzestała swojej działalności przejdzie do historii jako pierwsza, która dostarczyła na rynek zwierzęta uzyskane w procesie manipulacji genetycznej. Od tej pory transgeneza w akwakulturze pozostaje kwestią szeroko debatowaną.

Zalety transgenezy:

- możliwość znacznego przyspieszenia wzrostu,
- zwiększenie odporności na choroby,
- poprawa efektywności paszowej,
- potencjał do ograniczenia presji połowowej na gatunki dzikie.

Wady i kontrowersje:

- brak pełnej akceptacji społecznej,
- obawy o wpływ na środowisko naturalne,
- skomplikowane regulacje prawne,
- konieczność ścisłego nadzoru hodowlanego.

1.3. Edycja genomu (CRISPR-Cas9)

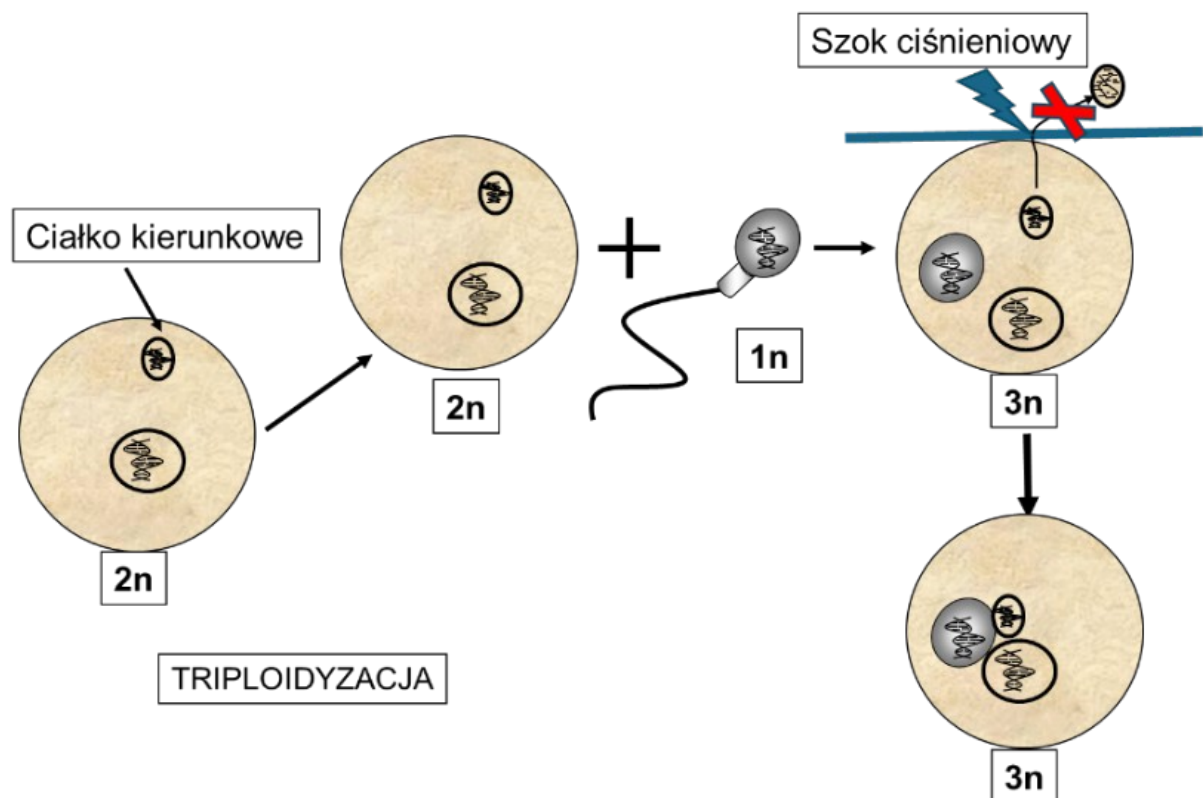
Edycja genomu za pomocą technologii CRISPR/Cas9 stanowi jedno z najważniejszych osiągnięć współczesnej genetyki (Hsu, Lander & Zhang, 2014). W przeciwieństwie do transgenezy, CRISPR pozwala na modyfikację istniejących sekwencji DNA, bez konieczności wprowadzania obcego materiału. Z tego powodu różni się znacząco od klasycznej transgenezy i jest często odbierana jako bardziej akceptowalna społecznie. Daje to ogromne możliwości:

- wyłączanie genów odpowiedzialnych za rozwój niepożądanych cech,

- poprawa odporności na choroby,
- kształtowanie wydajności metabolicznej,
- modyfikacja struktury mięsa.

Zgodnie z wynikami badań przedstawionych w prezentacji „Manipulacje genomowe”, edycja genomu pozwoliła na opracowanie odmiany karasia srebrzystego o znacznie ograniczonej liczbie ości, co wpisuje się w oczekiwania konsumentów na rynku europejskim i azjatyckim. Jest to odpowiedź na bardzo wyraźny trend konsumencki – nabywcy ryb oczekują produktów łatwych w obróbce, pozbawionych skomplikowanej struktury kostnej.

Pomimo ogromnego potencjału, wykorzystanie CRISPR w produkcji akwakulturowej jest ograniczone regulacjami prawnymi oraz koniecznością przeprowadzenia długotrwałych analiz bezpieczeństwa.



Rys. 1. Schemat przebiegu procesu triploidyzacji.

1.4. Triploidyzacja – metoda uzyskiwania osobników bezpłodnych

Triploidyzacja, polegająca na uzyskaniu osobników o potrójnym zestawie chromosomów (3n), jest jedną z najczęściej stosowanych technik w nowoczesnej akwakulturze (Benfey, 1999). Polega na uzyskaniu osobników posiadających potrójny zestaw chromosomów (3n), co czyni je niezdolnymi do rozmnażania. Osiąga się to najczęściej poprzez zastosowanie stresu termicznego lub ciśnieniowego bezpośrednio po zapłodnieniu, zanim uformuje się i zostanie wyrzucone poza oocyt, drugie ciało kierunkowe.

Zalety triploidów:

- brak dojrzewania płciowego → brak regresji wzrostu,
- wyższy potencjał wzrostowy,
- większe bezpieczeństwo środowiskowe (bepłodne osobniki),
- wysoka jakość mięsa dzięki równomiernemu metabolizmowi.

Wady triploidyzacji to przede wszystkim niższa przeżywalność embrionalna, większe ryzyko deformacji oraz konieczność bardzo precyzyjnej techniki zapłodnienia. Mimo to triploidy są szeroko wykorzystywane w hodowli łososi, pstrągów, karpia i innych gatunków.

2. Kriokonserwacja jako narzędzie wspomagające manipulacje genetyczne

2.1. Zastosowanie kriokonserwacji w rybactwie

Kriokonserwacja nasienia ryb stanowi jedno z kluczowych narzędzi współczesnego rozrodu kontrolowanego. Pierwsze jej zastosowanie opisano już w 1953 roku, gdy Blaxter wykorzystał zamrożone nasienie do skrzyżowania śledzia wiosennego i jesienno-tarła. Jej rozpowszechnienie można powiązać z ukazaniem się szerokiego pracownia opisującego metody kriokonserwacji w roku 1980 (Ashwood-Smith, 1980).

Obecnie kriokonserwacja umożliwia:

- zabezpieczanie różnorodności genetycznej,
- długotrwałe przechowywanie materiału od samców o najwyższej wartości hodowlanej,
- krzyżowanie gatunków o różnych sezonach rozrodczych,
- synchronizację procesów hodowlanych w skali przemysłowej.

2.2. Kriokonserwacja w praktyce – wnioski z projektu SALMOCROSS

W projekcie SALMOCROSS wykorzystano kriokonserwację w sposób innowacyjny. Dzięki opracowaniu nowego rozrzedzalnika możliwe stało się przechowywanie nasienia przez kilka dni przed zamrożeniem, co było niezbędne ze względów logistycznych. Pozwoliło to na transport dużych partii nasienia z gospodarstwa do instytutu naukowego wyposażonego w automatyczne systemy zamrażania.

Badania wykazały, że nawet po kilku dniach przechowywania nasienie zachowuje wysoką ruchliwość i zdolność zapładniającą, a co więcej, możliwe jest jego skuteczne zamrożenie. Otworzyło to możliwość masowej produkcji triploidalnych hybryd z udziałem pstrąga tęczowego i pstrąga źródlanego.

3. Hybrydyzacja ryb łososiowatych – charakterystyka i znaczenie

3.1. Biologiczne podstawy hybrydyzacji

Hybrydyzacja to krzyżowanie osobników należących do dwóch różnych gatunków. W przypadku ryb łososiowatych krzyżówki są stosunkowo częste, jednak większość z nich okazuje się letalna, o ile nie zostanie zastosowana technika triploidyzacji.

W projekcie SALMOCROSS wybrano dwa gatunki odporne na wirusa VHS:

- pstrąg źródlany (*Salvelinus fontinalis*)
- palię alpejską (*Salvelinus alpinus*)

Krzyżówki tych gatunków z pstrągiem tęczowym naturalnie obumierają przed wylęgiem, jednak po triploidyzacji mogą rozwijać się prawidłowo. Dzięki temu, proces triploidyzacji w tym przypadku, jest gwarantem możliwości uzyskania żywotnych ryb a tym samym, w procesie tej hybrydyzacji, nie powstają osobniki płodne. Pozwala to zapewnić bezpieczeństwo biologiczne ekosystemom otaczającym hodowle takich ryb, gdyż nawet w przypadku ucieczki triploidów z hodowli, nie będą się one rozmnażać a tym samym, nie stworzą zagrożenia dla naturalnie występujących gatunków.

3.2. Wady i zalety gatunków z rodzaju *Salvelinus*

Zgodnie z prezentacją pstrągi z rodzaju *Salvelinus* posiadają szereg cech pożądanых i niepożądanych. Ich odporność na choroby wirusowe, zwłaszcza VHS, czyni je atrakcyjnymi dla hodowców. Jednocześnie wolniejszy wzrost, wczesne

dojrzewanie płciowe i niska tolerancja na wysokie temperatury ograniczają ich konkurencyjność względem pstrąga tęczowego.

Dlatego ich wykorzystanie w hybrydyzacji jest bardzo korzystne — pozwala przenieść korzystne cechy odporności, jednocześnie niwelując negatywne cechy dzięki udziałowi pstrąga tęczowego.

4. Triploidyzacja w praktyce – omówienie badań SALMOCROSS

4.1. Pneumatyczne pozyskiwanie oocytów

Nowatorskim rozwiązaniem zastosowanym w SALMOCROSS było wprowadzenie techniki pneumatycznego pozyskiwania oocytów. Tradycyjne ręczne pozyskiwanie poprzez masaż powłok brzusznych wiązało się z większą delikatnością oocytów oraz większym odsetkiem uszkodzeń po szoku ciśnieniowym.

Oocyty pobrane pneumatycznie wykazały znacznie mniejsze bielenie, co wskazuje na ich większą wytrzymałość i lepszą jakość. Dzięki temu możliwe było uzyskanie znacznie lepszych wyników triploidyzacji z zastosowaniem szoku ciśnieniowego.



Rys. 2. Zdjęcie przedstawiające, od dołu: pstrąg tęczowy, pstrąg źródlany, triploidalna hybryda obu gatunków powstałą w projekcie SALMOCROSS

4.2. Szok ciśnieniowy i jego optymalizacja

W wyniku badań ustalono, że kluczowe znaczenie mają:

- czas po zapłodnieniu, po którym stosuje się szok,
- długość trwania ciśnienia,
- jakość oocytów i nasienia.

Optymalizacja tych parametrów umożliwiła uzyskanie do **90% zaoczkowanej ikry**, co stanowi wartość bardzo wysoką w porównaniu z dotychczasowymi wynikami przemysłowymi.

4.3. Powstała hybryda – charakterystyka i znaczenie użytkowe

Triploidalne hybrydy charakteryzują się:

- bardzo szybkim tempem wzrostu,

- brakiem dojrzewania płciowego,
- wysoką odpornością na wirusy VHS i IPN,
- dobrą jakością mięsa,
- atrakcyjnym wyglądem.

Dzięki temu mogą stanowić realną alternatywę dla produkcji pstrąga tęczowego, zwłaszcza w rejonach dotkniętych chorobami wirusowymi.

5. Społeczne i rynkowe uwarunkowania stosowania manipulacji genetycznych

W ostatnich latach kluczowe znaczenie ma akceptacja społeczna dla produktów powstałych w wyniku manipulacji genetycznych. Badania przeprowadzone w Polsce i Niemczech wykazały, że konsumenci oczekują ryb łatwych w konsumpcji, najlepiej pozbawionych ości.

Jednocześnie rośnie świadomość ekologiczna oraz presja na produkcję ryb bezpiecznych dla środowiska. Triploidy, ze względu na swoją bezpłodność, stanowią odpowiedź na te potrzeby, minimalizując ryzyko niekontrolowanej hybrydyzacji z populacjami dzikimi.

Technologie takie jak CRISPR budzą jednak mieszane reakcje, mimo iż nie zawsze wiążą się z wprowadzaniem transgenów. Ich przyszłość zależeć będzie od regulacji prawnych, poziomu zaufania konsumentów oraz przejrzystości procesu hodowlanego.

Podsumowanie

Manipulacje genetyczne w rybactwie odgrywają coraz większą rolę w kształtowaniu współczesnej akwakultury. Dzięki nim możliwe jest tworzenie nowych form użytkowych ryb, poprawianie ich odporności, tempa wzrostu oraz jakości mięsa.

Projekt SALMOCROSS stanowi doskonały przykład zastosowania biotechnologii w praktyce, łącząc nowatorskie metody kriokonserwacji, precyzyjnego pozyskiwania oocytów oraz triploidyzacji. Wyniki tych badań otwierają drogę do pełnoskalowej produkcji hybryd odpornych na choroby i cechujących się wysoką wartością rynkową. Jednocześnie rozwój metod takich jak CRISPR, transgeneza czy doskonalona selekcja hodowlana zwiastuje kolejny etap ewolucji akwakultury, w którym manipulacje genetyczne staną się jednym z filarów produkcji rybnej na świecie.

Literatura:

- Ashwood-Smith, M. J. (1980). Low temperature preservation of cells, tissues and organs. In M. J. Ashwood-Smith (Ed.), *Low temperature preservation in medicine and biology* (pp. 19–44). Pitman Medical.
- Benfey, T. J. (1999). The physiology and behavior of triploid fishes. *Reviews in Fisheries Science*, 7(1), 39–67.
- Blaxter, J. H. S. (1953). Sperm storage and cross-fertilization of spring and autumn spawning herring. *Nature*, 172, 1189–1190.
- Boyer, H. W., & Cohen, S. N. (1980). Process for producing biologically functional molecular chimeras. U.S. Patent No. 4,237,224.
- Devlin, R. H., Yesaki, T. Y., Donaldson, E. M., Du, S. J., & Hew, C. L. (1995). Production of germline transgenic Pacific salmon with dramatically increased growth performance. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 52(7), 1376–1384.
- Food and Drug Administration. (2015). FDA approves first genetically engineered animal for use as food. U.S. FDA.
- Gjedrem, T., & Baranski, M. (2009). *Selective breeding in aquaculture: An introduction*. Springer.
- Hsu, P. D., Lander, E. S., & Zhang, F. (2014). Development and applications of CRISPR-Cas9 for genome engineering. *Cell*, 157(6), 1262–1278.

ZMIANY LEGISLACYJNE W PRAWIE WETERYNARYJNYM W POLSCE I UE CO NAS CZEKA?

Marek St. Kubica

Rada Zachodniopomorska Izby Lekarsko-Weterynaryjnej w Szczecinie

W najbliższym czasie należy się spodziewać transpozycji w polski porządek prawny dwóch fundamentalnych dla działalności zakładów akwakultury aktów prawa unijnego: Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/429 z dnia 9 marca 2016 r. w sprawie przenośnych chorób zwierząt oraz zmieniającego i uchylającego niektóre akty w dziedzinie zdrowia zwierząt (Prawo o zdrowiu zwierząt, AHL). oraz Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/6 w sprawie weterynaryjnych produktów leczniczych i uchylającego Dyrektywę 2001/82/WE (VMP). Transpozycja ww. aktów prawnych determinować będzie fundamentalną zmianę podejścia do kwestii zarówno notyfikacji chorób zwierząt akwakultury, stosowania produktów leczniczych weterynaryjnych, jak i praw i obowiązków podmiotów utrzymujących zwierzęta akwakultury, co z oczywistych względów implikować będzie zmiany w systemie urzędowych kontroli.

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/429 (AHL)

W dniu 7 lipca 2025r. w Sejmie RP złożony został rządowy projekt ustawy o zdrowiu zwierząt (Druk sejmowy nr 1479). Głównym celem projektu ustawy o zdrowiu zwierząt jest wprowadzenie do polskiego porządku prawnego rozwiązań służących stosowaniu rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/429. Jak można przeczytać w uzasadnieniu do projektu ustawy *Rozporządzenie 2016/429 jest bezpośrednio stosowane w polskim porządku prawnym, niemniej jednak wymaga wprowadzenia na poziomie krajowym odpowiednich regulacji, które w szczególności określą kompetencje poszczególnych krajowych organów zaangażowanych w nadzór nad zdrowiem zwierząt oraz odpowiedzialnych za zwalczanie chorób zwierząt, a także sankcje za naruszenie przepisów rozporządzenia 2016/429 oraz przepisów UE wydanych na jego podstawie.* W projektowanej ustawie wprowadzono m.in. przepisy art. (53 ust. 5-9), które mają na celu realizację zobowiązań Krajów Członkowskich, wynikających z Europejskiego Zielonego Ładu (Green Deal) i Strategii od pola do stołu (Farm to Fork), definiujące jako główny cel do osiągnięcia do 2030 r., zmniejszenie na poziomie Unii Europejskiej o 50 % stosowania środków przeciwdrobnoustrojowych dla zwierząt utrzymywanych w gospodarstwach akwakultury. Zasadniczo organem właściwym do rejestracji i zatwierdzania oraz prowadzenia i aktualizacji rejestru zakładów akwakultury (por. art. 101 i art. 185 rozporządzenia 2016/429) będzie dalej powiatowy lekarz weterynarii, jednakże w odniesieniu do grup zakładów akwakultury oraz kompartmentów (mięczaków wodnych) jako właściwy organ oprócz powiatowego lekarza weterynarii wskazano także wojewódzkiego lekarza weterynarii w zależności od obszaru, na którym jest zlokalizowana grupa zakładów akwakultury lub kompartment (art. 65 ust. 1 i 2 projektu ustawy). Fundamentalne w swym znaczeniu dla zakładów akwakultury zmiany niosą obowiązki określone w art.24-25 AHL, które należy rozpatrywać łącznie z rozporządzeniami delegowanymi wydanymi na mocy delegacji dla Komisji zawartej w AHL. W pierwszej kolejności należy wskazać rozporządzenie (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, uzupełniające przepisy już określone w części IV tytuł II rozdział 1 rozporządzenia (UE) 2016/429 w odniesieniu do zatwierdzania

zakładów akwakultury, w których utrzymywane są zwierzęta akwakultury i które stwarzają istotne ryzyko dla zdrowia zwierząt, rejestrów zakładów akwakultury, które mają prowadzić właściwe organy, oraz obowiązków podmiotów prowadzących zakłady akwakultury i przewoźników zwierząt wodnych w zakresie prowadzenia dokumentacji. Rozporządzenie doprecyzowuje rodzaje zakładów akwakultury, które stwarzają istotne ryzyko rozprzestrzeniania się chorób zwierząt wodnych. W niniejszym rozporządzeniu opisano w szczególności takie rodzaje zakładów akwakultury oraz szczegółowo wyjaśniono wymaganie uzyskania zatwierdzenia przez podmioty prowadzące takie zakłady akwakultury. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, iż stosownie do zapisów rozporządzenia podmioty prowadzące wszystkie zakłady akwakultury mają obowiązek udzielić właściwemu organowi informacji w celu uzyskania zatwierdzenia zgodnie z art. 180 rozporządzenia (UE) 2016/429. W związku z tym podmioty powinny przedstawić właściwemu organowi pisemny plan bioasekuracji, który zostanie wzięty pod uwagę w trakcie procesu zatwierdzania. Złożoność planu bioasekuracji powinna zależeć od specyfiki zakładu akwakultury oraz od środków, które są wymagane, aby ograniczyć stwarzane przez nie ryzyko związane z chorobami. Elementem planu bioasekuracji są regularne kontrole stanu zdrowia zwierząt przeprowadzane przez lekarza weterynarii (por. art. 25 AHL). Kontrole stanu zdrowia zwierząt, przeprowadzane są w celu zapobiegania chorobom, w szczególności poprzez:

a) udzielenie danemu podmiotowi porad w zakresie bioasekuracji oraz innych kwestii dotyczących zdrowia zwierząt, stosownie do rodzaju zakładu oraz gatunków i kategorii zwierząt utrzymywanych w zakładzie;

b) wykrywanie objawów, które wskazują na występowanie chorób umieszczonych w wykazie lub nowo występujących chorób oraz informowanie o nich. Częstotliwość opartych na ryzyku kontroli stanu zdrowia zwierząt została określona załączniku VI część I rozdział 3 rozporządzenia delegowanego Komisji (UE) **2020/689**. Częstotliwość opartych na ryzyku kontroli stanu zdrowia, które muszą zostać przeprowadzone w niektórych zatwierdzonych zakładach i zatwierdzonych grupach zakładów, zależy od klasyfikacji ryzyka, o której mowa w rozdziale 2, i przeprowadza się je w następujący sposób:

a) co najmniej raz do roku w zakładach wysokiego ryzyka;

b) co najmniej raz na dwa lata w zakładach średniego ryzyka;

c) co najmniej raz na trzy lata w zakładach niskiego ryzyka;

Klasyfikacja ryzyka musi uwzględniać co najmniej czynniki ryzyka, o których mowa w lit. a) i b). W stosownych przypadkach zostaną uwzględnione również lit. c)-l):

a) możliwość bezpośredniego rozprzestrzeniania się patogenów za pośrednictwem wody;

b) przemieszczanie zwierząt akwakultury;

c) rodzaj produkcji;

d) gatunki utrzymywanych zwierząt akwakultury;

e) system bioasekuracji z uwzględnieniem umiejętności i przeszkolenia pracowników;

f) zagęszczenie zakładów akwakultury i zakładów przetwórczych na obszarze otaczającym dany zakład;

g) bliskość zakładów o niższym statusie zdrowotnym od statusu danego zakładu;

h) historia chorób w danym zakładzie i w innych lokalnych zakładach;

i) obecność zakażonych dzikich zwierząt wodnych na obszarze otaczającym dany zakład;

j) ryzyko stwarzane przez działalność człowieka w pobliżu danego zakładu, np. wędkarstwo, obecność tras transportowych, portów, w których wymienia się wodę balastową;

k) dostęp drapieżników do danego zakładu, który może spowodować rozprzestrzenianie się choroby;

l) dotychczasowa zgodność zakładu z wymogami właściwego organu.

Niezależnie od powyższego, zakłady akwakultury i grupy zakładów akwakultury powinny, na podstawie przepisów ustanowionych w części I rozdział 1 załącznika VI do rozporządzenia delegowanego (UE) 2020/689, uczestniczyć w programie nadzoru opartego na ryzyku, który został wprowadzony przez właściwy organ zgodnie z art. 26 rozporządzenia (UE) 2016/429. Zakłady akwakultury, które nie uczestniczą w takim programie, nie mogą być zatwierdzone, ergo nie mogą prowadzić działalności nadzorowanej. Zgodnie z art. 27 rozporządzenia (UE) 2016/429 nadzór oparty na ryzyku może obejmować nadzór sprawowany przez same podmioty zgodnie z art. 24, w tym kontrole stanu zdrowia zwierząt, o których mowa w art. 25 tego rozporządzenia. Nadzór oparty na ryzyku można również sprawować jednocześnie z nadzorem sprawowanym w związku z konkretnymi chorobami umieszczonymi w wykazie, aby zmaksymalizować zasoby. Częstotliwość stosowania nadzoru opartego na ryzyku zależy od sklasyfikowania zakładu akwakultury przez właściwy organ w następstwie oceny okoliczności związanych z danym zakładem jako stwarzający "wysokie", "średnie" lub "niskie" ryzyko. Czynniki, które właściwy organ powinien wziąć pod uwagę i uwzględnić podczas klasyfikowania zakładów pod względem ryzyka, a także częstotliwość stosowania nadzoru przypisana do każdej klasy ryzyka, znajdują się w części I załącznika VI do rozporządzenia delegowanego (UE) 2020/689. Celem objęcia programem nadzoru opartym na ryzyku zakładów akwakultury, w których utrzymuje się gatunki nieumieszczone w wykazie, ale które uczestniczą w handlu na znaczą skalę, a w związku z tym sklasyfikowano je jako stwarzające "wysokie" ryzyko, jest zmaksymalizowanie szansy na zidentyfikowanie i zwalczanie nowo występujących chorób, jeżeli wystąpią u zwierząt akwakultury z gatunków nieumieszczone w wykazie. Bez uszczerbku dla wymogu, aby w ramach procesu zatwierdzenia podmioty przedstawiły właściwemu organowi plan bioasekuracji oraz aby niektóre zakłady akwakultury uczestniczyły w programie nadzoru opartego na ryzyku, zakłady akwakultury, które muszą zostać zatwierdzone, powinny również spełnić wymagania dotyczące ich obiektów i sprzętu określone w rozporządzeniu 2020/691. Zgodnie z brzmieniem artykułu 181 AHL właściwy organ zatwierdza wyłącznie wtedy zakłady akwakultury, o których mowa w art. 176 ust. 1 i art. 178 lit. a), oraz zakłady zajmujące się żywnością pochodzącą od lub ze zwierząt wodnych objętych zwalczaniem chorób, o których mowa w art. 179, gdy takie zakłady:

a) spełniają, w stosownych przypadkach, następujące wymagania dotyczące:

(i) kwarantanny, izolacji i innych środków bioasekuracji, z uwzględnieniem wymagań określonych w art. 10 ust. 1 lit. b) oraz w przepisach przyjętych na podstawie art. 10 ust. 6;

(ii) nadzoru, określone w art. 24 oraz - stosownie do rodzaju zakładu i związanego z nim ryzyka - w art. 25;

(iii) prowadzenia dokumentacji, określone w art. 186-188 oraz w przepisach przyjętych na podstawie art. 189 i 190;

b) posiadają obiekty i sprzęt:

(i) odpowiednie do zmniejszenia do dopuszczalnego poziomu ryzyka wprowadzenia i rozprzestrzeniania się chorób, z uwzględnieniem rodzaju danego zakładu;

(II) o odpowiednim potencjale w stosunku do gatunków, kategorii i ilości (liczby, objętości lub wagi) danych zwierząt wodnych;

c) nie stwarzają niedopuszczalnego ryzyka rozprzestrzeniania się chorób, z uwzględnieniem wprowadzonych środków zmniejszających ryzyko;

d) posiadają system, który umożliwia danemu podmiotowi wykazanie wobec właściwego organu, że spełnione są wymagania określone w lit. a), b) i c).

W rozporządzeniu wykonawczym Komisji (UE) 2018/1882 wprowadzono definicje chorób kategorii A, B, C, D i E i przewidziano, że przepisy dotyczące zapobiegania chorobom i ich zwalczania w odniesieniu do chorób umieszczonych w wykazie, o których mowa w art. 9 ust. 1 rozporządzenia (UE) 2016/429, mają zastosowanie do kategorii chorób umieszczonych w wykazie w odniesieniu do gatunków umieszczonych w wykazie i grup gatunków umieszczonych w wykazie, o których mowa w tabeli w załączniku do rozporządzenia wykonawczego (UE) 2018/1882. Z tabeli tej wynika, że niektóre gatunki zwierząt wodnych, które wymieniono w kolumnie 4 tej tabeli, należy uznać za wektory wyłącznie w przypadku, gdy są utrzymywane w zakładzie akwakultury, w którym utrzymywane są również gatunki wymienione w kolumnie 3 tabeli, lub - w przypadku dzikich zwierząt wodnych - gdy były narażone na kontakt z gatunkami wymienionymi w kolumnie 3 na terenie siedliska naturalnego. Jeżeli gatunki te są jednak następnie utrzymywane w izolacji od gatunków wymienionych w kolumnie 3 oraz od zakażonych źródeł wody przez odpowiedni okres, nie należy już uznawać ich za wektory. Jeżeli wspomniany okres izolacji nie może mieć miejsca w zakładzie kwarantanny zatwierdzonym zgodnie z art. 15 niniejszego rozporządzenia, takie zwierzęta wodne mogą zostać utrzymane w zakładzie akwakultury innego rodzaju, w którym nie stosuje się wszystkich środków bioasekuracji wymaganych w odniesieniu do zakładów kwarantanny, ale w którym gatunki te będą utrzymane w izolacji od potencjalnych patogenów do momentu, w którym przestaną być uznawane za wektory.

W wykazie ujęto następujące choroby ryb:

1. **Epizootyczna martwica układu krwiotwórczego** (*Epizootic haematopoietic necrosis EHN*), skasyfikowana jako choroba kategorii A+D+E.

Gatunek i grupa gatunków wrażliwych to: *Ameiurus melas*, *Bidyanus bidyanus*, *Esox lucius*, *Galaxias olidus*, *Gambusia efinis*, *Gambusia holbrooki*, *Macquaria australasica*, *Melanotaenia fluviatilis*, *Oncorhynchus mykiss*, *Perca fluviatilis*, *Sander lucioperca*;

2. **Wirusowa posocznica krwotoczna** (*Viral haemorrhagic septicaemia - VHS*)

skasyfikowana jako choroba C+D+E, Gatunek i grupa gatunków wrażliwych to: *Alosa immaculata*, *Ameiurus nebulosus*, *Ambloplites rupestris*, *Ammodytes hexapterus*, *Aplodinotus grunniens*, *Centrolabrus exoletus*, *Clupea harengus*, *Clupea pallasii pallasii*, *Coregonus artedii*, *Coregonus clupeaformis*, *Coregonus lavaretus*, *Ctenolabrus rupestris*, *Cyclopterus lumpus*, *Cymatogaster aggregata*, *Dorosoma cepedianum*, *Danio rerio*, *Engraulis encrasicolus*, *Esox lucius*, *Esox masquinongy*, *Fundulus heteroclitus*, *Gadus macrocephalus*, *Gadus morhua*, *Gaidropsarus vulgaris*, *Gasterosteus aculeatus*, *Labrus bergylta*, *Labrus mixtus*, *Lampetra fluviatilis*, *Lepomis gibbosus*, *Lepomis macrochirus*, *Limanda limanda*, *Merlangius merlangus*, *Micropterus dolomieu*, *Micropterus salmoides*, *Micromesistius poutassou*, *Morone americana*, *Morone chrysops*, *Morone saxatilis*, *Mullus barbatus*, *Neogobius melanostomus*, *Notropis atherinoides*, *Notropis hudsonius*, *Oncorhynchus kisutch*, *Oncorhynchus mykiss*, mieszańce *Oncorhynchus mykiss* x *Oncorhynchus kisutch*, *Oncorhynchus tshawytscha*, *Paralichthys*

olivaceus, *Perca flavescens*, *Pimephales notatus*, *Pimephales promelas*, *Platichthys flesus*, *Pleuronectes platessa*, *Pomatoschistus minutus*, *Pomoxis nigromaculatus*, *Raja clavata*, *Salmo marmoratus*, *Salmo salar*, *Salmo trutta*, *Salvelinus namaycush*, *Sander vitreus*, *Sardina pilchardus*, *Sardinops sagax*, *Scomber japonicus*, *Scophthalmus maximus*, *Solea senegalensis*, *Sprattus sprattus*, *Symphodus melops*, *Thaleichthys pacificus*, *Trachurus mediterraneus*, *Trisopterus esmarkii*, *Thymallus thymallus*, *Uranoscopus scaber*;

3. **Zakaźna martwica układu krwiotwórczego ryb łososiowatych** (Infectious haematopoietic necrosis **IHN**), skalsyfikowana jako choroba kategorii C+D+E, zdefiniowane gatunki wrażliwe to *Esox lucius*, *Onchorynchus clarkii*, *Oncorhynchus keta*, *Oncorhynchus kisutch*, *Oncorhynchus masou*, *Oncorhynchus mykiss*, *Oncorhynchus nerka*, *Oncorhynchus tshawytscha*, *Salmo marmoratus*, *Salvelinus namaycush*, *Salmo salar*, *Salmo trutta*, *Salvelinus alpinus*, *Salvelinus fontinalis*;
4. **Zakażenie wirusem zakaźnej anemii łososi** z delecją w regionie polimorficznym (HPR) (Infectious Salmon Anemia Virus **ISAV**) skalsyfikowana jako choroba kategorii C+D+E, zdefiniowane gatunki wrażliwe to *Oncorhynchus mykiss*, *Salmo salar*, *Salmo trutta*;
5. **Zakażenie herpeswirusem koi** (Koi Herpesvirus - **KHV**), skalsyfikowana jako choroba kategorii E, zdefiniowane jak wrażliwe wszystkie odmiany i podgatunki *Cyprinus carpio* i mieszańce *Cyprinus carpio*, np. *Cyprinus carpio* x *Carassius auratus*, *Cyprinus carpio* x *Carassius carassius*, wektory: *Carassius auratus*, *Carassius gibelio*, *Ctenopharyngodon ideila*, *Gymnocephalus cernua*, *Hypophthalmichthys molitrix*, *Rutilus rutilus*, *Tinca tinca*;

Po wejściu w życie ustawy o zdrowiu zwierząt w proponowanym przez ustawodawcę okresie przeprowadzona będzie weryfikacja spełnienia wymagań dotyczących zatwierdzania zakładów akwakultury, w których utrzymuje się zwierzęta akwakultury w celu przemieszczenia ich z zakładów akwakultury w postaci żywej albo w postaci produktów akwakultury pochodzenia zwierzęcego, o których to wymaganiach mowa w art. 7 rozporządzenia 2020/691, t.j.:

1. Wymagania dotyczące środków bioasekuracji w zakładach akwakultury, w których utrzymuje się zwierzęta akwakultury w celu przemieszczenia ich z tych zakładów akwakultury w postaci żywej albo w postaci produktów akwakultury pochodzenia zwierzęcego, o których to wymaganiach mowa w art. 7 lit. b), są następujące:

a) podmioty wdrażają plan bioasekuracji zgodnie z art. 5 rozporządzenia 2020/691, który musi uwzględniać następujące elementy:

(I) punkty dezynfekcji muszą być zainstalowane w krytycznych lokalizacjach w zakładzie akwakultury;

(II) jeżeli w tym samym zakładzie akwakultury znajdują się następujące jednostki funkcjonalne, muszą one być oddzielone za pomocą odpowiednich barier higienicznych:

–wylęgarnie,

–tuczarnie,

–jednostki przetwórcze,

–centrum wysyłkowe;

(III) odzież i obuwie robocze dla pracowników muszą być trzymane wyłącznie do użytku w zakładzie akwakultury oraz regularnie oczyszczane i dezynfekowane;

(IV) zakłady akwakultury nie mogą dzielić się sprzętem, ale w przypadku, gdy jest to nieuniknione, należy przestrzegać odpowiedniego protokołu oczyszczania i dezynfekcji sprzętu;

(V) należy kontrolować osoby odwiedzające zakład akwakultury, jeżeli stwarzają ryzyko związane z chorobą; osoby te muszą:

- nosić odzież ochronną i obuwie ochronne dostępne w zakładzie akwakultury; albo
- oczyszczać i dezynfekować wszelką odzież ochronną i obuwie ochronne, które przynoszą na teren zakładu akwakultury, w chwili przybycia, a w przypadku odzieży i obuwia jednorazowego - w chwili opuszczenia zakładu;

(VI) martwe zwierzęta muszą być usuwane ze wszystkich jednostek produkcyjnych z częstotliwością zapewniającą ograniczenie do minimum presji infekcyjnej, a jednocześnie możliwą z praktycznego punktu widzenia przy stosowanej metodzie produkcji, oraz unieszkodliwiane zgodnie z art. 13 rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1069/2009 8 ;

(VII) w miarę możliwości sprzęt w zakładzie akwakultury należy oczyścić i zdezynfekować po zakończeniu każdego cyklu produkcji;

(VII) jeżeli zakłady akwakultury otrzymują zapłodnione jaja od innych zakładów, takie jaja - jeżeli jest to możliwe z biologicznego punktu widzenia - należy odpowiednio zdezynfekować w chwili ich dostarczenia, a wszystkie opakowania muszą zostać zdezynfekowane lub unieszkodliwione w sposób zgodny z zasadami bioasekuracji;

(IX) dokumentacja przewoźników dotycząca czyszczenia i dezynfekcji musi zostać skontrolowana przed załadunkiem lub rozładunkiem zwierząt wodnych w zakładzie akwakultury;

b) podmioty wyznaczają wskazaną osobę, która będzie odpowiedzialna za wdrożenie planu dotyczącego bioasekuracji zakładu akwakultury i której pozostali pracownicy będą podlegać w kwestiach bioasekuracji.

2. Wymagania dotyczące obiektów i sprzętu zakładów akwakultury, o których to wymaganiach mowa w art. 7 lit. c), są następujące:

a) muszą być dostępne odpowiedni sprzęt i obiekty do celów utrzymania odpowiednich warunków hodowli zwierząt akwakultury trzymanych w zakładzie akwakultury;

b) zakład akwakultury musi zapewniać dobre normy higieny oraz umożliwiać odpowiednie monitorowanie stanu zdrowia;

c) sprzęt i obiekty muszą być w miarę możliwości wykonane z materiałów, które można w odpowiedni sposób oczyścić i zdezynfekować;

d) należy wprowadzić odpowiednie środki zwalczania drapieżników, uwzględniając ryzyko rozprzestrzeniania się chorób, jakie stwarzają te drapieżniki, oraz ograniczenia środowiskowe w zakładzie akwakultury;

e) musi być dostępny odpowiedni sprzęt do czyszczenia i odkażania obiektów, sprzętu i środków transportu.

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/6 w sprawie weterynaryjnych produktów leczniczych i uchylające Dyrektywę 2001/82/WE (veterinary medicinal products - VMP).

Sytuacja związana z rejestracją oraz dostępnością na europejskim rynku produktów leczniczych dla zwierząt akwakultury jest znana, co w wymiarze praktycznym zmusza do stosowania w terapii gatunków zwierząt wodnych, od których lub z których pozyskuje się żywność, leków na zasadzie odstępstwa od art. 106 ust. 1 rozporządzenia VMP (kaskada), jeżeli w państwie członkowskim nie istnieje żaden dopuszczony do obrotu weterynaryjny produkt leczniczy stosowany dla danego objawu u gatunku zwierząt wodnych, od których lub z których pozyskuje się żywność.

W takim wypadku odpowiedzialny lekarz weterynarii może, na swoją własną bezpośrednią odpowiedzialność, a w szczególności w celu uniknięcia spowodowania niedopuszczalnego cierpienia, leczyć chore zwierzęta, stosując następujący produkt leczniczy:

a) weterynaryjny produkt leczniczy dopuszczony do obrotu na podstawie niniejszego rozporządzenia w odpowiednim państwie członkowskim lub w innym państwie członkowskim w celu stosowania go u tego samego lub innego gatunku zwierząt wodnych, od których lub z których pozyskuje się żywność, w przypadku tego samego lub innego objawu;

b) jeżeli nie istnieje żaden weterynaryjny produkt leczniczy, o którym mowa w lit. a) weterynaryjny produkt leczniczy dopuszczony do obrotu na podstawie niniejszego rozporządzenia w odpowiednim państwie członkowskim lub w innym państwie członkowskim w celu stosowania go u danego gatunku zwierząt lądowych, od których i z których pozyskuje się żywność, zawierający substancję obecną w wykazie substancji stosowanych w weterynaryjnych produktach leczniczych dopuszczonych do obrotu w Unii w celu stosowania u gatunków zwierząt lądowych, od których lub z których pozyskuje się żywność, lub substancji zawartych w produkcie leczniczym stosowanym u ludzi i dopuszczonym do obrotu zgodnie z dyrektywą 2001/83/WE lub rozporządzeniem (WE) nr 726/2004, które mogą być stosowane u gatunków zwierząt wodnych, od których lub z których pozyskuje się żywność;

c) jeżeli nie istnieje żaden weterynaryjny produkt leczniczy, o którym mowa w lit. a) lub b), produkt leczniczy stosowany u ludzi i dopuszczony do obrotu zgodnie z dyrektywą 2001/83/WE lub rozporządzeniem (WE) nr 726/2004 i zawierający substancje obecne w wykazie ustanowionym zgodnie z ust. 3 niniejszego artykułu; lub

d) jeżeli nie istnieje żaden produkt leczniczy, o którym mowa w lit. a), b) lub c), weterynaryjny produkt leczniczy przygotowany doraźnie zgodnie ze wskazaniami zawartymi w receptie weterynaryjnej.

Powyżej opisane zasady stosowania produktów leczniczych nazywamy **kaskadą**.

Stosując zasady kaskady, należy wziąć pod uwagę rozwiązania, które zostały zapisane w rozporządzeniu delegowanym Komisji 2024/1159 z dnia 7 lutego 2024 r. uzupełniające rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/6 poprzez ustanowienie przepisów dotyczących odpowiednich środków w celu zapewnienia skutecznego i bezpiecznego stosowania weterynaryjnych produktów leczniczych dopuszczonych do obrotu i przeznaczonych do podawania doustnego innymi drogami niż pasze lecznicze oraz podawanych przez posiadacza zwierząt zwierzętom, od których lub z których pozyskuje się żywność. Zgodnie z brzmieniem ww. rozporządzenia decyzja w sprawie doustnego stosowania weterynaryjnego produktu leczniczego obwarowana jest kilkoma warunkami wstępnymi, które musi przeanalizować lekarz weterynarii. Przy ocenie, czy zwierzętom, od których lub z których pozyskuje się żywność, należy podać doustnie weterynaryjny produkt leczniczy lekarz weterynarii bierze pod uwagę:

- 1) diagnozę;
- 2) dostępność odpowiednich weterynaryjnych produktów leczniczych;
- 3) możliwość zapewnienia indywidualnego leczenia zwierząt, jeśli tylko to możliwe, z wyjątkiem immunologicznych weterynaryjnych produktów leczniczych;
- 4) gatunek zwierząt, system produkcji i liczbę zwierząt, które mają być objęte leczeniem;
- 5) właściwości weterynaryjnego produktu leczniczego;
- 6) istotne cechy charakterystyczne paszy lub wody do pojenia;

7) obecność produktów biobójczych, dodatków paszowych lub innych substancji w paszy lub wodzie do pojenia, które mogą wpływać na wchłanianie lub skuteczność, lub bezpieczeństwo weterynaryjnego produktu leczniczego, w tym poprzez interakcję lub niezgodność weterynaryjnego produktu leczniczego z nimi, w szczególności wymogi określone w art. 4;

8) stan obiektów i urządzeń do podawania doustnego weterynaryjnych produktów leczniczych w gospodarstwie, takich jak sprzęt do mieszania i dozowania, rodzaj sprzętu do karmienia lub pojenia oraz pomieszczenia do przechowywania, jak i warunki utrzymania tych obiektów i konserwacji sprzętu;

9) kwalifikacje i umiejętności posiadacza zwierząt lub personelu w gospodarstwie, aby zapewnić właściwe przechowywanie, przygotowywanie, podawanie i utylizację weterynaryjnych produktów leczniczych przeznaczonych do podawania doustnego, w tym umiejętność obsługi niezbędnego sprzętu lub urządzeń dozujących.

Analogicznie do rozwiązań zawartych w rozporządzeniu 2024/1973 z dnia 18 lipca 2024 r. ustanawiającym wykaz środków przeciwdrobnoustrojowych, które nie mogą być stosowane zgodnie z art. 112 i 113 rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/6 lub które mogą być stosowane zgodnie z tymi artykułami jedynie pod pewnymi warunkami, w przygotowaniu na szczeblu unijnym są akty wykonawcze, które mają zostać przyjęte na podstawie art. 114 ust. 3 ustanawiające wykaz substancji stosowanych w weterynaryjnych produktach leczniczych dopuszczonych do obrotu w Unii w celu stosowania u gatunków zwierząt lądowych, od których lub z których pozyskuje się żywność, lub substancji zawartych w produkcie leczniczym stosowanym u ludzi i dopuszczonym do obrotu w Unii zgodnie z dyrektywą 2001/83/WE Parlamentu Europejskiego i Rady 2 lub rozporządzeniem (WE) nr 726/2004 Parlamentu Europejskiego i Rady 3, które mogą być stosowane u gatunków zwierząt wodnych, od których lub z których pozyskuje się żywność, zgodnie z art. 114 ust. 1 rozporządzenia (UE) 2019/6. Przyjmując te akty wykonawcze, Komisja uwzględnia następujące kryteria:

a) ryzyko dla środowiska, jeżeli gatunki zwierząt wodnych, od których lub z których pozyskuje się żywność, są leczone tymi substancjami;

b) wpływ na zdrowie zwierząt i zdrowie publiczne, jeżeli chore gatunki zwierząt wodnych, od których lub z których pozyskuje się żywność, nie mogą otrzymać środków przeciwdrobnoustrojowych wymienionych zgodnie z art. 107 ust. 6;

c) dostępność lub brak dostępności innych produktów leczniczych, metod leczenia lub środków zapobiegania chorobom lub pewnym objawom u gatunków zwierząt wodnych, od których lub z których pozyskuje się żywność, lub leczenia tych chorób lub objawów. W odniesieniu do instytucji kaskady, możliwym będzie, z wyjątkiem przypadków dotyczących immunologicznych weterynaryjnych produktów leczniczych, jeżeli nie ma dostępnych produktów leczniczych na rynku UE, aby odpowiedzialny lekarz weterynarii w drodze wyjątku, na swoją własną bezpośrednią odpowiedzialność, w szczególności w celu uniknięcia spowodowania niedopuszczalnego cierpienia, leczył gatunki zwierząt wodnych, od których lub z których pozyskuje się żywność, za pomocą weterynaryjnego produktu leczniczego dopuszczonego do obrotu **w państwie trzecim** dla tego samego gatunku i tego samego objawu. Lekarz weterynarii może podać ten produkt leczniczy osobiście.

Nadmienić również należy, iż na mocy procedowanego obecnie projektu ustawy o zdrowiu zwierząt, podmioty prowadzące zakłady akwakultury zobowiązane będą do realizacji obowiązków, o których mowa w art. 108 VMP, zgodnie z którym właściciele lub, jeśli zwierzęta nie są trzymane przez właścicieli, posiadacze zwierząt, od których lub z których pozyskuje się żywność, prowadzą dokumentację

stosowanych przez nich produktów leczniczych i w stosownych przypadkach przechowują kopie recept weterynaryjnych.

2. Dokumentacja, o której mowa w ust. 1, obejmuje następujące dane:

- a) datę pierwszego podania produktu leczniczego zwierzętom;
- b) nazwę produktu leczniczego;
- c) ilość podanego produktu leczniczego;
- d) imię i nazwisko lub firmę oraz stały adres lub siedzibę statutową dostawcy;
- e) dowód nabycia stosowanych przez nich produktów leczniczych;
- f) identyfikację zwierzęcia lub grupy zwierząt poddawanych leczeniu;
- g) w stosownych przypadkach imię i nazwisko oraz dane kontaktowe lekarza weterynarii wystawiającego receptę;
- h) okres karencji, nawet jeśli jest to okres zerowy; i) czas trwania leczenia.

Reasumując, w wymiarze praktycznym omówione zmiany, jakie niosą ze sobą transpozycje omówionych rozporządzeń AHL i VMP w sposób zasadniczy wpłyną na codzienną pracę hodowców ryb jak i obsługujących ich lekarzy weterynarii oraz interakcje między nimi.

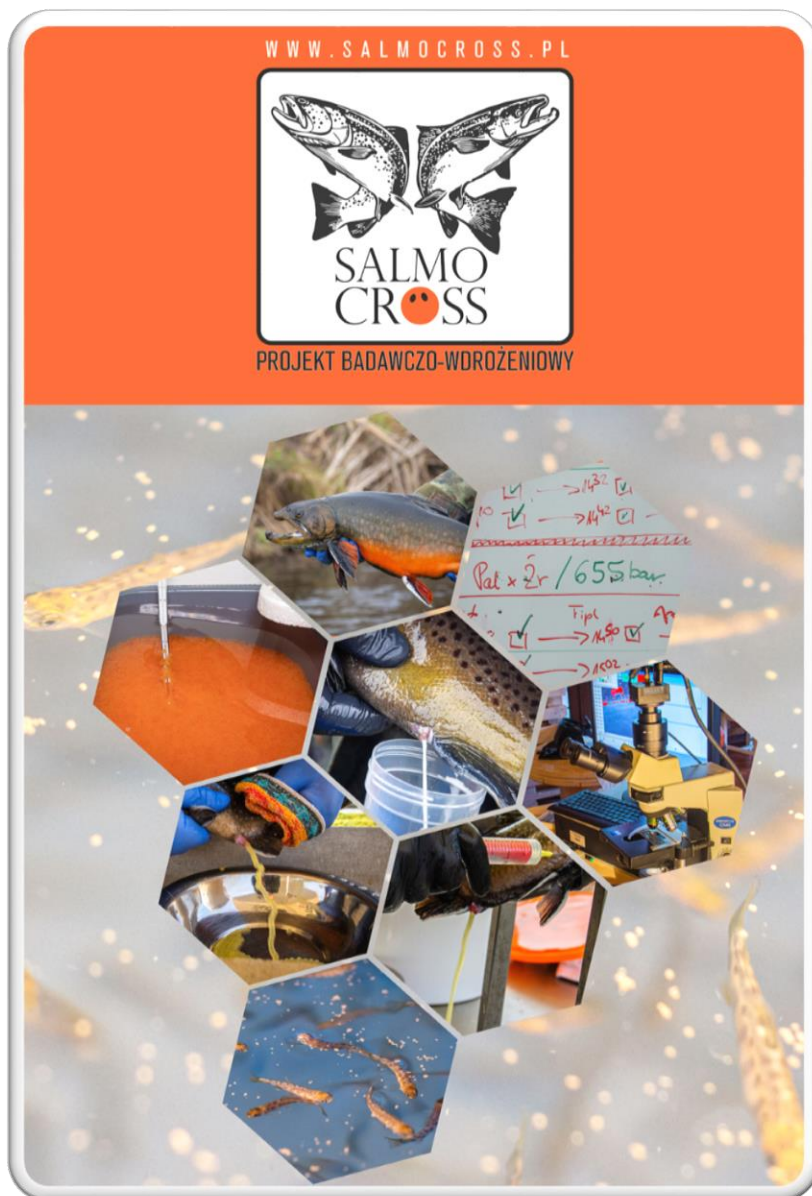
Raport końcowy z realizacji projektu



**Opracowanie i wdrożenie na obiektach akwakultury efektywnej technologii
pozyskania i chowu krzyżówek ryb łososiowatych o ulepszonych cechach
hodowlanych ze szczególnym uwzględnieniem odporności na choroby
wirusowe VHS i IHN**

Tarnowo, luty 2024 rok (aktualizacja październik 2025 r.)





Projekt realizowany przez konsorzjum projektowe:

1. Gospodarstwo Rybackie PSTRĄG TARNOWO Ziemowit Pirtań – Lider konsorzjum; (Obecnie Akwakultura Rybacka Sp. z o.o. – następca prawny)
2. Instytut Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności Polskiej Akademii Nauk w Olsztynie – nadzór - dr hab. inż. Radosław Kajetan Kowalski;
3. Wydział Geografii i Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego – nadzór – prof. dr hab. inż. Konrad Ocalenicz;
4. Gospodarstwo Rolne Hodowla Ryb Łososiowatych Grzegorz Henryk Materka;
5. Ośrodek Zarybieniowy Czarci Jar Rafał Chwałuczuk;

Okres realizacji projektu – 2017-2023

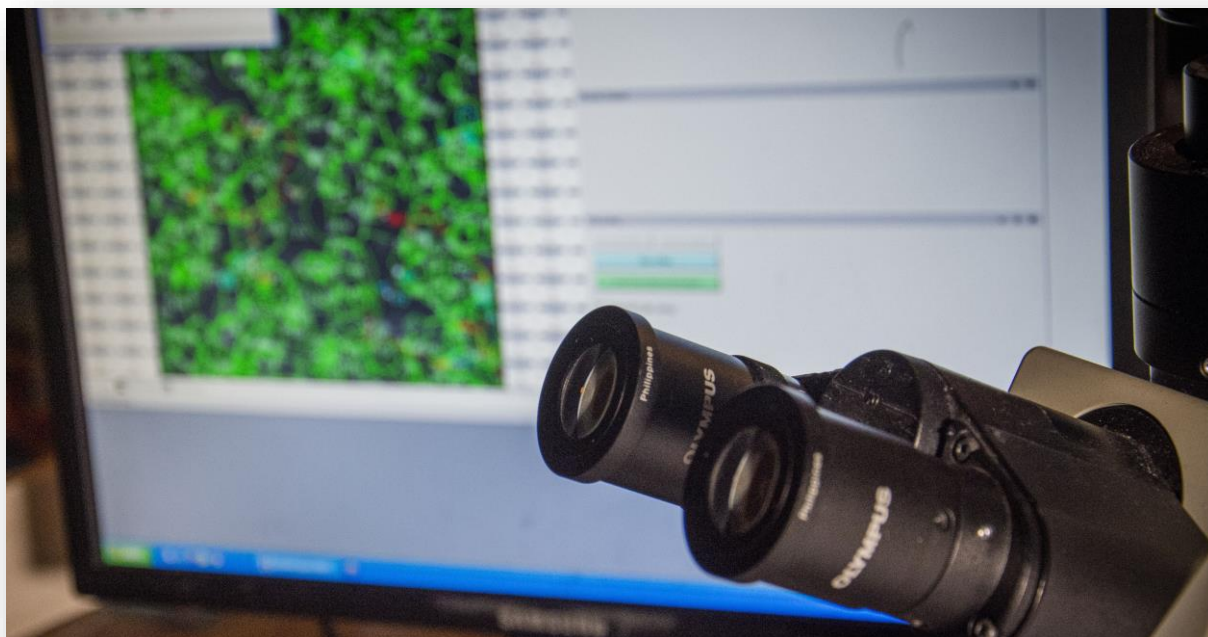
Umowa o dofinansowanie – nr 00003-6521.1-OR1500002/17 z dnia 29.11.2021 – Program Operacyjny Rybactwo i Morze na lata 2014-2020.

Priorytet 2. Wspieranie akwakultury zrównoważonej środowiskowo, zasobooszczędnej, innowacyjnej, konkurencyjnej i opartej na wiedzy - działanie 2.1 Innowacje

Spis treści

Spis treści.....	3
I. Wstęp – streszczenie projektu (opis założeń i historii projektu)	5
II. Efekty projektu – streszczenie.....	6
2.1 Opis założeń i efektów projektu.....	6
2.2 Dokumentacja fotograficzna – Pstrąg Wielkopolski	8
III. Uczestnicy projektu.....	12
IV. Tezy projektu, zdefiniowany problem badawczy, wyzwania	14
V. Przeprowadzone badania – efekty i wnioski	15
5.1. Spektrum testowanych krzyżowań i selekcja kierunku.....	15
5.2. Kriokonserwacja nasienia i koncepcja „opóźnionej kriokonserwacji”	15
5.3. Warunki triploidyzacji (bez parametrów krytycznych)	16
5.4. Kontrola ploidalności, weryfikacja molekularna i identyfikacja.	16
5.5. Fenotypy, gonady i konsekwencje produkcyjne.....	16
5.6. Wzrost, FCR i jakość mięsa.....	17
VI. Elementy technologii udoskonalone w ramach projektu	18
VII. Efekty projektu – upublicznienie wyników	19
7.1 Opracowanie technologii efektywnego gospodarczo krzyżowania międzygatunkowego ryb lososiowatych – triploidyzacja (G.R. PSTRĄG TARNOWO – W. Józwiak).....	19
7.2 Opracowanie technologii efektywnego gospodarczo krzyżowania międzygatunkowego ryb lososiowatych – optymalizacja rozrodu w skali gospodarczej (IRZiBŻ PAN Olsztyn – zespół dr hab. inż. Radosława Kajetana Kowalskiego – prof. PAN).....	23
7.3. Opracowanie technologii efektywnego gospodarczo krzyżowania międzygatunkowego ryb lososiowatych – badania jakości pozyskanej hybrydy (IRZiBŻ PAN Olsztyn – zespół dr hab. inż. Radosława Kajetana Kowalskiego – prof. PAN)	29
7.4. Weryfikacja przeżywalności, ploidalności i identyfikacja rodzicielskich genomów triploidalnych krzyżówek – badania genetyczne, selekcja (Katedra Biologii Morza i Biotechnologii - Uniwersytet Gdański – zespół prof. dr hab. inż. Konrada Ocalewicza).....	33
VIII. Publikacje – artykuł w czasopiśmie „Animal Reproduction Science”	36
IX. Inne efekty projektu (infrastruktura, dydaktyka, organizacja)	37
X. Wdrożenie.....	41
10.1. Cel i zakres wdrożenia	41
10.2. Założenia strategiczne	41
10.3. Model operacyjny i łańcuch produkcji.....	41
10.4. Harmonogram i kamienie milowe	42
10.5. Polityka ograniczenia dystrybucji materiału zarybieniowego	42
10.6. Komponent zdrowotny (bakterie) – plan działań	42
10.7. Skala i parametry operacyjne (orientacyjne, do kalibracji)	42
10.8. System jakości i traceability	43
10.9. KPI wdrożenia (progi/cele – do potwierdzenia w 2029 roku)	43
10.10. Ryzyka i działania łagodzące.....	43
10.11. Polityka rynkowa i kanały zbytu (faza przejściowa)	43
10.12. Warunki przejścia do pełnego wdrożenia po 2029 r.	43
10.13. Wnioski.....	44

XI.	Wnioski do dalszych badań B+R	45
11.1.	Jednorodność fenotypowa – selekcja w kierunku uzyskania jednorodnego fenotypowo pod względem ubarwienia (forma srebrna) potomstwa obu gatunków.	45
11.2.	Technologie szczepień autogenicznych – platforma immunoprofilaktyczna (UPP + IRZiBŻ PAN).....	46
11.3.	Dalsza optymalizacja kriokonserwacji – walidacja „opóźnionej kriokonserwacji”	47
11.4.	Analizy jakości mięsa – tekstura, barwa (Lab*), profil lotnych związków oraz wydajność rzeźna	48
11.5.	Ekonomia i ślad środowiskowy – LCA i benchmark energetyczny vs. pstrąg tęczowy	49
XII.	Podsumowanie	50



I. Wstęp – streszczenie projektu (opis założeń i historii projektu)

Kontekst. Produkcja pstrąga w Polsce i regionie doświadcza rosnącej presji zdrowotnej (VHS/IHN), klimatycznej (termika wody) i kosztowej (energia, pasze). W odpowiedzi konsorcjum SALMOCROSS (GR PSTRĄG TARNOWO – Lider; IRZiBŻ PAN; Uniwersytet Gdański; GR Nowy Żytnik; OZ Czarci Jar) w latach 2017–2024 przeprowadziło program B+R mający na celu opracowanie, walidację i wdrożenie krzyżówki funkcjonalnej pstrąga tęczowego (*O. mykiss*) i pstrąga źródłanego (*S. fontinalis*) z wykorzystaniem kriokonserwacji nasienia i triploidyzacji.

Założenia:

- Zwiększenie funkcjonalnej odporności na VHS/IHN i stabilności produkcji;
- Zachowanie tempa wzrostu i efektywności paszowej porównywalnej z pstrągiem tęczowym;
- Uzyskanie jakości mięsa atrakcyjnej dla przetwórstwa (filet >500 g, wędzenie);
- Przeniesienie do skali gospodarczej z pełną identyfikowalnością partii i kontrolą ploidalności.

Historia i kamienie milowe:

Faza I – selekcja kierunków krzyżowań i ścieżki weryfikacji triploidii;

Faza II – dopracowanie kriobankingu nasienia *S. fontinalis* (w tym opóźniona kriokonserwacja w buforach o właściwościach protekcyjnych) i ram triploidyzacji;

Faza III – walidacje terenowe (rozżerowanie → tucz), analizy jakości mięsa i fenotypów;

Faza IV – wdrożenie produkcji Pstrąga Wielkopolskiego u dwóch partnerów oraz przygotowanie publikacji naukowej w Animal Reproduction Science.



II. Efekty projektu – streszczenie.

2.1 Opis założeń i efektów projektu.

Operacja przewidywała opracowanie i wdrożenie na przynajmniej jednym obiekcie akwakultury technologii rozrodu i podchowu na skalę gospodarczą materiału obsadowego krzyżówek ryb lososiowatych o wyższej wartości użytkowej, a w szczególności większej odporności na wirusową posocznicę krwotoczną ryb lososiowatych (VHS) oraz zakaźną martwicę układu krwiotwórczego (IHN). W ramach projektu opracowano pełną technologię kontrolowanego rozrodu, triploidyzacji, rozżerowywania i tuczu hybrydy międzygatunkowych pomiędzy pstrągiem tęczowym i źródlanym, będącej jedną z pięciu testowanych krzyżówek ryb lososiowatych. Należy również wspomnieć, że z pośród testowanych krzyżówek mieszańce pstrąga potokowego ze źródlanym także cechowały się odpornością w wspomniane choroby oraz zadowalającą przeżywalnością. Jednakże, jej potencjał rynkowy jest znacznie mniejszy ze względu na gorsze właściwości jakościowe mięsa.

Krzyżówka wybrana do wdrożenia i dopracowania technologii chowu:

- hybryda pstrąga tęczowego i źródlanego – (łac. *Oncorhynchus mykiss* x *Salvelinus fontinalis*);
- nazwa handlowa ustalona wstępnie przez konsorcjantów – **Pstrąg Wielkopolski**
- efekty opracowanej technologii produkcji:
 - opracowanie technologii triploidyzacji swoistej dla krzyżówki, pozwalającej na osiągnięcie przeżywalności na poziomie 80% do ikry zaoczkowanej;
 - opracowanie technologii zapłodnienia i triploidyzacji swoistej dla krzyżówki z wykorzystaniem tarła wiosennego pstrąga tęczowego i nasienia pstrąga źródlanego poddanego kriokonserwacji w skali umożliwiającej efektywne tarło gospodarcze (skala);
 - opracowanie programu szczepienia autogenicznego w oparciu o materiał biologiczny pobierany w okresie trzech lat od obu czystych gatunków wykorzystanych w krzyżówce, przy założeniu poboru patogenów z dwóch obiektów, na których wdrożona zostanie produkcja nowej hybrydy;
 - opracowanie programu żywienia ryb – przy założeniu dostosowania dawek pasz do odrębnej odmiany (na etapie projektu wykluczono zasadność stosowania wyższych dawek pokarmowych pasz niż dedykowane dla pstrąga tęczowego);
- cechy użytkowe nowej odmiany (zidentyfikowane na tym etapie projektu):
 - odporność na choroby wirusowe VHS i IHN – potwierdzone w literaturze, a także pierwszymi crash-testami na obiekcie konsorcjanta (Nowy Żytnik);
 - tempo wzrostu pośrednie pomiędzy gatunkami bazowymi, z tendencją do szybszego wzrostu ryb 2+ z dużym potencjałem produkcji pstrąga lososiego;
 - wysoka jakość i walory smakowe produktu końcowego – plasujące go pomiędzy pstrągiem tęczowym a źródlanym przy czym:
 - pstrąg wielkopolski cechuje się wysoką zawartością białka (większą niż pstrąg tęczowy, nieco niższą od źródlanego);

- poziom cholesterolu w mięśniach jest najniższy w porównaniu do obu gatunków bazowych;
 - konsystencja mięsa i budowa ryb przypominają zdecydowanie pstrąga tęczowego, co sprzyja zastosowaniu metod przetwarzania wypracowanych przy przetwórstwie pstrąga tęczowego, sprzyja również wędzeniu ryb;
 - ryba cechuje się dobrą efektywnością wybarwiania mięsa, znacznie wyższą niż w przypadku pstrąga źródlanego – zarówno w kontekście tempa wybarwiania jak i uzyskanego koloru;
 - ryba cechuje się wyższym tempem wzrostu niż pstrąg źródlany, nieco niższym od pstrąga tęczowego – przy czym ryby przekraczające 500g nie tracą tempa wzrostu w odróżnieniu od pstrąga tęczowego, co pozwala uznać wysoki potencjał nowej odmiany dla produkcji nastawionej na ryby duże, z przeznaczeniem na filety lososiowe.
- Identyfikacja przyszłych obszarów badań nad krzyżówką:
- dalsze badania nad programem paszowym przy założeniu obniżonych dawek pokarmowych i pasz o mniejszej zawartości białka i tłuszczu, a większej zawartości fosforu – zwłaszcza dla ryb 2+;
 - analizę porównawczą wybarwiania ryb 2+ pstrąga wielkopolskiego i tęczowego;
 - badania efektywności stosowania i skuteczności szczepionek autogenicznych zadawanych rybom wraz z paszą (w oparciu o eksperymentalny adiuwant),
 - selekcja gospodarcza ryb wykorzystywanych do tarła – z wykorzystaniem innowacyjnych narzędzi molekularnych,
 - testowanie efektywności tetraploidyzacji ryb w zastosowaniu komercyjnym, zarówno w kontekście optymalizacji procesu uzyskania krzyżówek, jak i populacji samiczych,
 - próba opracowania technologii produkcji stada neosamców dla gatunków z rodzaju *Salvelinus* w skali gospodarczej,
 - próby wdrożenia do efektywnej produkcji innych gatunków ryb lososiowatych pochodzących z innych regionów świata, jak na przykład golec dalekowschodni (*Salvelinus leucomaenis*).

2.2 Dokumentacja fotograficzna – Pstrąg Wielkopolski

A**B**

Fot. II.2.1 – narybek pstruga tęczowego (A) oraz pstruga wielkopolskiego (B) w wieku 6 miesięcy i masie ciała ok 15 g/szt.

Na etapie narybku krzyżówka charakteryzuje się cechami fizycznymi bardziej zbliżonymi do pstruga tęczowego (Fot II.2.1). Jedyną wyraźną różnicą jest ubarwienie – mieszańce są nieco ciemniejsze od pstruga tęczowego, ich barwa wpada w delikatny oliwkowy odcień, a na grzbiecie widoczny jest charakterystyczny dla pstruga źródłanego marmurek. Aczkolwiek, u wspomnianej hybrydy ma on kolor czarny, ciemniejąc coraz bardziej wraz z wiekiem ryb podczas gdy u pstruga źródłanego jest on biały.

A**B**

Fot II.2.2 – pstrąg tęczowy (A) oraz pstrąg wielkopolski (B) w wieku 15 miesięcy i masie ciała ok 100 g.

Pstrąg Wielkopolski na początku drugiego roku życia (około 15 m-cy) wyraźnie odróżnia się od pstrąga tęczowego, posiadając czarny „marmurek” na części grzbietowej ciała (Fot II 2.2). Wspomniane mieszańce nie wykazują jednoznacznie zaznaczonych międzyosobniczych różnic fenotypowych. Ponadto, u ryb nie obserwuje się oznak rozwoju gonad w pierwszym roku życia.

A



B



C



Fot II.2.3 – formy fenotypowe pstrąga wielkopolskiego obserwowane u ryb w wieku 22 miesięcy i masie ciała ok. – 300g. (A) fenotyp pierwszy, (B) fenotyp drugi, (C) fenotyp trzeci (pośredni).

Pod koniec drugiego roku życia (około 22 m-ce) zaczyna być widoczny u pstrągów Wielkopolskich wyraźny podział na trzy odmienne fenotypy. Ryby posiadające pierwszy fenotyp (Fot II.2.3 A) charakteryzują się większą i dłuższą głową oraz bardziej krępyim i wygrzbieconym kształtem ciała w porównaniu do pozostałych osobników. Ich ciało jest pokryte ciemniejszą szatą barwną głównie w kolorze brązowo-żółtym z dużymi i licznie występującymi cętkami po bokach, co upodabnia je bardziej do pstrąga źródlanego. Wszystkie ryby o tym fenotypie są samcami, u których obserwuje się rozwój gonad w drugim roku życia. Jakość rzeźna tych osobników jest mniej atrakcyjna – ciało ryby ulega relatywnemu spłaszczeniu w okolicach powłok brzusznych, co prowadzi do nierównomiernej grubości filetów. Fenotyp ten wykazuje również większą oporność na wybarwienie mięsa.

Ryby o drugim fenotypie (Fot II.2.3 B) charakteryzują się mniejszą i krótszą głową oraz bardziej smukłym i wydłużonym kształtem ciała. Ryby z tym fenotypem mają srebrzysty kolor oraz są pokryte bladymi, bardzo drobnymi plamkami (z czasem mniej widoczny jest charakterystyczny marmurek, który u niektórych osobników całkowicie zanika). Ryby o tym fenotypie cechują się znacznie lepszą wydajnością

rzeźną i jakością fileta, posiadają atrakcyjniejszą anatomię, a ich mięso zdecydowanie lepiej się wybarwia¹. Natomiast, ryby noszące trzeci ze zidentyfikowanych fenotypów (Fot II.2.3 B) wykazują cechy pośrednie między pierwszym a drugim fenotypem tj., posiadają małą głowę, bardziej krępe ciało oraz są pokryte szatą kolorystyczną w tzw. “panterkę” z przebiegającym różowawym pasem wzdłuż boków ciała. Ryby te pod względem wydajności rzeźnej i jakości fileta są podobne do tych z fenotypem drugim. Wśród ryb o fenotypach drugim oraz trzecim występują zarówno samice jak i samce (w proporcji 50/50). Samice są sterylne i nie produkują jajników, natomiast u samców rozwijają się jądra w trzecim roku życia.



Fot II.2.4 – pstrąg wielkopolski w trzecim roku życia (2+) o masie ciała 800-1000g/szt. fenotyp pierwszy i drugi – jednolita partia

¹ Międzynarodowe dane na temat jakości mięsa i wydajności rzeźnej wymagają dalszych badań – obecne wnioski oparte są na podstawie obserwacji i wstępnych badań osobników z pierwszych lat badań – kiedy powstała bardzo niejednorodna grupa osobników (testy wielu wariantów badawczych). Ostateczne wnioski wymagają badań na rocznikach w pełni uzyskanych w wyniku jednorodnych metod rozrodu, możliwe będą zatem w kolejnych latach.

III. Uczestnicy projektu.

Projekt inspirowany jest przez przedsiębiorstwo akwakultury – Gospodarstwo Rybackie PSTRĄG TARNOWO Ziemowit Pirtań – Lidera Projektu, specjalizujące się w hodowli ryb łososiowatych, które borykało się z problemem strat wywołanych chorobą wirusową pstrąga tęczowego – VHS. Kluczowym partnerem naukowym projektu jest zespół dr hab. inż. Radosława Kajetana Kowalskiego – profesora PAN z Instytutu Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności Polskiej Akademii Nauk w Olsztynie, który jest liderem naukowym projektu, a także posiada wiedzę i technologie wykorzystywane w projekcie. Podmioty te współpracowały już przy wdrażaniu projektu PNEUFISH, oraz przeprowadzały na niewielką skalę eksperymenty z krzyżówkami ryb łososiowatych i ich odpornością na wirusy – co stało się podwaliną niniejszej operacji. Pozostali partnerzy stanowią uzupełnienie zasobów niezbędnych dla przeprowadzenia projektu – zarówno w postaci wiedzy i doświadczenia, jak i zasobów rzeczowych. Role i zadania poszczególnych partnerów:

1. Gospodarstwo Rybackie PSTRĄG TARNOWO Ziemowit Pirtań – Lider Projektu,

Rola – Lider Projektu, udział we wszystkich fazach projektu, zarządzanie projektem i nadzór nad rozliczeniami, opracowanie danych gospodarczych i ekonomicznych, wdrożenie opracowanej technologii do produkcji w skali gospodarczej (od 1 października 2024 przekształcony w podmiot prawa handlowego pod firmą – Akwakultura Rybakja Sp. z o.o. – następstwo prawne z pełną sukcesją);

2. Instytut Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności Polskiej Akademii Nauk w Olsztynie – Zespół dr hab. inż. Radosława Kajetana Kowalskiego – lider naukowy projektu,

Rola – udział we wszystkich badaniach terenowych związanych z założonymi pracami badawczymi, opracowanie wariantów technologicznych do testowania, testowanie, analizy ekonomiczne, wykorzystanie technologii kriokonserwacji i przechowywania żywego nasienia, wykorzystanie technologii pneumatycznego tarła, wykorzystanie technologii optymalizacji zapłodnienia ikry, dopracowanie technologii triploidyzacji zarodków, dobór badanych wariantów hybrydyzacji;

3. Zakład Biologii i Ekologii Morza (obecnie Katedra Biologii Morza i Biotechnologii) - Wydział Oceanografii i Geografii, Uniwersytetu Gdańskiego - Zespół prof. dr hab. inż. Konrada Ocalewicza – ekspert w zakresie genetyki ryb, współpracownik Zespołu IRZiŻB PAN w wielu badaniach z zakresu akwakultury,

Rola – przeprowadzenie kompleksowych badań genetycznych ryb i krzyżówek pozyskanych w projekcie – weryfikacja stopnia triploidyzacji, badania genetyczne potomstwa.

4. Gospodarstwo Rolne – Hodowla Ryb Łososiowatych Grzegorz Materka – wysokotowarowe gospodarstwo dysponujące trzema ośrodkami tuczowymi w dorzeczu Grabowej, rzeki historycznie najczęściej zakażonej chorobami wirusowymi pstrąga tęczowego

Rola – przeprowadzenie badań nad odpornością materiału zarybieniowego uzyskanego w wyniku prac w gospodarstwie Lidera i w Czarcim Jarze, w celu weryfikacji odporności ryb na choroby wirusowe (crash-test), a także w celu pozyskania materiału biologicznego na potrzeby opracowania autoszczepionek o szerokim spektrum działania.

5. Ośrodek Zarybieniowy Czarczy Jar – Rafał Chwaluczyk – wylęgarnia ryb i ośrodek zarybieniowy posiadający duże doświadczenie w rozrodzie ryb łososiowatych – współpracownik zarówno Lidera Projektu jak i IRZiŻB PAN.

Rola – przeprowadzenie, inkubacji i rozżerowania ryb z wszystkich grup badawczych założonych w projekcie, w celu weryfikacji wyników uzyskanych w gospodarstwie Lidera Projektu, a także w celu

zabezpieczenia (zdublowania) partii ryb i materiału badawczego na wypadek ich utraty w gospodarstwie głównym w wyniku awarii lub innych nieoczekiwanych zdarzeń losowych.

Kluczowi partnerzy zewnętrzni:

- W trakcie realizacji projektu podjęto dodatkowo współpracę z Katedrą Nauk Przedklinicznych i Chorób Zakaźnych Wydziału Medycyny Weterynaryjnej i Nauk o Zwierzętach Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, która włączyła się w prace badawcze – zwłaszcza w zakresie badań podatności wybranej krzyżówki na choroby bakteryjne. Wynikiem współpracy jest uzyskanie przez Katedrę finansowania na badania pt. „Immunoprofilaktyka jako alternatywa dla antybiotykoterapii w hodowli pstrąga wielkopolskiego” z funduszy MNiSW w ramach programu Nauka dla Społeczeństwa II oraz wola prowadzenia dalszych badań, skupiających się na opracowaniu metod immunoprofilaktyki swoistej na choroby bakteryjne, co byłoby dużym ulepszeniem cech nowej odmiany, uzupełniając odporność na choroby wirusowe VHS i IHN.



IV. Tezy projektu, zdefiniowany problem badawczy, wyzwania

Teza 1. Krzyżówka *O. mykiss* × *S. fontinalis* triploidalna może łączyć korzyści użytkowe (wzrost, filetowanie, barwa mięśni) z odpornością funkcjonalną na czynniki epizootyczne charakterystyczne dla obiektów o historii VHS/IHN.

Teza 2. Zastosowanie kriokonserwacji nasienia (w tym wariantów opóźnionych) pozwala na synchronizację tarła gatunków o różnej sezonowości oraz na zapewnienie powtarzalności krzyżowania i skali operacyjnej.

Problem badawczy. Opracować warunki poliploidyzacji (bez ujawniania parametrów krytycznych) dla stabilnej produkcji triploidalnej hybrydy w warunkach gospodarczych, przy jednoczesnym uzyskaniu jednorodności fenotypowej partii handlowych oraz pożądanych cech jakości mięsa.

Wyzwania. (i) duże zróżnicowanie literaturowych parametrów triploidyzacji nawet w obrębie jednego gatunku; (ii) sezonowość tarła i długi czas inkubacji (opóźniona informacja zwrotna o skuteczności wariantów); (iii) zapewnienie jakości gamet i standaryzacji banku nasienia; (iv) kontrola ploidalności i płci genetycznej; (v) dwuwariantowość fenotypowa potomstwa w 2. roku życia (forma wysrebrzona vs. ciemna) – implikacje rynkowe.



V. Przeprowadzone badania – efekty i wnioski

5.1. Spektrum testowanych krzyżowań i selekcja kierunku

Przetestowano wiele kombinacji międzygatunkowych z udziałem *O. mykiss*, *S. fontinalis*, *Salmo trutta*, *Hucho hucho*, *Thymallus thymallus* (zapłodnienia heterologiczne w obu kierunkach). W większości wariantów odsetek wylęgu był niesatysfakcjonujący; istotną poprawę uzyskano, gdy ikra *O. mykiss* była zapładniana nasieniem *S. fontinalis* (oraz w niektórych wariantach z *Salmo salar*), jednak dopiero triploidyzacja znacząco podniosła przeżywalność mieszańców *O. mykiss* × *S. fontinalis*. Na tej podstawie do dalszych prac wybrano hybrydę *O. mykiss* (♀) × *S. fontinalis* (♂), triploid.



Fot 5.1. – pobieranie nasienia pstrąga źródlanego

5.2. Kriokonserwacja nasienia i koncepcja „opóźnionej kriokonserwacji”

Wprowadzono dwustopniowy system rozcieńczania i buforowania nasienia *S. fontinalis* (roboczo: „cryo-later”) o właściwościach protekcyjnych, pozwalający wydłużyć czas od pobrania do kriokonserwacji oraz stabilizować ruchliwość (MOT) plemników. W badaniach odnotowano niewielki spadek MOT w przechowywaniu płynnym (np. 92% → 88% w ciągu kilku dni), przy czym po rozmrożeniu najwyższą ruchliwość uzyskano dla próbek buforowanych w „cryo-later”. W 1., 4. i 8. dobie od pobrania rejestrowano odpowiednio ~76%, ~67% i ~59% ruchliwych plemników po rozmrożeniu (wartości poglądowe; szczegółowe dane – w wewnętrznych kartach prób). Wyniki te umożliwiły produkcyjne wykorzystanie nasienia nawet po kilkudniowym okresie od pobrania, co zwiększyło elastyczność logistyczną i skalę krzyżowań.



Fot 5.2. – pobieranie oocytów pstrąga tęczowego – metoda pneumatyczna

5.3. Warunki triploidyzacji (bez parametrów krytycznych)

Opracowano macierze eksperymentalne dla trzech zmiennych: moment rozpoczęcia impulsu (wyrażony w stopniominutach), czas trwania oraz poziom ciśnienia. W pierwszych sezonach zastosowano szerokie widełki, a następnie je zawężano, zachowując replikacje sezon-po-sezonie. Dla transparentności ujawnia się jedynie zakresy badane (np. rzędu 320–400 stopniominut, 3–5 min, ~9 500–11 000 psi), bez wskazania zestawu docelowego. Jednorazowo poddawano obróbce ok. 3 l ikry, przy pełnej identyfikowalności prób.



Fot 5.3. – pierwszy prototyp urządzenia do triploidyzacji ikry

5.4. Kontrola ploidalności, weryfikacja molekularna i identyfikacja.

Wykorzystano dwa komplementarne podejścia: (i) cytogenetyka (płytki metafazowe, liczba chromosomów) – oczekiwany zakres dla triploidów ~100–106 chromosomów ($2 \times O. mykiss + 1 \times S. fontinalis$); (ii) cytometria przepływowa (zawartość DNA w jądrach) – procedura szybsza i tańsza do rutynowej diagnostyki. Dodatkowo potwierdzano udział genomów obu gatunków u uzyskanych ryb (PCR, markery specyficzne) oraz ich płęć genetyczną (startery Y-specyficzne).



Fot 5.4. – pobieranie nasienia pstruga potokowego

5.5. Fenotypy, gonady i konsekwencje produkcyjne

W drugim roku życia wśród triploidalnych hybryd ujawniają się dwie podstawowe formy ubarwienia:

- Fenotyp A (ciemny) – większe wygrzbiecenie, większa głowa; u większości osobników stwierdzano jądra (samce);
- Fenotyp B (wysrebrzony) – smuklejszy kształt, mniejsza głowa; gonady w postaci mocno zredukowanych jajników, a w analizach molekularnych obecne zarówno genetyczne samice, jak i samce.

W trzecim roku ryby charakteryzujące się fenotypem A niemal powszechnie miały jądra; w przypadku osobników o fenotypie B obserwowano zarówno samice z jajnikopodobnymi gonadami oraz osobniki posiadające jednocześnie jądra i zredukowane jajniki. Histologia potwierdziła w jądrach komórki rozrodcze samcze, a u fenotypu B – owogonia/oocyty w stanie niedojrzałym; nie stwierdzono produkcji pełnowartościowych gamet żeńskich, co potwierdza funkcjonalną bezpłodność triploidów. Wniosek produkcyjny: ukierunkowanie produkcji triploidów w kierunku samic o fenotypie B (wysrebrzona ryba, podobna do lososia) zwiększa jednorodność towaru i atrakcyjność rynkową.



Fot 5.5. – samiec palii (gólec zrywczajny – łac. *Salvelinus Alpinus*)

5.6. Wzrost, FCR i jakość mięsa

Wzrost/FCR. W warunkach porównawczych dynamika wzrostu i FCR hybrydy była zbliżona do pstrąga tęczowego; udział osobników >500 g spełnia wymogi przetwórstwa (filetowanie, wędzenie).

Skład mięsa (przykłady zestawień projektowych).

Białko (filet): tęczowy ~64,8%, P. Wielkopolski ~69,4%, źródłany ~72,7%.

Cholesterol (filet, mg/100 g): tęczowy ~80, P. Wielkopolski ~68, źródłany ~101.

Profil kwasów tłuszczowych (EPA, DHA w wątrobie i mięśniach) – wartości w zakresie typowym dla lososiowatych; udział EPA/DHA potwierdza korzyści żywieniowe produktu.

Wnioski: krzyżówka zapewnia atrakcyjny profil odżywczy (wyższe białko vs. tęczak; niski cholesterol w filecie; obecność n-3), co sprzyja pozycjonowaniu w segmencie „zdrowa żywność”.

VI. Elementy technologii udoskonalone w ramach projektu

Informacja o udoskonalonej technologii w ramach wiedzy zastrzeżonej – danie nie podlegające upublicznieniu ze względu na ochronę praw wyłącznych – opracowanych w projekcie oraz udoskonalonych w projekcie, a do których prawa posiadali członkowie konsorcjum:

- **Kriobank nasienia *S. fontinalis*** – standaryzacja poboru, oceny, dwustopniowego rozcieńczania, „opóźnionej kriokonserwacji” oraz testów CASA (Computer-Assisted Sperm Analysis) przed i po rozmrożeniu;
- **Triploidyzacja** – macierze eksperymentalne trzech zmiennych (czas w stopniominutach, czas trwania impulsu, poziom ciśnienia), replikowane sezonowo; zachowane wnioski operacyjne dot. okna czasowego i stabilności wyników;
- **Ścieżka weryfikacji hybryd 3n** – rutynowe połączenie cytometrii przepływowej (screening) z kontrolą cytogenetyczną (walidacja), uzupełnione genotypowaniem z wykorzystaniem gatunkowo specyficznych markerów molekularnych i testem na genetyczną płeć;
- **Logistyka rozrodu i chowu** – pełna identyfikowalność partii (traceability), organizacja rozżerowania i tucz w warunkach gospodarstwa, zasady bioasekuracji i profilaktyki (w tym autovacc);
- **Zbieranie danych** – arkusze i rejestry prób (tarła, warianty, przeżywalność, wyniki 3n, wzrost, FCR, parametry jakości mięsa) – baza do dalszych analiz statystycznych i publikacji;



Fot 5.6. – badanie ruchliwości plemników metodą CASA

VII. Efekty projektu – upublicznienie wyników

7.1 Opracowanie technologii efektywnego gospodarczo krzyżowania międzygatunkowego ryb łososiowatych – triploidyzacja (G.R. PSTRAĞ TARNOWO – W. Jóźwiak)

Opracowanie efektywnej gospodarczo technologii rozrodu i triploidyzacji hybryd ryb łososiowatych zakładało opracowanie najbardziej efektywnej technologii rozrodu i triploidyzacji – z kluczowym znaczeniem znalezienia optymalnych parametrów triploidyzacji. Polegało to na dopasowaniu zmiennych parametrów procesu triploidyzacji w taki sposób, aby wyniki zapłodnienia były jak najwyższe i powtarzalne. Poprzez wysoki wynik zapłodnienia rozumiemy wysoki stosunek otrzymanej ikry zaoczkowanej w stosunku do zapłodnionej. W kolejnym etapie badano ilość i jakość wylęgu.

Analizując dostępną literaturę² stwierdzono znaczące różnice w obrębie jednego gatunku w różnych opracowaniach. Drugim wyzwaniem były braki w niektórych opracowaniach np. odnośnie temperatury tarła czy też podany czas bez uwzględnienia tzw. stopniominut (relacji temperatury i czasu). Dostępna literatura naukowa określa w sposób ogólny parametry triploidyzacji poszczególnych gatunków ryb łososiowatych, nie uwzględniając ewentualnych różnic u ryb krzyżowanych w ramach dwóch gatunków. Badania zakładały uzyskanie hybrydy międzygatunkowej w związku z tym konieczne było zbadanie optymalnych warunków triploidyzacji dla każdej hybrydy. Poszczególne parametry triploidyzacji dla pstrąga tęczowego i źródłanego różnią się między sobą w znaczny sposób. Mając na uwadze powyższe zaczęto próby gospodarczego tarła w oparciu o dostępną wiedzę. Wyniki doświadczeń prowadzonych w oparciu o dostępną literaturę dawały niezadowalające efekty. Wyniki charakteryzowały się również brakiem powtarzalności w poszczególnych wariantach. W związku z tym zdecydowano się na przeprowadzenia po raz pierwszy kompleksowych badań związanych z ustaleniem prawidłowych parametrów triploidyzacji dla nowej hybrydy.

W ramach projektu przeprowadzono rozległe badania, mające na celu wyłonienie najlepiej rokującej hybrydy. W wyniku eksperymentów wytypowano hybrydę pstrąga tęczowego (samica) z pstrągiem źródłanym (samiec).

Proces triploidyzacji ikry polega na poddaniu, zapłodnionej ikry szokowi ciśnieniowemu w określonym czasie od zapłodnienia. Poprzez szok ciśnieniowy rozumiemy narażenie ikry na działanie wysokiego

² Benfey, T. J. — "Use of sterile triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) for aquaculture." *ICES Journal of Marine Science* 58(2):525–529; Benfey, T. J. — "Triploidy induced by heat shock and hydrostatic pressure in landlocked Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)." *Aquaculture* 36(3):359–367; Chourrou, D. — "Pressure-induced retention of second polar body and triploidy in rainbow trout." *Aquaculture* 36(1-2):111–126; Thorgaard, G. H. — "Adult triploids in a rainbow trout family." *Heredity* 43:247–256; Cotter, D., et al. — "An evaluation of the use of triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in minimising the impact of escaped farmed salmon on wild populations." *Aquaculture* 186(1-2):61–75; Benfey, T. J. — "Effectiveness of triploidy as a management tool for reproductive containment of farmed fish: Atlantic salmon as a case study." *Reviews in Aquaculture* 8(4):413–430; Gillet, C., et al. — "Triploidy induced by pressure shock in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*): 100% triploids with excellent survival." *Aquatic Living Resources* 14(5):431–437; Happe, A., et al. — "Early life history of triploid rainbow trout (*Salmo gairdneri*)." *Aquaculture* 72(3-4):207–221; Burke, H. A., et al. — "The effect of triploidy on juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*): growth and bone development at varying dietary phosphorus." *Aquaculture* 308(1-2):34–40; Chalmers, L., et al. — "Response of triploid Atlantic salmon (*Salmo salar*) to vaccination and cobabitation challenge." *Fish & Shellfish Immunology* 98:220–229; Fraser, T. W. K., et al. — "Triploid Atlantic salmon and salmon × trout hybrids: growth performance from juveniles to post-smolts." *Aquaculture* 543:737023; Solar, I. I., et al. — "Induction of triploidy in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) using heat shock: flow cytometry verification." *Aquaculture* 42(1):57–67; Pijferer, F., et al. — "Polyploid fish and shellfish: production, biology and applications to aquaculture and fisheries." *Aquaculture* 293(3-4):125–156. (przegląd); McGeachy, S. A., et al. — "Freshwater performance of triploid Atlantic salmon (*Salmo salar*)." *Aquaculture* 137(1-4):333–341; Madaro, A., et al. — "A comparison of triploid and diploid Atlantic salmon (*Salmo salar*): performance and welfare at sea." *Journal of Applied Aquaculture* 34(4):365–384; Benhaïm, D., et al. — "The effect of triploidy on the performance, gut microbiome and metabolism of Atlantic salmon (*Salmo salar*) at early stages." *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 530–531:151435; Delaval, A., et al. — "The effects of sub-optimal hydrostatic pressure treatments used to induce triploidy in Atlantic salmon." *Aquaculture* (2025); Howard, C., et al. — "Comparison of diploid and triploid Atlantic salmon (*Salmo salar*) during early development: hatch timing, growth and deformities." *Animals* 13(9):1504; Káldy, J., et al. — "Effects of hydrostatic pressure treatment of newly fertilized salmon eggs: chromosomal outcomes relevant to triploidy." *Aquaculture Reports* 20:100670; Cimágil, R., et al. — "Comparison of growth performance and smoltification of diploid vs triploid Atlantic salmon and triploid salmon × brown trout hybrids." *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 24(6):... (2024/2025). Stefan Dobosz (Instytut Rybactwa Śródlądowego – Zakład Ryb Łososiowatych, Rutki); Paweł Hliwa (UG) Application of high hydrostatic pressure (HHP) shock to induce triploidy in European grayling (*Thymallus thymallus*). *Physica A* (2022) – praca o warunkach HHP i ocenie gonad u triploidów; Telomere Dynamics in the Diploid and Triploid Rainbow Trout. *Genes*, 11(7):786 (2020). (współaut.: K. Ocalenić, S. Dobosz); Zespół UG/IRŚ (manipulacje chromosomowe u pstrąga źródłanego – odniesienia do triploidów) Production of triploid, doubled haploid (DH1) and meiogonogenic brook trout (*Salvelinus fontinalis*) – efficiency and development of body deformities. *Annals of Animal Science* (2020).

ciśnienia przez określony czas. Przeprowadzone badania miały na celu określenie optymalnych warunków triploidyzacji z uwzględnieniem 3 zmiennych parametrów:

- Czas rozpoczęcia szoku ciśnieniowego. Czas liczony od momentu zapłodnienia. Określany w jednostce „stopniominuty” - czas ściśle powiązany z temperaturą (co wpływa na tempo rozwoju zarodka);
- Czas trwania szoku. Określony w jednostce minuty;
- Wielkość ciśnienia któremu poddawana jest ikra. Ciśnienie określone w jednostce PSI;

Wszystkie badania prowadzone były podczas naturalnego tarła ryb lososiowatych - wiosną oraz jesienią. Tarło wiosenne oraz jesienne pstrąga tęczowego jest naturalne, natomiast w przypadku pstrąga źródlanego tarło naturalne występuje tylko w okresie jesiennym. W ramach projektu po raz pierwszy prowadzono prace związane z zapładnianiem ikry wiosennej pstrąga tęczowego mrożonym nasieniem pstrąga źródlanego w ilościach ziaren ikry, które można uznać za skalę gospodarczą. Metoda gospodarczego mrożenia nasienia wdrażana w ramach projektu opracowana została przez zespół IRZiBŻ PAN Olsztyn. Wszystkie zapłodnienia robione były na skalę gospodarczą, oznacza to iż każdy badany wariant zapładniany był w ilości ok 10 tys sztuk (pełna obsada aparatu inkubacyjnego).

Podczas wszystkich tarł do przeprowadzenia procesu triploidyzacji wykorzystywano specjalistyczne urządzenie do triploidyzacji. Jednorazowo poddawano triploidyzacji od 2,5 do 5 litrów ikry. Podczas poszczególnych tarł wykonywano szereg prób podczas, których testowano wiele wariantów, dotyczących testowanych parametrów.

Ikra po pobraniu trafiała do wylęgarni w której następowało zapłodnienie i proces triploidyzacji, następnie ikra trafiała do aparatów wylęgowych. Ikra wyłożona na aparaty wylęgowe, leżakowała do momentu zaoczkowania. Do czasu zaoczkowania ikra jest niezwykle wrażliwa na wszelkie manipulacje. Po zaoczkowaniu ikra jest przebiegana. Oddzielane są żywe ziarna od martwych.

Rozwój zapłodnionej ikry ryb lososiowatych jest długotrwałym procesem i ściśle związany jest z temperaturą. Po zapłodnieniu przy temperaturze 10°C ikra od zapłodnienia do zaoczkowania rozwija się przez ok 38 dni. W związku z długim okresem rozwoju ikry wyniki poszczególnych tarł były dostępne dopiero po około 38-40 dniach od wykonanego eksperymentu.

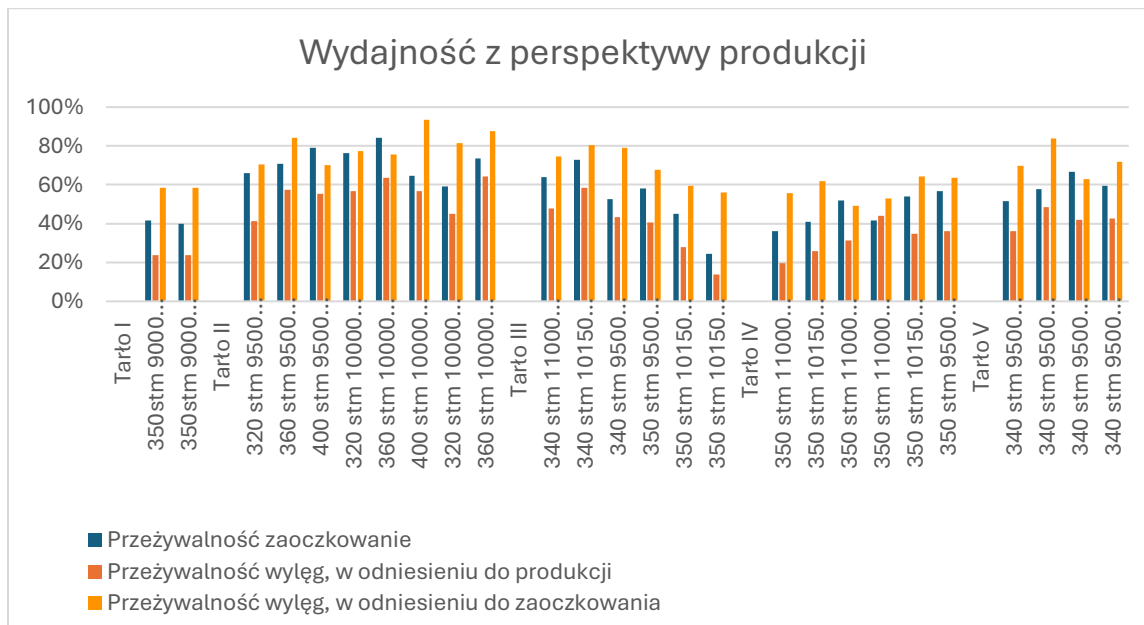
W ramach badań zdecydowano się podejść do tematu kompleksowo i przebadać wszystkie parametry od najniższych do najwyższych wykazanych w literaturze, dodając dodatkowo parametry brzegowe odbiegające od tych podawanych w literaturze o +/- 20%. Podczas prowadzonych badań rozpoczęto od szerokich widełek poszczególnych parametrów. Mając wstępne wyniki, zawężano poszczególne parametry triploidyzacji stosując w kolejnych tarłach coraz mniejsze widełki. Każdy wariant był powtarzany w następnym tarle, aby wykluczyć błąd lub przypadek. Łącznie przebadano ok 60 różnych wariantów triploidyzacji (różne kombinacje trzech parametrów zmiennych), badając ich wpływ na przeżywalność do zaoczkowania oraz korelację z kondycją narybku.

Zakres badanych wartości dla poszczególnych parametrów:

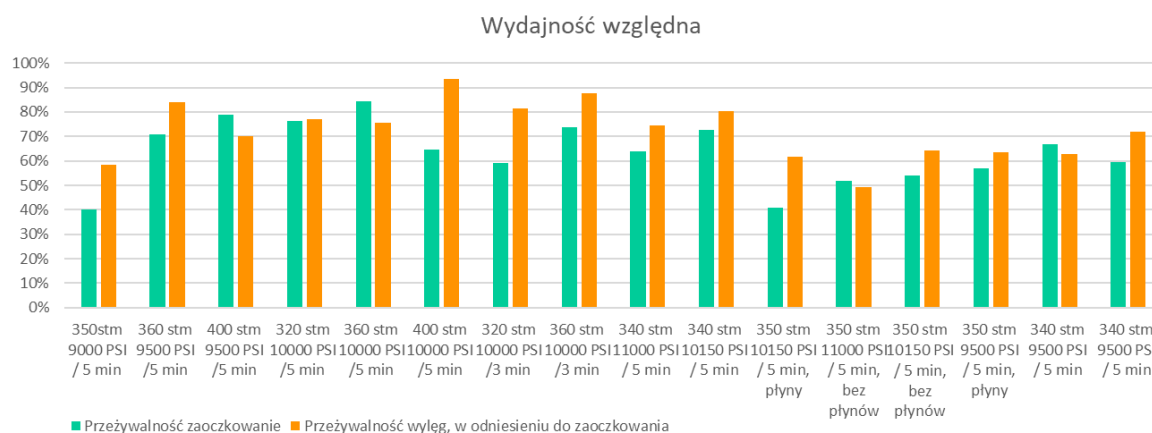
- Czas rozpoczęcia szoku ciśnieniowego od 320 stopniominut do 400 stopniominut;
- Czas trwania szoku od 3 do 5 minut trwania szoku;
- Wielkość ciśnienia któremu poddawana jest ikra od 9000 psi do 11000psi

Dodatkowo w trakcie trwania eksperymentu, do zapłodnienia poszczególnych prób wykorzystywano płyny i bufory, do przechowywania nasienia, opracowane przez zespół IRZiBŻ PAN Olsztyn.

Poszczególne parametry triploidyzacji są współzależne. Biorąc pod uwagę trzy zmienne oraz szeroki wachlarz zastosowanych wielkości w każdej zmiennej przebadano ok 60 wariantów, w kolejnych sezonach tarlowych zawężając warianty do tych najbardziej efektywnych, w których zawężano interwały zmiennych.



Rys 7.1.1 Wykres wydajności poszczególnych wariantów w poszczególnych tartach z całego sezonu tarlowego – przeżywalność zaoczkowanie – oznacza procent zaoczkowania ikry w stosunku do ikry zapłodnionej, przeżywalność wylęgu w odniesieniu do produkcji – oznacza przeżywalność ryb w sztukach od zaoczkowania do momentu osiągnięcia wagi od 3-5g (przeniesienie narybku z wylęgarni na obiekt rzeczny), przeżywalność w odniesieniu do zaoczkowania – to procent wylęgu w stosunku do ilości ikry zaoczkowanej.



Rys 7.1.2 Wykres dobrze rokujących wariantów wytypowanych z całego sezonu tarlowego – wydajność względna odnosi się do przeżywalności larw w porównaniu do ikry zaoczkowanej (bezwzględna odnosilaby się do zapłodnionej)

Podczas całego sezonu wylęgarniczego prowadzone były prace polegające na gromadzeniu danych oraz archiwizacji wyników. Poszczególne warianty z poszczególnych tartel od momentu zapłodnienia do wywiezienia z wylęgarni były prowadzone/utrzymywane osobno w celu szczegółowego określenia stopnia przeżywalności poszczególnych wariantów. W związku z powyższym oraz z ilością zapładnianej ikry koniecznym było wykorzystanie całej wylęgarni wraz z wszystkimi basenami i aparatami lęgowymi na cele projektowe.

W trakcie okresu inkubacji ikry oraz podchowu narybku, pobierane były próby do badań genetycznych. Badania genetyczne wykonywane były przez zespół Uniwersytetu Gdańskiego. Określenie profilu genetycznego ryb na wczesnym etapie (ikra) było niezwykle ważne z punktu widzenia określenia stopnia triploidyzacji. Wytypowanie dobrze rokujących wariantów, musiało być skorelowane z badaniami genetycznymi w celu potwierdzenia stopnia triploidyzacji osobników z poszczególnych wariantów.

T x Żr TRIPLO			
B3 b1 do 4	30,0 l		
↓			
B3 b1-5	20,0 l		
plus			
B2 b5	4,0 l		
Plus			
B5 b5	3,3 l		
	27,3	91,0 %	
↓			
B8 b1 do 5	12,5		
plus			
B5 b 4+5	5,0		
plus			
B3 b1 +2	4,2		
plus	21,7	72,3 %	
A1 b3+4+5			
↓			
koryto 8+9+10			
↓			
beton 2	13kg	0,24g/szt	52,5 tyś
plus			
beton 3	13kg		52,5 tyś
plus			
beton 4	12,5kg		50,5 tyś
	38,5		155,5 tyś
↓			

T x Żr TRIPLO			
B6 b3 + 4	9,2 l		
↓			
sort1		92,0 tyś	
↓			
B1 b4+5	4,0 l		
plus			
B6 b4+5	3,4 l		
	7,4	80,4 %	
↓			
B1 b4+5	3,8		
plus			
B6 b4+5	3,2		
	7,0	76,1 %	
		70,0 tyś szt	
↓			
Koryto 3			
↓			
Beton 1			
	10,2 kg		
	0,23 g/szxt		
	44,3 tyś szt	63,4 od ostatniego prz	
		48,2 od zaoczkowanej	
↓			
Wywieziono staw 4			
	kg		
bet 1	48 kg	1g/szt	48 tyś szt

Rys 7.1.3 i 7.1.4 Przykładowe wycinki z arkusza kalkulacyjnego - gromadzenie danych.

7.2 Opracowanie technologii efektywnego gospodarczo krzyżowania międzygatunkowego ryb lososiowatych – optymalizacja rozrodu w skali gospodarczej (IRZiBŻ PAN Olsztyn – zespół dr hab. inż. Radosława Kajetana Kowalskiego – prof. PAN)

W projekcie wykorzystano osiągnięcia naukowe związane z długookresowym przechowywaniem oraz kriokonserwacją nasienia ryb opracowane w IRZBZ PAN w Olsztynie.

Współczesna hodowla ryb, zwłaszcza ryb lososiowatych, coraz częściej korzysta z zaawansowanych technik reprodukcyjnych, w tym z kriokonserwacji nasienia. Kriokonserwacja, czyli proces zamrażania i przechowywania nasienia w bardzo niskich temperaturach, ma zastosowanie nie tylko w ochronie i restytucji zagrożonych gatunków, ale także w produkcji komercyjnej ryb. Jednym z obszarów, w którym kriokonserwacja nasienia znajduje szerokie zastosowanie, jest krzyżowanie ryb lososiowatych w celu uzyskania potomstwa o pożądanym cechach genetycznych.

Krzyżowanie ryb lososiowatych, takich jak losoś czy pstrąg, może być kluczowym elementem hodowli, zarówno w celach komercyjnych, jak i ochrony bioróżnorodności. Poprzez odpowiednie dobieranie rodziców można uzyskać potomstwo o pożądanym cechach, takich jak szybszy wzrost, lepsza odporność na choroby czy dostosowanie do konkretnych warunków środowiskowych.

Zastosowanie kriokonserwacji nasienia w procesie krzyżowania pstrąga źródłanego z pstrągiem tęczowym ma wiele korzyści. Po pierwsze, umożliwia ono przechowywanie nasienia długo poza sezonem tarła, co pozwala na elastyczne planowanie hodowli i zwiększa wydajność produkcji. Umożliwia to także wykorzystanie wiosennego tarła pstrąga tęczowego do tworzenia krzyżówki, z rozradzającym się jesienią pstrągiem źródłanym. Ponadto, kriokonserwacja umożliwia transport nasienia na duże odległości, co jest szczególnie istotne w przypadku hodowli ryb na obszarach, gdzie naturalne zasoby genetyczne są ograniczone lub zagrożone.

Ważnym aspektem zastosowania kriokonserwacji nasienia w krzyżowaniu ryb lososiowatych jest także minimalizacja ryzyka utraty genetycznej. Dzięki przechowywaniu nasienia w formie zamrożonej możliwe jest zachowanie różnorodności genetycznej populacji ryb, co może mieć istotne znaczenie dla ochrony bioróżnorodności i zapobiegania zjawisku inbrodu.

Ponadto, kriokonserwacja nasienia umożliwia także prowadzenie programów selekcyjnych, w których wybierane są osobniki o najlepszych cechach genetycznych do dalszego rozrodu. Dzięki temu można systematycznie poprawiać cechy hodowlane populacji ryb, takie jak tempo wzrostu, odporność czy jakość mięsa.

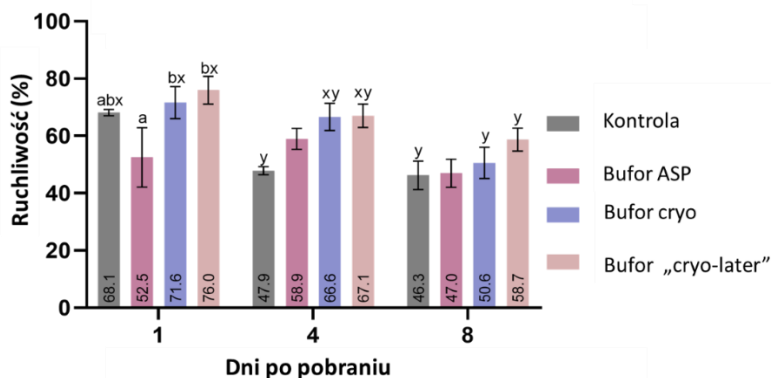
Jednakże, pomimo licznych korzyści, zastosowanie kriokonserwacji nasienia w krzyżowaniu ryb lososiowatych wiąże się także z pewnymi wyzwaniami. Jednym z głównych problemów jest skuteczność procesu kriokonserwacji, która może być różna w zależności od gatunku i indywidualnych cech nasienia. Konieczne jest ciągle doskonalenie technik kriokonserwacji oraz selekcja osobników o najwyższej jakości nasienia.

Wnioski z badań nad kriokonserwacją nasienia ryb lososiowatych mają zastosowanie nie tylko w hodowli komercyjnej, ale także w ochronie i restytucji naturalnych populacji tych ryb. Dzięki możliwości przechowywania nasienia w formie zamrożonej można skutecznie przeciwdziałać spadkowi liczebności i utracie różnorodności genetycznej tych cennych gatunków. W ten sposób kriokonserwacja nasienia staje się nieodłącznym elementem nowoczesnej hodowli ryb lososiowatych, przyczyniając się zarówno do

zrównoważonego wykorzystania zasobów naturalnych, jak i ochrony dziedzictwa genetycznego przyszłych pokoleń.

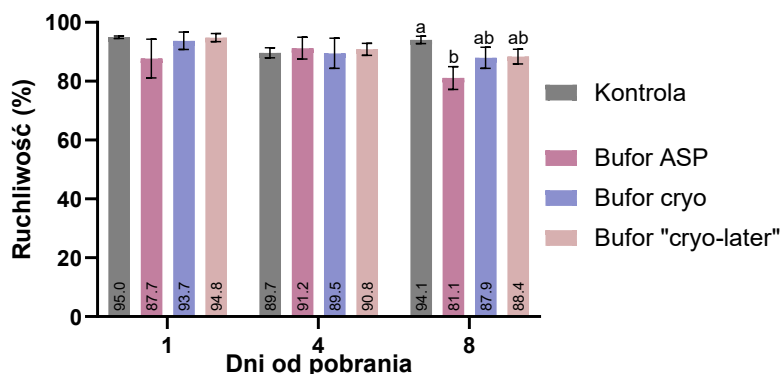
Od pobrania nasienia do jego kriokonserwacji często mija kilka godzin. Jak wykazaliśmy we wcześniejszej pracy, nasienie ryb przechowywane w stanie nierozrzedzonym szybko traci swoje właściwości motoryczne. **W czasie realizacji projektu najistotniejszym elementem wpływającym na możliwości uzyskania dobrych wyników zapłodnienia i triploidyzacji było uzyskanie jak najwyższej jakości nasienia pstrąga źródłanego i jego skuteczna kriokonserwacja.** W tym celu opracowaliśmy **innowacyjną technologię przechowywania i mrożenia nasienia pstrąga źródłanego.** Metoda ta polega na jak najszybszym rozrzedzeniu nasienia w specyficznym rozcieńczalniku, w którym plemniki zachowują swoją jakość. W rozrzedzalniku nazwanym roboczo „cryo-later”, można przechowywać nasienie pstrąga źródłanego do 8 dni od pobrania i nadal, poddawać go skutecznej kriokonserwacji w zmodyfikowanej, dwustopniowej procedurze.

W realizowanym w konsorcjum projekcie badawczym, po raz pierwszy na skalę produkcyjną zastosowaliśmy metodę opóźnionej kriokonserwacji nasienia przy wykorzystaniu opracowanych w zakładzie buforów nazwanych roboczo „cryo-later”. Stanowi to istotny krok w doskonaleniu technik przechowywania nasienia ryb oraz zgłębianiu procesów starzenia się plemników w warunkach laboratoryjnych. Wyniki kriokonserwacji 8 dni po pobraniu przedstawiono na Rysunku 1:



Rys./fot. 7.2.1 Wyniki kriokonserwacji nasienia pstrąga źródłanego 1, 4 i 8 dni od pobrania w różnych wariantach eksperymentalnych.

Wraz z czasem przechowywania próbek zaobserwowano lekki spadek procentu ruchliwości plemników (MOT) w kolejnych dniach przechowywania nasienia w stanie płynnym (z 92% do 88% ruchliwych plemników) (Rys./fot. 2).



Rys./fot. 7.2.2. Wyniki kriokonserwacji nasienia pstrąga źródłanego 1, 4 i 8 dni od pobrania w różnych wariantach eksperymentalnych

Uzyskane wyniki wskazują, że nasienie pstrąga źródłanego przechowywane w stanie płynnym charakteryzuje się podobnymi wartościami MOT w kolejnych dniach przechowywania, niezależnie od użytego rozcieńczalnika. Badanie pokazało również, że proces kriokonserwacji istotnie wpłynął na ruchliwość plemników. Spośród wszystkich używanych roztworów rozcieńczających, najwyższe parametry ruchliwości po rozmrożeniu zaobserwowano po użyciu bufora Cryo-later do krótkotrwałego przechowywania nasienia. W kolejnych dniach przechowywania po rozmrożeniu, ruchliwość wynosiła odpowiednio 76% pierwszego dnia oraz 67% i 59% czwartego i ósmego dnia po pobraniu (Wykres 1).

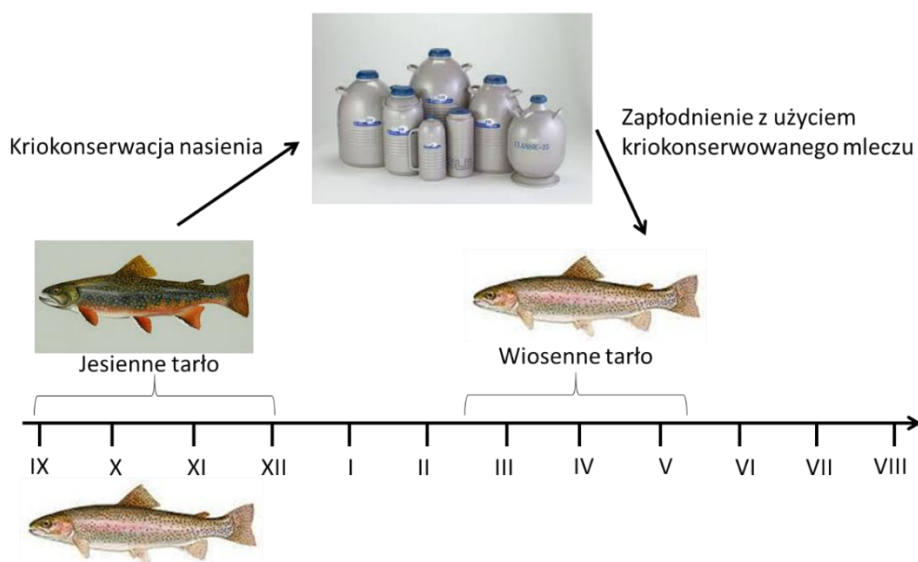
Dotychczasowe metody przechowywania nasienia krótkookresowego opierały się na wykorzystaniu roztworów imitujących składem plazmę nasienia ryb. Jednakże, zastosowanie takich roztworów wiązało się z ryzykiem cytotoksyczności związanej z nadmiarem soli w próbach poddawanych kriokonserwacji. W przeciwieństwie do tych metod, bufor „cryo-later” opracowane w ramach tego projektu nie imituje składem, ale imituje właściwości fizyko-chemiczne plazmy nasienia. Dzięki temu udało się uniknąć nadmiaru soli, zachowując naturalną osmolalność roztworu, co pozwoliło na skuteczną blokadę aparatu ruchu plemników bez negatywnego wpływu na proces kriokonserwacji.

Innowacyjne podejście oparte na zastosowaniu niskiej dawki metanolu we wstępnym buforze także przyczyniło się do poprawy możliwości przydatności prób do kriokonserwacji w dłuższym okresie czasu, co stanowi istotny krok w doskonaleniu technik przechowywania nasienia ryb.

Bufory „cryo-later” zostały już wstępnie przetestowane na rybach lososiowatych, a w przyszłych planowanych badaniach zostanie dokładnie przeanalizowana ich efektywność w praktyce wylęgarniczej. Planowane eksperymenty będą obejmować zarówno aspekty produkcyjne, jak i ochronę bioróżnorodności. Badania mają na celu wykazanie możliwości zastosowania tej metody w praktyce wylęgarniczej w dwóch głównych aspektach:

Wykorzystanie buforów „cryo-later” w produkcji komercyjnej krzyżówki ryb lososiowatych, może przyczynić się do efektywnego wykorzystania nasienia pstrąga źródłanego (Rys./ fot. 3).

Wykorzystanie kriokonserwacji w produkcji triploidalnych krzyżówek ryb



Rys./ fot. 7.2.3. Wykorzystanie kriokonserwowanego nasienia pstrąga źródłanego w produkcji triploidalnych krzyżówek międzygatunkowych z pstrągiem tęczowym.

Etapy kriokonserwacji nasienia pstrąga źródłanego:

➤ **Pozyskiwanie nasienia:**



Rys./fot. 7.2.4. Pozyskiwanie nasienia pstrąga źródłanego z zastosowaniem strzykawek.

Nasienie pstrąga źródłanego pobierane jest do sterylnych 5 ml strzykawek od ryb poddanych wcześniej anestezji. Strzykawki pozwalają kontrolować ilość pozyskanego nasienia co ma istotne znaczenie w odniesieniu do kolejnego etapu, czyli rozrzedzenia nasienia.

➤ **Rozrzedzanie nasienia wstępne w buforze cryo-later:**



Rys./fot. 7.2.5. Rozrzedzanie nasienia pstrąga źródłanego z zastosowaniem buforu cryo-later.

Pierwsze rozcieńczenie nasienia następuje w buforze cryo-later w odpowiednim stosunku buforu do nasienia. Dzięki strzykawce z podziałką objętości, stopień rozcieńczenia może być rygorystycznie zachowany w każdym przypadku.

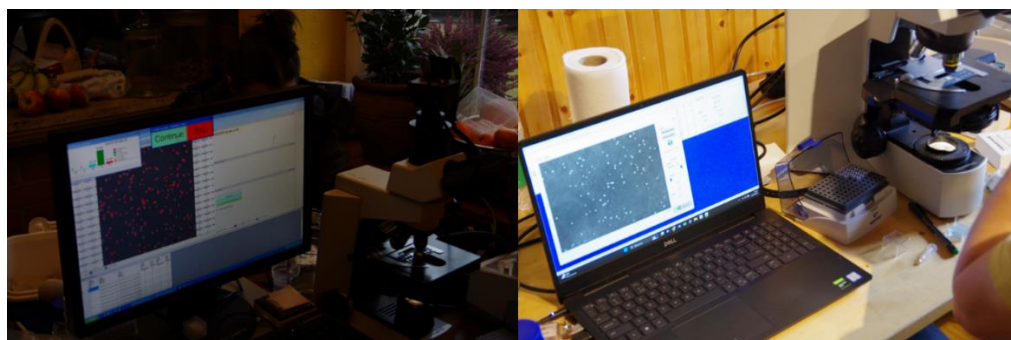
➤ **Rozrzedzanie nasienia w buforze do kriokonserwacji:**



Rys./fot. 7.2.6. Drugi stopień rozrzedzania nasienia pstrąga źródłanego w buforze do kriokonserwacji.

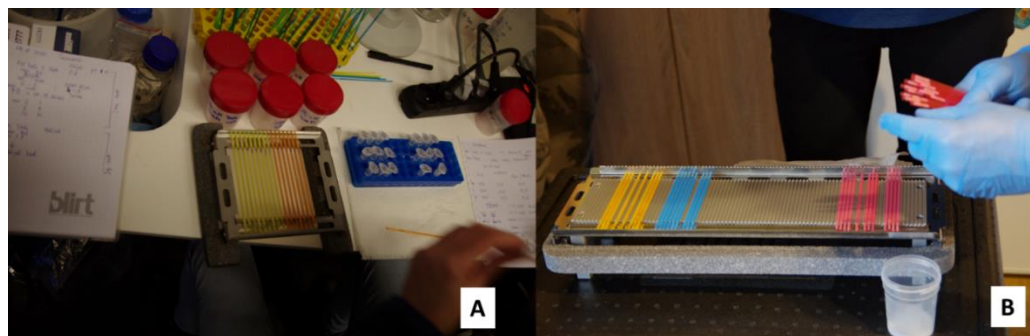
Nasienie po pozyskaniu w terenie I wstępnym rozcieńczeniu w buforze cryo-later, jest przed kriokonserwacją rozcieńczane po raz drugi (dwustopniowe rozcieńczanie), tym razem w buforze zawierającym odpowiednią do procedury koncentrację krioprotektorów. Po rozcieńczeniu, próby nasienia poddaje się ekwilibracji w temperaturze bliskiej 0 °C. Ekwilibracja trwa około 15 minut a w tym czasie próby są poddawane analizie ruchu plemników.

➤ **Analiza ruchliwości nasienia pstrąga źródłanego przed i po kriokonserwacji:**



Rys./fot. 7.2.7. Analiza ruchu plemników z zastosowaniem system CASA.

Analiza ruchu plemników pozwala zidentyfikować próby nasienia, które charakteryzują się zbyt niskimi parametrami ruchu. Na tym etapie usuwane są próby nasienia, które nie rokuja szans na skuteczne przejście procesu kriokonserwacji.



Rys./fot. 7.2.8. Układanie stówek z nasieniem na aparatach do kriokonserwacji. A – aparat do kriokonserwacji eksperymentalnej, B – aparat do kriokonserwacji przemysłowej.

Po ekwilibracji i sprawdzeniu jakości prób, dwustopniowo rozcieńczone nasienie pstrąga źródłanego jest poddawane procesowi kriokonserwacji. Do tego celu wykorzystywane są aparaty na małą liczbę słomek (eksperymentalne) oraz w przypadku kriokonserwacji na skalę produkcyjną, aparatów pozwalających zamrozić około 100 porcji nasienia na raz. Aparaty mają postać pływających ramek ze stelarzem pozwalającym na umieszczenie słomek obok siebie. Wysokość umieszczenia słomek nad poziomem ciekłego azotu może być na tych ramach regulowana i jest ważnym parametrem warunkującym skuteczność kriokonserwacji. **Wszystkie etapy procesu zostały zoptymalizowane w trakcie trwania projektu salmocross i po raz pierwszy na świecie, kriokonserwowane nasienie pstrąga źródłanego, posłużyło do produkcji triploidalnych krzyżówek międzygatunkowych na skalę przemysłową.**



Rys./fot. 7.2.9. Słomki nasienia pstrąga źródłanego umieszczone nad parami ciekłego azotu (kriokonserwacja).

Kriokonserwacja nasienia następuje w pojemnikach wypełnionych ciekłym azotem. Po kriokonserwacji nasienia jest ono przechowywany w kontenerach z ciekłym azotem i może być użyte w dowolnym czasie w przyszłości w celu kreacji krzyżówek międzygatunkowych lub odtworzenia stada rozrodczego pstrąga źródłanego.

7.3. Opracowanie technologii efektywnego gospodarczo krzyżowania międzygatunkowego ryb łososiowatych – badania jakości pozyskanej hybrydy (IRZiBŻ PAN Olsztyn – zespół dr hab. inż. Radosława Kajetana Kowalskiego – prof. PAN)



Rys./fot 7.3.1 – Ryby poddane analizie porównawczej – 1/palia(spartic) sterylne (2+), 2/pstrąg wielkopolski (2+), 3/pstrąg tęczy sterylne (2+)

W ramach realizacji projektu przeprowadzone wstępne badania jakości mięsa krzyżówek. Nie było to celem projektu, jednak w ramach prac przedwdrożeńowych, zespół projektowy uznał przeprowadzenie wstępnych badań tego typu za wskazane – również jako wstępu do przyszłych, poszerzonych badań nad jakością mięsa ryb – zwłaszcza w kontekście możliwości kształtowania niektórych jego parametrów w ramach selekcji oraz żywienia.

Jakość mięsa krzyżówki

Zawartość białka w filecie

	białko (%)
pstrąg źródlany	72,73
pstrąg wielkopolski	69,41
Pstrąg tęczy	64,84

Rys./fot 7.3.1 – Wyniki badań zawartości białka

Mięso pstrąga wielkopolskiego cechowała najwyższa zawartość białka w porównaniu do gatunków wyjściowych. Filety rybne bogate w białko są doskonałym źródłem wysokiej jakości białka, które jest niezbędne dla budowy i regeneracji tkanek w organizmie. Białko jest także istotne dla utrzymania zdrowych mięśni, skóry, włosów i paznokci. Z pozytywnych cech filetów pstrąga wielkopolskiego należy także wymienić:

1. Niskokaloryczność: Spożywanie filetów rybnych o większej zawartości białka często idzie w parze z niską zawartością tłuszczu i kalorii. Dlatego są one często polecane w diecie dla osób dążących do utraty wagi lub utrzymania zdrowej masy ciała.

2. Wysoka przyswajalność: Białko pochodzenia rybnego jest łatwo przyswajalne przez organizm człowieka. Aminokwasy zawarte w białku rybnym są dobrze zbilansowane i mogą być wykorzystane efektywnie do budowy i naprawy tkanek.
3. Zawartość nienasyconych kwasów tłuszczowych: Ryby bogate w białko często są również źródłem korzystnych nienasyconych kwasów tłuszczowych, takich jak kwasy omega-3. Te zdrowe tłuszcze mają korzystny wpływ na serce, mózg i ogólny stan zdrowia.
4. Wszechstronność kulinarna: Filety rybne o większej zawartości białka są wszechstronnym składnikiem kulinarnym, który można przyrządzać na wiele sposobów: grillować, piec, gotować na parze, smażyć czy dusić. Pozwala to na zróżnicowanie posiłków i eksperymentowanie z różnymi smakami i przyprawami.
5. Zdrowe substytuty dla innych źródeł białka: Spożywanie filetów rybnych o większej zawartości białka może być zdrowym substytutem dla innych źródeł białka, takich jak mięso czerwone czy produkty mleczne. Ryby są często łatwiejsze do trawienia niż niektóre inne źródła białka zwierzęcego.

Podsumowując, spożywanie filetów rybnych o większej zawartości białka może przynieść wiele korzyści dla zdrowia, zapewniając organizmowi niezbędne składniki odżywcze, wspierając utratę wagi i przynosząc smaczne i wszechstronne opcje kulinarne. W tym aspekcie, mięso pstrąga wielkopolskiego jest cennym produktem, który może oferować polska akwakultura konsumentom.

	Cholesterol [mg/100 g oil]
Pstrąg źródlany (wątroba)	455.5
Pstrąg wielkopolski (wątroba)	1026
Pstrąg tęczowy (wątroba)	1677
Pstrąg źródlany (filet)	101
Pstrąg wielkopolski (filet)	68
Pstrąg tęczowy (filet)	80

Rys./fot 7.3.2. Zawartość cholesterolu [mg 100 g oil]

Filety z pstrąga wielkopolskiego cechowała niska zawartość cholesterolu. Do pozytywnych aspektów spożywania takiego mięsa zaliczyć należy:

1. Zdrowie serca: Produkty o niskiej zawartości cholesterolu są zazwyczaj również niskotłuszczowe i bogate w zdrowe tłuszcze, takie jak nienasycone kwasy tłuszczowe omega-3. Spożywanie takich produktów może obniżyć poziom "złego" cholesterolu LDL we krwi, co z kolei zmniejsza ryzyko chorób serca i udarów mózgu.
2. Kontrola wagi: Produkty o niskiej zawartości cholesterolu często są również niskokaloryczne i bogate w błonnik, co może pomóc w kontroli wagi. Spożywanie takich produktów może pomóc w utrzymaniu zdrowej masy ciała lub w procesie redukcji masy ciała.

3. Zmniejszenie ryzyka chorób metabolicznych: Dieta bogata w produkty o niskiej zawartości cholesterolu może pomóc w zmniejszeniu ryzyka wystąpienia chorób metabolicznych, takich jak cukrzyca typu 2. Zdrowa dieta może poprawić wrażliwość na insulinę i regulować poziomy glukozy we krwi.
4. Zdrowa skóra: Produkty o niskiej zawartości cholesterolu często są bogate w składniki odżywcze, takie jak witaminy i minerały, które wspierają zdrowie skóry. Witaminy A, C i E oraz cynk i selen są ważne dla produkcji kolagenu, nawilżenia skóry i jej regeneracji.
5. Zmniejszenie ryzyka kamieni żółciowych: Dieta bogata w produkty o niskiej zawartości cholesterolu może pomóc w zmniejszeniu ryzyka tworzenia się kamieni żółciowych. Spożywanie zdrowych tłuszczów, ograniczenie tłuszczów nasyconych i cholesterolu oraz odpowiednia ilość błonnika w diecie może wspierać prawidłowe funkcjonowanie układu pokarmowego.
6. Zwiększenie długowieczności: Zdrowa dieta, w tym spożywanie produktów o niskiej zawartości cholesterolu, może przyczynić się do dłuższego i zdrowszego życia. Odpowiednie odżywianie dostarcza organizmowi niezbędnych składników odżywczych, które pomagają w utrzymaniu optymalnego stanu zdrowia na długie lata.

Podsumowując, spożywanie produktów o niskiej zawartości cholesterolu może przynieść wiele korzyści dla zdrowia, w tym poprawę stanu serca, kontrolę wagi, utrzymanie zdrowej skóry i zmniejszenie ryzyka wielu chorób przewlekłych. Włączenie takich produktów do zrównoważonej diety może przyczynić się do poprawy ogólnego stanu zdrowia i samopoczucia.

	C18:3 n-6	C20:3 n-6	C20:4 n-6	C20:5 EPA	C22:6 DHA
Pstrąg źródłany (wątroba)	0.49	0.91	1.48	2.35	12.14
Pstrąg wielkopolski (wątroba)	0.16	0.28	2.79	2.33	20.51
Pstrąg tęczowy (wątroba)	0.21	0.09	3.82	5.17	31.02
Pstrąg źródłany (filet)	0.62	0.81	0.31	0.76	2.97
Pstrąg wielkopolski (filet)	0.49	0.60	0.36	0.62	2.73
Pstrąg tęczowy (filet)	0.38	1.11	0.40	0,8	3,8

Rys. 7.3.3. Udział procentowy wybranych kwasów tłuszczowych [%]

Pstrąg Wielkopolski, podobnie jak pstrąg źródłany i tęczowy, ma znaczne ilości zdrowych kwasów tłuszczowych w wątrobie i mięśniach. Wśród cenniejszych zwłaszcza warto wspomnieć o:

- C18:3 n-6: Nazwa: Kwas alfa-linolenowy (ALA)

Wpływ na zdrowie: ALA jest nienasyconym kwasem tłuszczowym z rodziny omega-6. Jest to kwas tłuszczowy wielonienasycony, który organizm ludzki nie może samodzielnie syntetyzować i musi go pozyskiwać z diety. ALA jest prekursorem innych kwasów tłuszczowych, takich jak EPA i DHA. Ma korzystny wpływ na zdrowie serca poprzez zmniejszenie ryzyka chorób sercowo-naczyniowych.

➤ C20:3 n-6: Nazwa: Kwas dihomogamma-linolenowy (DGLA)

Wpływ na zdrowie: DGLA jest innym kwasem tłuszczowym z rodziny omega-6. Jest prekursorem prostaglandyn, które regulują procesy zapalne i immunologiczne w organizmie. Może mieć korzystny wpływ na redukcję stanów zapalnych oraz wspierać zdrowie skóry.

➤ C20:4 n-6: Nazwa: Kwas arachidonowy (AA)

Wpływ na zdrowie: AA jest kolejnym kwasem tłuszczowym z rodziny omega-6. Jest niezbędny dla organizmu, ponieważ jest prekursorem eikozanoidów, które odgrywają rolę w procesach zapalnych, regulacji ciśnienia krwi i funkcji immunologicznych. Jednak nadmiar AA może być związany z nadmierną reaktywnością zapalną i może przyczyniać się do rozwoju niektórych chorób, takich jak choroby serca.

➤ C20:5 EPA: Nazwa: Kwas eikozapentaenowy (EPA)

Wpływ na zdrowie: EPA jest kwasem tłuszczowym z rodziny omega-3, który wykazuje silne działanie przeciwzapalne. Jest prekursorem związków zwanych eikozanoidami, które pomagają regulować procesy zapalne w organizmie. EPA jest związane ze zmniejszonym ryzykiem chorób serca, poprawą nastroju i funkcji mózgu oraz wspieraniem zdrowia stawów.

➤ C22:6 DHA: Nazwa: Kwas dokozaheksaenowy (DHA)

Wpływ na zdrowie: DHA jest również kwasem tłuszczowym z rodziny omega-3, który odgrywa kluczową rolę w strukturze i funkcji mózgu, a także w zdrowiu oczu. Jest głównym składnikiem lipidów w mózgu, więc odgrywa istotną rolę w rozwoju i funkcjonowaniu układu nerwowego. DHA jest także istotny dla zdrowia serca i ma korzystny wpływ na wzrok, pamięć i funkcje poznawcze.



Rys. 7.3.4. Pstrąg wielkopolski – przykładowe produkty 1/dzwonko świeże, 2/sushimi, 3/filet wędzony, 4/filet pieczony

7.4. Weryfikacja przeżywalności, ploidalności i identyfikacja rodzicielskich genomów triploidalnych krzyżówek – badania genetyczne, selekcja (Katedra Biologii Morza i Biotechnologii - Uniwersytet Gdański – zespół prof. dr hab. inż. Konrada Ocalewicza)

1. Wybór hybrydy do produkcji :

W ramach zadania 3 realizowanego projektu przeprowadzono szereg eksperymentów, których celem było sprawdzenie hodowlanego potencjału krzyżówek ryb lososiowatych. Ponieważ jednym z kluczowych zadań projektu było otrzymanie ryb o podwyższonej lub pełnej odporności na VHS i IHN. Dostępne dane literaturowe i wyniki badań innych zespołów wskazywały, że gatunki ryb z rodzaju *Salvelinus* w przeciwieństwie do na przykład pstrąga tęczowego cechuje duża odporność na w/w choroby. Niestety ryby te charakteryzuje także wolne tempo wzrostu oraz osiąganie dojrzałości płciowej jeszcze przed uzyskaniem wielkości gospodarczej/komercyjnej. Nasienie pstrąga źródłanego wykorzystano w kolejnych eksperymentach do zapłodnienia ikry lipienia, pstrąga potokowego, pstrąga tęczowego i głowacicy. Z kolei nasieniem pstrąga tęczowego aktywowano ikrę lososia, siei, lipienia pstrąga potokowego i pstrąga tęczowego.

W większości przypadków w/w krzyżówek przeżywalność zarodków i wylęgu nie była na satysfakcjonującym poziomie. Relatywnie wysoki odsetek zapłodnionej ikry pojawiał się w wariantach kiedy ikra pstrąga tęczowym była zapładniana nasieniem pstrąg źródłanego lub nasieniem lososia atlantyckiego oraz w przypadku ikry pstrąga potokowego zapładnianej nasieniem pstrąga źródłanego. Jednak w każdym z tych wariantów jedynie niewielki odsetek ryb się wykluwał.



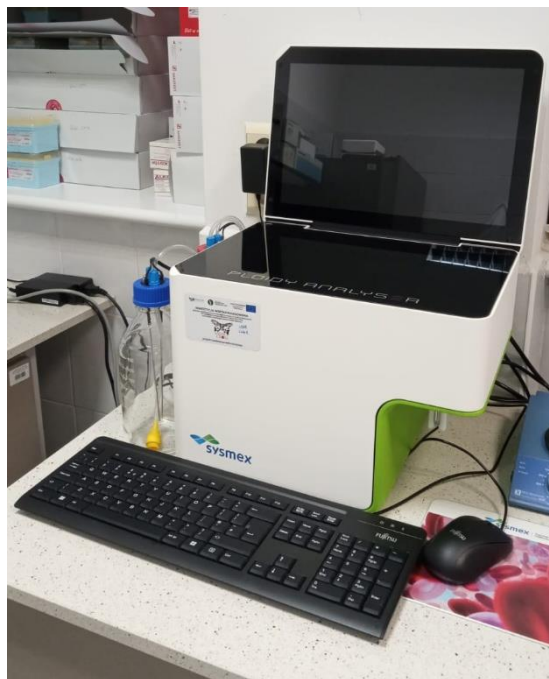
rys./fot. 7.4.1. Zespół Uniwersytetu Gdańskiego

We wszystkich wyżej wymienionych próbach przeżywalność hybryd próbowano podwyższyć zwiększając genetyczny udział gatunku matczynego przez zastosowanie procesu triploidyacji. Ekspozowanie zapłodnionych ziaren ikry na działanie szoku ciśnieniowego krótko po zapłodnieniu powoduje szereg zmian w jajkach konsekwencją, których jest zablokowanie wyrzucenia z niego drugiego ciała kierunkowego zawierającego haploidalny zestaw chromosomów. W wyniku takiego działania, w zapłodnionej ikrze mamy dwa zestawy matczynych chromosomów (jeden z jądra komórkowego i drugi z ciała kierunkowego) oraz jeden zestaw chromosomów ojcowskich. Ryby te nazywamy triploidalnymi. Takie działanie w wybranych przez nas wariantach wpłynęło zdecydowanie pozytywnie na przeżywalność krzyżówek pstrąga tęczowego i pstrąga źródłanego oraz pstrąga potokowego i źródłanego. W przypadku hybryd pstrąga tęczowego i lososia zarówno diploidalne i triploidalne osobniki zmarły krótko po wykluciu się.

Z dwóch wariantów triploidalnych krzyżówek, których przeżywalność znacząco wzrosła w porównaniu do przeżywalności ich diploidalnego rodzeństwa do dalszych badań wybraliśmy triploidalne hybrydy pstrąga tęczowego i pstrąga źródłanego. Triploidalne hybrydy pstrąga potokowego i pstrąga źródłanego

W optymalnym wariantcie triploidyzacji ikry pstrąga tęczowego zapłodnionej nasieniem pstrąga źródłanego przeżywalność na etapie wyklucia wynosiła ok. 80%. Krzyżówki, które wykluły się z jajek eksponowanych na działanie szoku ciśnieniowego poddano badaniom genetycznym, których celem było oszacowanie ploidalności ryb (potwierdzenie czy ryba posiada diploidalną czy triploidalną liczbę chromosomów) czyli de-facto skuteczności warunków triploidyzacji, potwierdzenie udziału genomów zarówno pstrąga tęczowego i pstrąga źródłanego w komórkach badanych ryb oraz potwierdzenie genetycznej płci.

W celu oszacowania ploidalności zastosowaliśmy metodę cytogenetyczną polegającą na uzyskaniu płytek metafazowych i liczeniu chromosomów pod mikroskopem świetlnym oraz po raz pierwszy technikę cytometrii przepływowej mierzącej zawartość DNA w jądrach komórkowych pobranych od badanych ryb. Obie metody potwierdziły skuteczność zastosowanego szoku ciśnieniowego dającego najwyższą skuteczność mierzoną poprzez przeżywalność zarodków i wylęgu w Natomiast zdecydowanie mniej czasochłonną oraz tańszą metodą okazało się diagnozowanie ploidalności ryb przy pomocy cytometru przepływowego.



rys./fot. 7.4.9. Cytometr – Uniwersytet Gdański

Udział dwóch różnych genomów w komórkach mieszańców potwierdzono przy pomocy analizy niekodujących sekwencji DNA i techniki PCR. W celu identyfikacji genetycznej płci wykorzystano również technikę PCR oraz startery umożliwiające amplifikację fragmentu genu związane z chromosomem Y pstrąga źródłanego.

Obecność genetycznych samców (XXY) i genetycznych samic (XXX) potwierdzono wśród testowanych rocznych, dwuletnich i trzyletnich osobników. W niniejszym projekcie po raz pierwszy zbadaliśmy rozwój gonad u triploidalnych hybryd. Badania stanu rozwoju gonad przeprowadzono u ryb ze wszystkich grupach wiekowych. Wiadomo, że w przypadku ryb triploidalnych jednego gatunku, samice są

uznawane za funkcjonalnie sterylne; ryby takie mają niedorozwinięte jajniki i nie produkują gamet. W przypadku triploidalnych samców ryb łososiowatych, w fachowej literaturze opisuje się przypadki osobników, które mają niemal prawidłowo wykształcone jądra, które zazwyczaj produkują eneuploidalne plemniki (posiadające nieprawidłową liczbę chromosomów).

U jednorocznych hybryd nie udało się znaleźć nawet zawiązków gonad. W przypadku ryb dwuletnich zaobserwowano występowanie w stadzie dwóch form barwnych. Forma ciemno-ubarwiona charakteryzująca się również większym wygrzbiecieniem oraz większą głową (fenotyp A) i formą srebrną o mniejszym wygrzbiecieniu i drobniejszej głowie (fenotyp B). Takie zróżnicowanie zaczyna pojawiać się dopiero w drugim roku życia triploidalnych hybryd. U dwuletnich osobników posiadających fenotyp A zaobserwowano występowanie gonad przypominających jądra. Znakomita większość tych ryb była genetycznymi samcami. U wszystkich przebadanych dwuletnich ryb charakteryzujących się fenotypem B, gonady wyglądały jak mocno zredukowane jajniki. Co ciekawe, molekularny test potwierdził występowanie w badanej grupie zarówno genetycznych samców jak i samic.

Analiza rozwoju gonad wykonana u osobników trzyletnich potwierdziła wystąpienie jąder u niemal wszystkich ryb z fenotypem A. Natomiast wśród trzyletnich ryb z fenotypem B znaleziono zarówno takie, które posiadały jądra oraz takie, których gonady wyglądały jak niedorozwinięte jajniki.

Badania histologiczne gonad triploidalnych hybryd pstrąga tęczowego i pstrąga źródłanego potwierdziły występowanie samczych komórek rozrodczych w jądrach u samców obu fenotypów. W przypadku samic (występujących wśród ryb o fenotypie B), histologia potwierdziła występowanie owogoniów i niedojrzałych oocytów a więc rozrodczych komórek samiczych.

Biorąc pod uwagę, że wśród ryb o fenotypie A mieliśmy do czynienia z samcami, które ewidentnie wykształciły jądra, a samice pojawiły się wyłącznie w grupie ryb o fenotypie B, można przyjąć, że produkcja wyłącznie samiczych triploidalnych krzyżówek pozwoliłaby uzyskać ryby o jednakowym ubarwieniu i mocno upośledzonym procesie formowania gonad. Atrakcyjne ubarwienie i większa wydajność rzeźna (wymaga potwierdzenia), predysponują fenotyp B, jako docelowy – dlatego też konsorcjum zdecydowało o kontynuacji badań nad krzyżówką, w celu uzyskania jednolitej populacji ryb o fenotypie B.

VIII. Publikacje – artykuł w czasopiśmie „Animal Reproduction Science”

Wyniki projektu dotyczące form barwnych triploidalnych hybryd, molekularnej identyfikacji krzyżówek, ich genetycznej płci i ploidalności przedstawiono między innymi w artykule pt. „The phenotype, sex ratio and gonadal development in triploid hybrids of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) ♀ and brook trout (*Salvelinus fontinalis*) ♂” opublikowanym w czasopiśmie Animal Reproduction Science (Elsevier):

Artykuł do pobrania:

<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2024.107659>



The phenotype, sex ratio and gonadal development in triploid hybrids of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) ♀ and brook trout (*Salvelinus fontinalis*) ♂

Marcin Kuciński^{a,*}, Paulina Trzeciak^{b,2}, Ziemowit Pirtań^c, Wojciech Jóźwiak^c,
Konrad Ocalewicz^{a,3}

^a Department of Marine Biology and Biotechnology, Faculty of Oceanography and Geography, University of Gdansk, M. Piłsudskiego 46 Av, Gdynia 81-378, Poland

^b Department of Ecology and Biogeography, Faculty of Biological and Veterinary Sciences, Nicolaus Copernicus University in Toruń, Lwowska street 1, Toruń 87-100, Poland

^c Fish Farm "PSTRĄG TARNOWO Ziemowit Pirtań", Tarnowo 16, Piła 64-930, Poland

ARTICLE INFO

Keywords:
Aquaculture
Interspecific salmonid hybrids
Phenotype
Genetic sex
Gonad development

ABSTRACT

The phenotype, genetic sex ratio and gonadal development characteristics were evaluated in randomly selected juvenile (15 months old), sub-adult (22 months old) and adult (30 months old) triploid hybrids of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brook trout (*Salvelinus fontinalis*). The examined fish originated from the family produced by application High Hydrostatic Pressure (HHP) shock (9500 psi for 5 minutes, applied 35 minutes post-fertilization at 10°C) to eggs stripped from five rainbow trout females and fertilized with sperm of two brook trout males. After hatching, all fish were reared under the same conditions for three years. The ploidy level and hybrid status of the fish were confirmed through cytogenetic analysis and DNA genotyping. Three distinct phenotypes; trout-like (Tr-I) phenotype, salmon-like (Sa-I) phenotype and intermediate (Tr/Sa-I) phenotype, with the following frequencies: $f= 50.8\%$, $f= 31.7\%$ and $f= 17.5\%$, respectively, were observed among the sampled specimens. Genetic males exclusively detected among individuals with Tr-I phenotype developed macroscopically visible and histologically functional testes in their second year of life, representing the lowest value for the aquaculture production. A comparable proportion of males and females was recorded among individuals with Sa-I and Tr/Sa-I phenotypes. Males with these phenotypes developed macroscopically distinguishable and histologically functional testes in their third year of life. In the genetic males, underdeveloped intersex or completely reduced gonads were recorded. This study revealed that individuals with Sa-I phenotype represent the greatest value for commercial production because of their unique appearance and complete sterility (females) or delayed maturation observed only after reaching the market size (males).

* Correspondence to: University of Gdansk, M. Piłsudskiego 46 Av, Gdynia 81-378, Poland.
E-mail address: marcin.kucinski@ug.edu.pl (M. Kuciński).

¹ <https://orcid.org/0000-0002-2977-7249>

² <https://orcid.org/0000-0003-4508-6584>

³ <https://orcid.org/0000-0001-7122-7542>

IX. Inne efekty projektu (infrastruktura, dydaktyka, organizacja)

Eksperymentalne zaplecze B+R u Lidera. W ramach projektu utworzono i wdrożono u Lidera projektu dedykowane zaplecze doświadczalne obejmujące wylęgarnię z możliwością prowadzenia kontrolowanych eksperymentów rozrodczo-hodowlanych, stanowiska testowe do rozżerowania i wczesnych etapów chowu oraz systemy kontroli jakości wody i materiału biologicznego. Infrastruktura jest zaprojektowana w układzie modułowym: poszczególne linie technologiczne można szybko rekonfigurować pod kątem nowych hipotez badawczych, testów paszowych czy walidacji rozwiązań bioasekuracyjnych.



rys/fot. 9.1 Obiekt doświadczalny Salmocross

Stanowiska testowe – od badań do wdrożeń. Każde stanowisko testowe wyposażono w zestawy do precyzyjnego monitoringu parametrów środowiskowych (m.in. temperatura, tlen, przepływ) z rejestracją danych w czasie rzeczywistym. Dzięki temu możliwe jest równoległe porównywanie wariantów chowu lub procedur operacyjnych na niewielkich, ale reprezentatywnych partiach ryb. Stanowiska umożliwiają zarówno krótkie pilotaże (dni/tygodnie), jak i dłuższe serie walidacyjne (miesiące), co jest kluczowe przy badaniach nad jednorodnością fenotypową i parametrami jakości mięsa.

Systemy kontroli jakości i śledzenia partii. Zespół wdrożył zunifikowane karty identyfikacji partii i dzienniki zdarzeń technologicznych, które spinają dane z wylęgarni, rozżerowania i tuczu. Rozwiązanie to podnosi poziom przejrzystości eksperymentów, ułatwia audyty i pozwala łączyć wyniki fenotypowe z historią środowiskową i operacyjną. W praktyce przyspiesza to iterację cyklu „hipoteza → test → wnioski”.



rys/fot. 9.2 Obiekt doświadczalny Salmocross – zaplecze techniczne

Potencjał do testów wieloczynnikowych. Zaplecze pozwala bezpiecznie prowadzić testy wieloczynnikowe (np. kombinacje gęstości obsady, reżimów żywienia i protokołów profilaktycznych) bez zakłócania bieżącej produkcji. Wspiera to zarówno prace naukowe (analizy czynnikowe), jak i proces decyzyjny w gospodarce (dobór optymalnych ustawień dla efektu koszt-jakość).

Most między laboratorium a praktyką. Kluczową korzyścią z utworzenia bazy eksperymentalnej „w środku” zakładu jest skrócenie dystansu między badaniami a wdrożeniem. Wnioski z prób są wdrażane niemal natychmiast w skali operacyjnej, co zwiększa szybkość uczenia się organizacji i ogranicza ryzyko przenoszenia niezwyfikowanych rozwiązań na duże partie handlowe.

Laboratorium mobilne IRZiBŻ PAN – badania in situ. Uzupełnieniem zaplecza stacjonarnego jest nowoczesne mobilne laboratorium Instytutu, które zwiększa zdolność do prowadzenia badań w terenie. Jednostka umożliwia pobór materiału biologicznego, wstępną diagnostykę i przygotowanie próbek do dalszych analiz – wprost na obiektach partnerskich. To narzędzie szczególnie ważne przy projektach porównawczych, które wymagają szybkiej reakcji, standaryzacji łańcucha chłodniczego i minimalizacji czasu od pobrania do analizy.



rys/fot. 9.3 Mobilne laboratorium IRZiBŻ PAN

Pilotaże i szybkie interwencje badawcze. Dzięki mobilnemu laboratorium możliwe są krótkie kampanie badawcze w okresach krytycznych (np. wahania termiki wody, epizody stresowe), a także „mikro-pilotaże” diagnostyczno-profilaktyczne. Pozwala to lepiej rozumieć zmienność środowiskową oraz jej wpływ na wyniki chowu i zdrowotność partii – z natychmiastowym sprzężeniem zwrotnym dla praktyki.

Nowoczesny cytometr na UG – wsparcie genetyki i genomiki. Uniwersytet Gdański, jako partner naukowy, dysponuje obecnie cytometrem oraz zapleczem do analiz przepływowych i genetycznych. Platforma ta wspiera diagnostykę ploidalności, ocenę zróżnicowania komórkowego, a także projekty z pogranicza genomiki funkcjonalnej (np. badania asocjacyjne fenotyp–genotyp). Dla konsorcjum oznacza to szybką, wiarygodną weryfikację cech istotnych z perspektywy produkcyjnej.



rys/fot. 9.4 Nowoczesny cytometr – Uniwersytet Gdański

Standaryzacja diagnostyki ploidalności. Dostęp do cytometrii umożliwia wdrożenie stałych „punktów kontrolnych” w cyklu produkcyjnym. Regularne badanie prób referencyjnych zwiększa pewność co do jednorodności partii i ogranicza ryzyko odchyłeń, co przekłada się na stabilność jakości handlowej.

Współpraca z Wydziałem Medycyny Weterynaryjnej UPP. Projekt zainicjował ścisłą współpracę z WMW Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, której osią tematyczną są technologie szczepień o szerokim spektrum działania. Partnerstwo łączy kompetencje kliniczne i diagnostyczne z doświadczeniem produkcyjnym oraz narzędziami badawczymi konsorcjum, tworząc solidną bazę do przyszłych projektów aplikacyjnych i wdrożeniowych.



rys./fot. 9.5 Badania na obiekcie Salmocross

Platforma immunoprofilaktyczna – kierunek rozwoju. Współpraca z UPP zakłada prace nad zintegrowaną platformą immunoprofilaktyczną, która ma uzupełniać bioasekurację i podnosić odporność funkcjonalną stad. Efektem oczekiwanym jest ograniczenie strat produkcyjnych, podniesienie przewidywalności cykli oraz lepsza ochrona wartości genetycznej i jakościowej produktu finalnego.

Baza do dydaktyki i transferu wiedzy. Obiekt Lidera będzie wykorzystywany jako miejsce warsztatów praktycznych zarówno dla studentów kierunku Akwakultura – Biznes i Technologia (UG), jak i dla studentów weterynarii (UPP). Połączenie zaplecza badawczego z „żywym” środowiskiem produkcyjnym pozwala kształcić kadry, które rozumieją jednocześnie wymogi nauki, technologii i rynku.



rys./fot. 9.6 Warsztaty na obiekcie Salmocross dla studentów kierunku medycyny weterynaryjnej UPP

Ścieżki stażowe i projekty studenckie. Infrastruktura otwiera możliwość krótkich staży, prac dyplomowych i projektów zespołowych w trybie „problem-based learning” – od planu doświadczenia, przez zbiór danych, po analizę wyników i rekomendacje dla praktyki. To wzmacnia lokalny ekosystem kompetencji i ułatwia rekrutację wykwalifikowanych specjalistów do branży.

Usługi badawcze i współpraca zewnętrzna. W dłuższym horyzoncie zaplecze B+R oraz laboratorium mobilne mogą pełnić funkcję regionalnego centrum usług badawczo-wdrożeniowych: szybkie testy hipotez dla producentów, walidacje produktów (np. pasze, dodatki dietetyczne), audyty bioasekuracji, czy wreszcie ocena jakości mięsa i wsparcie w standaryzacji oferty handlowej.

Zarządzanie jakością i otwarta architektura danych. Zintegrowano elementy systemu zarządzania jakością (procedury robocze, karty kontrolne, matryce odpowiedzialności) oraz architekturę danych, która pozwala łączyć obserwacje terenowe z wynikami laboratoriów partnerskich. Taki układ sprzyja replikowalności i umożliwia zewnętrzną weryfikację w projektach wielośrodkowych.



rys/fot. 9.7 Wykłady na temat projektu Salmocross dla studentów kierunku medycyny weterynaryjnej UPP

Efekt dźwigni dla grantów i komercjalizacji. Trwała infrastruktura, skoordynowane kompetencje partnerów (Lider–IRZiBŻ–UG–UPP) oraz ścieżka dydaktyczna tworzą fundament do pozyskiwania kolejnych środków B+R. Dla konsorcjum oznacza to większą konkurencyjność w naborach i szybsze przejście od pomysłu do wdrożenia – z przewidywalnym ryzykiem i czytelnymi korzyściami gospodarczymi.

Wkład w standardy branżowe. Ostatnim, lecz istotnym efektem jest możliwość wpływu na standardy praktyki akwakultury poprzez publikacje, materiały szkoleniowe i otwarte protokoły walidacyjne (bez ujawniania wrażliwego know-how). Konsorcjum, posiadając pełne spektrum narzędzi – od cytometrii po testy terenowe – jest dobrze ulokowane, by współtworzyć dobre praktyki branżowe i wspierać administrację w procesach oceny innowacji.



rys/fot. 9.7 Obiekt Lidera Projektu – 2024 rok

X. Wdrożenie

10.1. Cel i zakres wdrożenia

Celem wdrożenia jest stabilna, powtarzalna i ekonomicznie uzasadniona produkcja Pstrąga Wielkopolskiego (hybryda *O. mykiss* × *S. fontinalis*, triploid), z docelową standaryzacją fenotypu B (wysrebrzonego) oraz podniesioną odpornością funkcjonalną na choroby, w szczególności bakteryjne.

Wdrożenie obejmuje dwa obiekty: obiekt Lidera (produkcja referencyjna + centrum B+R) oraz obiekt jednego z konsorcjantów komercyjnych (walidacja w skali rynkowej i niezależne potwierdzanie wyników).



rys/fot. 10.1 Pstrąg wielkopolski – rozmiar handlowy (1+)

10.2. Założenia strategiczne

Horyzont pełnego wdrożenia: po 2026 r. – po zakończeniu kluczowych prac doskonalących (fenotyp B, profil odporności bakteryjnej, standaryzacja jakości partii).

Polityka dystrybucji materiału zarybieniowego: do czasu osiągnięcia ww. kamieni milowych wstrzymanie wprowadzania materiału na inne obiekty (wdrożenie docelowe odroczone), przy jednoczesnym kontynuowaniu produkcji i sprzedaży ryb handlowych (brak przeciwwskazań).

Priorytety B+R w trakcie wdrożenia: (i) uzyskanie jednorodności fenotypu B w całych partiach handlowych, (ii) opracowanie i walidacja szerszego spektrum odporności bakteryjnej (platforma immunoprofilaktyczna z UPP + bioasekuracja).

10.3. Model operacyjny i łańcuch produkcji

Planowanie cykli: synchronizacja tarła i dostępności nasienia (kriobank *S. fontinalis*), alokacja partii pod testy B+R i produkcję handlową.

Rozród i kontrola ploidalności: zapłodnienia kontrolowane, triploidyzacja w oknie rozwojowym (parametry – know-how), screening cytometryczny + walidacja cytogenetyczna próbek.

Wylęg i rozżerowanie: zarządzanie obsadami, tlenem i przepływem; rejestracja danych środowiskowych; zabezpieczenie duplikatów partii.

Tucz: prowadzenie w reżimie standardu tęczaka (pasze, FCR), monitorowanie fenotypów A/B i wskaźników zdrowotnych; selekcja na fenotyp B (procedury operacyjne + decyzje dystrybucyjne).

Zbiór i przetwórstwo: segmentacja na rybę >500 g (filet/wędzenie) oraz rybę całą (HoReCa/detal); dokumentacja traceability.

Zwrot informacji: powiązanie KPI partii (fenotyp, FCR, zdrowotność, parametry mięsa) z danymi środowiskowymi i wariantem procedur – cykl „uczenia się” wdrożenia.

10.4. Harmonogram i kamienie milowe

2025 (kontynuacja)

Wytwarzanie i sprzedaż ryby handlowej w obu lokalizacjach (skalowanie w granicach mocy).
Program monitoringu fenotypów (udział B vs A), jakości mięsa i wskaźników zdrowotności; standaryzacja panelu badań bakteriologicznych.

Pilotaże immunoprofilaktyczne (autogenne/adiuwanty) + prace przygotowawcze z UPP.

2026 (rok przełomowy)

Uruchomienie prac badawczo-rozwojowych nad opracowaniem efektywnych metod stymulacji odporności na choroby bakteryjne – we współpracy z UPP, pozyskanie grantu, uruchomienie projektu

Uruchomienie prac badawczo-rozwojowych nad opracowaniem metody pozyskania na skalę gospodarczą jednolitej populacji ryb o fenotypie „B” – w ramach konsorcjum Salmocross.

Po 2029 (pełne wdrożenie)

Decyzja o stopniowym udostępnianiu materiału zarybieniowego poza konsorcjum (program licencyjny/warunki jakościowe).

Utrzymanie i doskonalenie platformy szczepień + walidacje międzyobiektowe.

Rozwój linii produktowych (filety premium, wędzenie, MAP).

10.5. Polityka ograniczenia dystrybucji materiału zarybieniowego

Do czasu osiągnięcia jednorodności fenotypu B i potwierdzenia szerokiego spektrum odporności:

- Brak sprzedaży/transferu ikry/narybku na zewnętrzne obiekty (z wyjątkiem kontrolowanych pilotaży B+R).
- Skupienie na rybie handlowej – komercyjny wolumen z dwóch obiektów, z kontrolą jakości i spójnością marki.

10.6. Komponent zdrowotny (bakterie) – plan działań

Bioasekuracja: przegląd i ujednolicenie barier higienicznych, ścieżki dezynfekcji, procedury wejść/wyjść.

Immunoprofilaktyka: projekt i wdrożenie schematów szczepień o szerszym spektrum, badania skuteczności (współczynniki przeżycia, redukcja objawów klinicznych, miana), bezpieczeństwa i trwałości odpowiedzi.

Diagnostyka: panel PCR/kulturowy ukierunkowany na najczęstsze czynniki bakteryjne; korelacja z danymi produkcyjnymi.

10.7. Skala i parametry operacyjne (orientacyjne, do kalibracji)

Wielkość partii: elastyczna, dopasowana do mocy wylęgarni i programu badań (partie referencyjne vs testowe). Masa docelowa: segment >500 g (filet/wędzenie) + ewentualne pakiety ryby świeżej dla HoReCa. Pasze: formuły równoważne standardowi tęczaka; brak potrzeby „mocniejszych” receptur (kontrola FCR). Wskaźniki jakości mięsa: utrzymanie profilu białka/kwasów n-3; monitoring barwy (dalsze badania skorelowane z jakością żywienia krzyżówki).

10.8. System jakości i traceability

Kontrola ploidalności: cytometria przepływowa (screening) + cytogenetyka (walidacja).

Identyfikowalność: etykiety partii na każdym etapie (wylęg–tucz–przetwórstwo), rejestry środowiskowe, zdarzenia zdrowotne.

Audyt wewnętrzny: kwartalne przeglądy KPI i decyzje korygujące (selekcja na fenotyp B, zmiany reżimów chowu).

10.9. KPI wdrożenia (progi/cele – do potwierdzenia w 2029 roku)

- Udział fenotypu B w partiach handlowych: $\geq 85\%$ (cel operacyjny), trend do $\geq 90\%$ (cel docelowy).
- Brak ognisk chorób wirusowych w partiach 3n; redukcja częstości incydentów bakteryjnych o $\geq 30\%$ r/r przy wdrożeniu pełnego schematu profilaktyki.
- FCR: utrzymanie w widelkach porównywalnych do tęczaka w tych samych warunkach.
- Wydajność rzeźna i jakość mięsa: brak pogorszenia względem standardu tęczaka; utrzymanie przewagi w białku/korzystnego profilu lipidowego.
- Stabilność partii: odchylenie standardowe kluczowych wskaźników (masa, kolor) w akceptowalnych granicach (do zdefiniowania w kartach jakości).

10.10. Ryzyka i działania łagodzące

- Niepełna jednorodność fenotypu → rozszerzenie selekcji operacyjnej, modyfikacje reżimów chowu, badania asocjacyjne fenotyp–genotyp (UG).
- Zmienność odpowiedzi na szczepienia → iteracje protokołów, pilotaże krzyżowe w dwóch obiektach, dobór nośników/adjuwantów (UPP).
- Wahania jakości nasienia/gamet → rygor SOP kriobanku, testy post-thaw, rotacja dawców.
- Zdarzenia zdrowotne niezwiązane z celem → wzmocniona bioasekuracja, szybkie interwencje mobilnego lab. IRZiBŻ, protokoły kryzysowe.
- Ryzyko rynkowe (percepcja hybrydy) → komunikacja marki oparta na wartościach żywieniowych i jakości, ścisła kontrola sensoryczna.

10.11. Polityka rynkowa i kanały zbytu (faza przejściowa)

- Produkt: ryba świeża >500 g, filety premium, komponent pod wędzenie; narracja jakościowa (białko $\uparrow$, n-3, wybarwienie).
- Kanały: HoReCa premium, delikatesy, własne kanały sprzedaży i przetwórstwa; testy A/B etykiety i claimów jakościowych.
- Marketing: ograniczone, kontrolowane rozszerzanie dystrybucji wraz z postępowaniem jednorodności fenotypu i umocnieniem odporności.

10.12. Warunki przejścia do pełnego wdrożenia po 2029 r.

- Spełnienie KPI fenotypu B w ≥ 2 cyklach z rzędu w obu obiektach.
- Udokumentowana skuteczność platformy szczepień (end-points produkcyjne/kliniczne).
- Stabilność jakości mięsa i brak kompromisów sensorycznych.
- Przygotowany model licencjonowania i pakiet SOP do transferu technologii (bez ujawniania krytycznych parametrów na zewnątrz – model „czarna skrzynka”/licencja).

10.13. Wnioski

Wdrożenie Pstrąga Wielkopolskiego przebiegać będzie w trybie kontrolowanego skalowania – z komercyjną sprzedażą ryby handlowej już teraz, oraz planowym odroczeniem dystrybucji materiału zarybieniowego do czasu domknięcia dwóch kluczowych wektorów B+R: (i) jednorodności fenotypu B oraz (ii) odporności bakteryjnej o szerokim spektrum. Taka sekwencja minimalizuje ryzyko reputacyjne i produkcyjne, a jednocześnie pozwala korzystać z przewag jakościowych produktu oraz rozwijać rynek docelowy, budując solidny fundament pod pełne wdrożenie po 2026 r.



rys/fot. 10.2 Pstrąg wielkopolski – fenotyp i rozmiar docelowy – filet z ryby dwuletniej

XI. Wnioski do dalszych badań B+R

Poniższa agenda B+R definiuje kierunki rozwoju technologii i produktu Pstrąg Wielkopolski w horyzoncie 2025–2029. Każdy obszar zawiera: cel naukowo-wdrożeniowy, kluczowe pytania badawcze, podejście/metody, mierniki sukcesu (KPI), ryzyka i mitigację oraz kamienie milowe. Zasada przewodnia: maksymalne wykorzystanie istniejącego zaplecza (wylęgarnia i stanowiska testowe Lidera, mobilne laboratorium IRZiBŻ PAN, cytometr/analizy UG) oraz bez ujawniania parametrów krytycznych SOP.

11.1. Jednorodność fenotypowa – selekcja w kierunku uzyskania jednorodnego fenotypowo pod względem ubarwienia (forma srebrna) potomstwa obu gatunków.

Cel: opracować metodykę/technologię uzyskiwania partii jednorodnych fenotypowo (dominujący fenotyp B – „wysrebrzony”), co poprawi spójność sensoryczną, wydajność rzeźną i walory handlowe.

Pytania badawcze:

- Jakie czynniki genetyczne i środowiskowe (obsada, reżimy przepływ/tlen, profil żywieniowy, mikrobiom) determinują udział fenotypu B?
- Czy istnieją markery molekularne współzwiązane z fenotypem B, które można wykorzystać do przesiewu materiału?
- Jaki jest minimalny zestaw warunków operacyjnych gwarantujący $\geq 85\text{--}90\%$ fenotypu B w skali partii?

Podejście/metody:

- Badania asocjacyjne fenotyp–genotyp (GWAS/targeted) na próbach referencyjnych (UG), połączone z profilowaniem fenotypowym (morfometria, barwa Lab*, indeksy kondycji) oraz danymi środowiskowymi z rejestratorów.
- Eksperymenty czynnikowe (DoE) w wylęgarni/tuczu: macierze 2–3-czynnikowe (np. gęstość $\times$ tlen $\times$ profil żywieniowy), replikowane sezonowo; analiza efektów głównych i interakcji.
- Uczenie maszynowe (modele klasyfikacyjne) do predykcji fenotypu na wczesnych etapach wzrostu na podstawie danych środowiskowych i biometrycznych.
- KPI: udział fenotypu B w partiach handlowych $\geq 85\%$ (cel operacyjny, 2026), trend do $\geq 90\%$ (cel docelowy, 2027+); zmienność wewnątrzpartiiowa (SD) parametrów barwy i morfometrii – spadek o $\geq 30\%$ r/r; wydajność rzeźna – stabilizacja/ $\uparrow$ vs. baza.

Ryzyka i mitigacja:

- Zmienność sezonowa $\rightarrow$ replikacje międzyroczne, normalizacja do $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, kontrola jakości gamet.
- Nadmierna złożoność modeli $\rightarrow$ redukcja wymiarowości (PCA), walidacja krzyżowa, prostsze reguły decyzyjne dla praktyki.
- Kamienie milowe: identyfikacja kandydatów markerów (T+12 mies.); pilotaż przesiewu (T+18); osiągnięcie progu 85% B w 2 cyklach z rzędu (T+24).



rys/fot. 11.1 Pstrąg wielkopolski – fenotyp i rozmiar docelony – ryba dwuletnia

11.2. Technologie szczepień autogenicznych – platforma immunoprofilaktyczna (UPP + IRZiBŻ PAN)

Cel: zbudować i zwalidować zintegrowaną platformę szczepień ochronnych obejmującą najgroźniejsze bakteryjne czynniki chorobotwórcze wywołujące straty w produkcji ryb, stanowiącą element bioasekuracji.

Pytania badawcze:

- Jaki profil antygenowy (mono/poliwalentny; skojarzony) zapewnia najlepszy kompromis między skutecznością, bezpieczeństwem i kosztem?
- Jakie adiuwanty/nośniki są optymalne dla triploidów w różnych masach ryby i temperaturach wody?
- Jak integrować szczepienia z mikrobiomem i żywieniem funkcjonalnym?

Podejście/metody:

- Projektowanie schematów immunizacji (czas, dawki, drogi podania, adiuwanty) i badania kontrolowane w dwóch obiektach (Lider + konsorcjant) z losowym przydziałem partii.
- Końcowe punkty: przeżywalność po próbach terenowych, redukcja objawów chorobowych, wyniki badań bakteriologicznych/PCR, brak istotnych skutków ubocznych, parametry wzrostu/FCR.
- Monitoring wybranych parametrów immunologicznych (np. miano przeciwciał, , markery nieswoistej odporności) – próby przekrojowe.
- KPI: redukcja częstości/ciężkości infekcji bakteryjnych $\geq 30\%$ r/r; brak negatywnego wpływu na wzrost/FCR; bezpieczeństwo potwierdzone w 2 cyklach.

Ryzyka i mitigacja:

- Zmienność patogenów → aktualizacja antygenów (rolling update), bank izolatów terenowych.
- Reakcje niepożądane → małe pilotaże, stopniowe skalowanie, farmakowigilacja.
- Kamienie milowe: pilotaże (T+12); rozszerzona walidacja międzyobiektoowa (T+18); gotowość do protokołu rutynowego (T+24).



rys/fot. 11.2 - szczepionki

11.3. Dalsza optymalizacja kriokonserwacji – walidacja „opóźnionej kriokonserwacji”

Cel: zwiększyć elastyczność logistyczną i przewidywalność wyników rozrodu poprzez walidację opóźnionej kriokonserwacji w różnych scenariuszach operacyjnych.

Pytania badawcze:

- Jakie okna czasowe i warunki buforowania pozwalają zachować wysoką ruchliwość post-thaw przy minimalnych stratach jakości?
- Jak stabilne są wyniki między obiektami i sezonami (efekt „operatora”, transport, łańcuch chłodniczy)?

Podejście/metody:

- CASA (analiza ruchliwości plemników) przed/po rozmrożeniu; testy żywotności; standaryzowane protokoły poboru/przechowywania.
- Testy międzyobiektywne (ring-test) z mobilnym lab. IRZiBŻ; audyty SOP; analiza statystyczna różnic.

KPI: utrzymanie MOT post-thaw w zdefiniowanym progu akceptacji; zmienność międzyobiektywa (CV) $\leq$ zdefiniowany próg; brak negatywnego wpływu na przeżywalność/efektywność triploidyzacji.

Ryzyka i mitigacja: degradacja jakości w łańcuchu logistycznym → walidacja alternatywnych pakietów chłodniczych, etykiety wskaźnikowe temperatury, szkolenia.

Kamienie milowe: ring-test (T+9); decyzje operacyjne dot. okien czasowych (T+12); implementacja w skali (T+18).



rys/fot. 11.3 Zespół IRZiBŻ PAN Olsztyn – badanie jakości nasienia po kriokonserwacji

11.4. Analizy jakości mięsa – tekstura, barwa (Lab*), profil lotnych związków oraz wydajność rzeźna

Cel: rozszerzyć i ustandaryzować panel jakościowy produktu, powiązać go z fenotypem i warunkami chowu oraz zoptymalizować wydajność rzeźną i straty przetwórcze.

Pytania badawcze:

- Jak tekstura (TPA), barwa (Lab*), profil lotnych związków (GC-MS/e-nose) i skład lipidów korelują z fenotypem B oraz reżimami chowu?
- Jakie czynniki wpływają na straty filetowe i stabilność barwy po obróbce (wędzenie/MAP)?

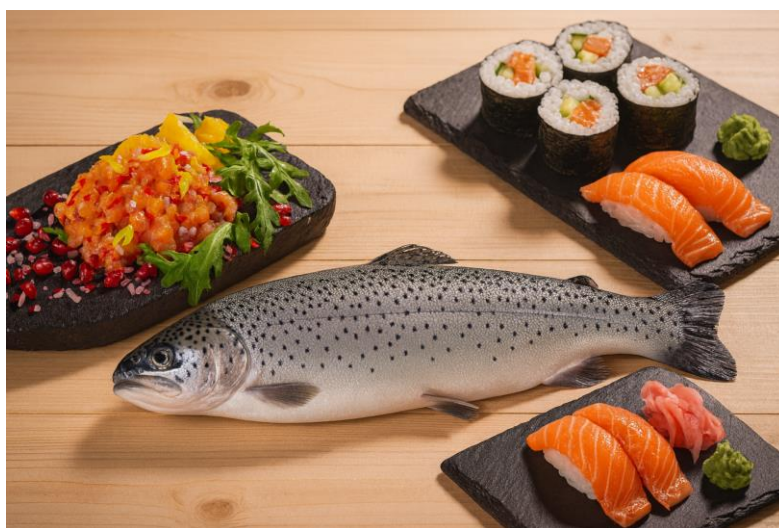
Podejście/metody:

- Ustandaryzowane próby technologiczne (filetowanie, wędzenie), ocena TPA, barwy, GC-MS; włączenie testów konsumenckich (hedonicznych) w małej skali.
- Modele predykcyjne jakości (łącznie dane chowu, fenotyp i wyniki panelu), z weryfikacją na partiach komercyjnych.

KPI: wzrost wydajności rzeźnej o $\geq 1-2$ p.p.; spadek strat przetwórczych o $\geq 10\%$; stabilność barwy po obróbce (odchylenia ΔE w granicach akceptacji); utrzymanie przewagi odżywczej (białko, n-3).

Ryzyka i mitigacja: zmienność surowca sezonowa → projekt blokowy w czasie; rozbieżność oceny instrumentalnej i sensorycznej → kalibracja panelu.

Kamienie milowe: opracowanie panelu i SOP analitycznych (T+6); pierwsze modele predykcji (T+12); walidacja na partiach rynkowych (T+18–24).



rys/fot. 11.4 – Pstrąg wielkopolski – przykłady zastosowań

11.5. Ekonomia i ślad środowiskowy – LCA i benchmark energetyczny vs. pstrąg tęczowy

Cel: obiektywnie ocenić ekonomikę i wpływ środowiskowy Pstrąga Wielkopolskiego w porównaniu ze standardową produkcją tęczaka, identyfikując dzwignie poprawy.

Pytania badawcze:

- Jak kształtują się CAPEX/OPEX, FCR, energochłonność i emisyjność (CO₂e) w porównaniu do tęczaka – per kg żywca i per kg fileta?
- Które interwencje (fenotyp B, szczepienia, optymalizacja kriokonserwacji) mają największy wpływ na ekonomikę i LCA?

Podejście/metody:

- LCA zgodne z ISO 14040/44 (granice: „od ikry do bramy zakładu”), inwentaryzacja strumieni materiałowo-energetycznych, alokacje i scenariusze.
- Model finansowy (cashflow 10-letni): NPV/IRR/PP, wrażliwość ($\pm$ wolumen, ceny pasz/energii), scenariusze jakości.

KPI: oszczędność energii/kosztu per kg fileta vs. tęczak (docelowo ≥ 5 –10%); wskaźniki środowiskowe neutralne lub lepsze; utrzymanie rentowności przy wariantach konserwatywnych.

Ryzyka i mitigacja: niepewność cen energii/pasz $\rightarrow$ scenariusze stresowe; różnice technologiczne między obiektami $\rightarrow$ normalizacja i korekty.

Kamienie milowe: komplet danych bazowych (T+9); wersja 1.0 raportu LCA/finanse (T+12); decyzje wdrożeniowe (T+18).

Priorytetyzacja i zarządzanie portfelem B+R. Proponuje się macierz impact $\times$ feasibility oraz kwartalne przeglądy Steering Committee. W pierwszej kolejności – jednorodność fenotypu B i platforma szczepień; następnie – kriokonserwacja i panel jakości mięsa; równolegle – LCA/ekonomia jako narzędzie decyzyjne.

Zasoby i partnerstwa. Wykorzystanie istniejących mocy (Lider, konsorcjant), laboratoriów (IRZiBŻ, UG), wkład UPP w immunologię; możliwość włączenia partnerów przemysłowych (pasze, dodatki funkcjonalne) i grantów krajowych/UE.

Oczekiwany efekt końcowy (2029+). Stabilna technologia dostarczająca jednorodne partie fenotypu B, z platformą szczepień redukującą incydenty bakteryjne, zoptymalizowaną logistyką kriobankingu, ustandaryzowaną jakością mięsa i zweryfikowaną przewagą kosztowo-środowiskową względem tęczaka.

XII. Podsumowanie

Projekt SALMOCROSS wykazał naukową i produkcyjną wykonalność liniowego podejścia do wytworzenia triploidalnej krzyżówki *O. mykiss* × *S. fontinalis*. Wypracowane rozwiązania – kriobank nasienia z opcją opóźnionego zapłodnienia z wykorzystaniem kriokonserwacji, ramy triploidyzacji, kontrola ploidalności oraz skalowanie badań w warunkach gospodarczych – przełożyły się na wdrożenie produktu handlowego „Pstrąg Wielkopolski” – który stanowi realną alternatywę wobec pstrąga tęczowego – podatnego na dwie choroby wirusowe powodujące ogromne straty.

Jednocześnie zidentyfikowano ścieżkę dalszego rozwoju efektu projektu (produktu): ujednolodzenie fenotypu (forma wysrebrzona) i szczepienia autogeniczne, zabezpieczające krzyżówkę również przed chorobami bakteryjnymi. Pozwoliłoby to na zaoferowanie na rynku odmiany o najwyższej odporności przeciwbakteryjnej, dedykowanej dla obiektów klasycznych opartych na wodach powierzchniowych – na których występuje wysoki poziom ryzyka rozprzestrzeniania się chorób. Jednocześnie nowa odmiana stałaby się produktem gotowym na zapowiadane w najbliższej przyszłości ograniczenie możliwości stosowania antybiotyków w akwakulturze.

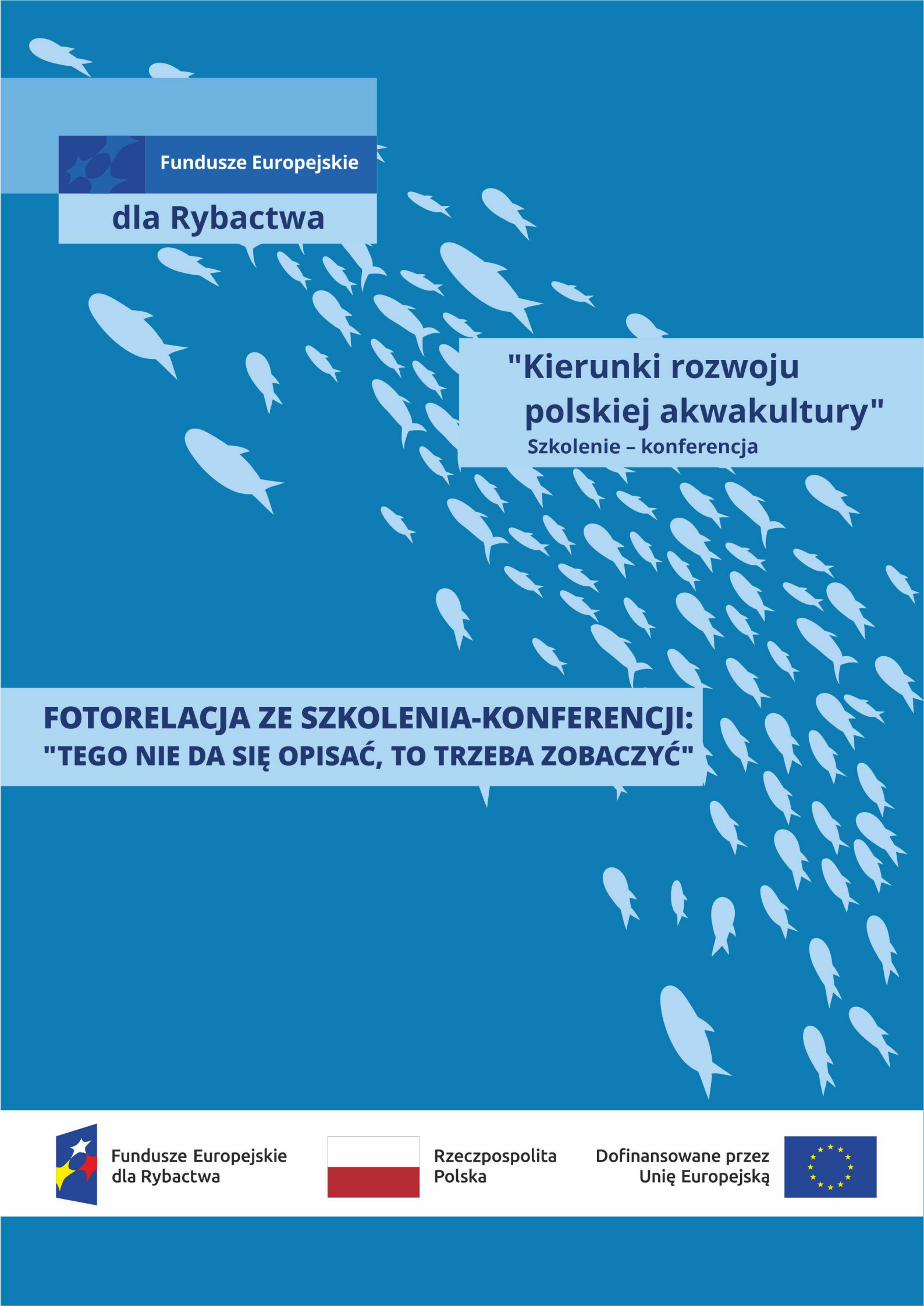
Zaplecze B+R konsorcjum oraz publikacja w Aquaculture wzmacniają trwałość efektów i otwierają drogę do kolejnych, wielośrodkowych projektów aplikacyjnych, a także współpracy o charakterze dydaktycznym.

Aneks – wybrane zestawienia zagregowane (bez parametrów SOP):

- Ruchliwość plemników (CASA) – przykładowo: przechowywanie płynne kilka dni: ~92% → ~88%; po rozmrożeniu (bufor „cryo-later”): ~76% / ~67% / ~59% dla dni 1/4/8.
- Zakresy eksperymentalne triploidyzacji: moment impulsu (np. 320–400 stopniominut), czas trwania (3–5 min), ciśnienie (rzędu 9 500–11 000 psi).
- Liczba chromosomów triploidów: oczekiwane ~100–106; potwierdzone cytogenetycznie i cytometrycznie.
- Skład mięsa (przykłady): białko w filecie – tęczowy ~64,8%, P. Wielkopolski ~69,4%, źródłany/palia ~72,7%; cholesterol w filecie (mg/100 g) – tęczowy ~80, P. Wielkopolski ~68, źródłany/palia ~101.
- Fenotypy w 2.–3. roku: A (ciemny, częste jądra), B (wysrebrzony, zredukowane jajniki; mieszana pleć genetyczna).



Konsorcjum Salmocross – 2024/2025



Fundusze Europejskie

dla Rybactwa

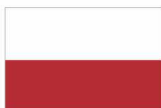
**"Kierunki rozwoju
polskiej akwakultury"**

Szkolenie – konferencja

**FOTORELACJA ZE SZKOLENIA-KONFERENCJI:
"TEGO NIE DA SIĘ OPISAĆ, TO TRZEBA ZOBACZYĆ"**



Fundusze Europejskie
dla Rybactwa



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską





KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA

KIEROWNIK
GASTRONOMII

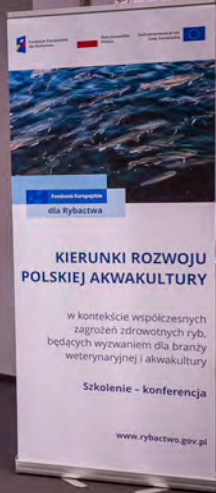


KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA

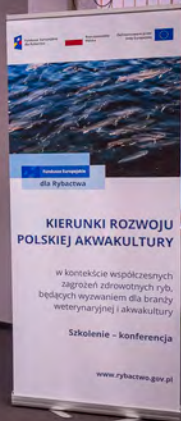


KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA





KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA

KIERUNKI ROZWOJU
POLSKIEJ AKWAKULTURY

w kontekście wszechstronnych
zagrożeń zdrowotnych
będących wyzwaniem dla
weterynaryjnej i żywnościowej

Szkolenie - I



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA

Fundusze Europejskie dla Rybactwa

Kooperacja Polska

Dofinansowanie przez Unię Europejską

Fundusze Europejskie dla Rybactwa

Strategia Europejskie Rybactwa

Kierunkami Strategii Rozwoju

GROMADA 1937

Rybacka

Fundusze Europejskie dla Rybactwa

Kooperacja Polska

Dofinansowanie przez Unię Europejską

Fundusze Europejskie dla Rybactwa

KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY

w kontekście współczesnych zagrożeń zdrowotnych ryb, będących wyzwaniem dla branży weterynaryjnej i akwakultury

Szkolenie - konferencja



SALA KONFERENCYJNA

KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY

w kontekście współczesnych
zagrożeń zdrowotnych ryb,
będących wyzwaniem dla kł...
weterynaryj...

KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE • KONFERENCJA



KIEROWNIK
GASTRONOMII



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA

Zatwierdzenie

FVE

Animal
Health Visits

Systemy wizytacji zdrowia zwierząt
kierunki rozwoju polskiej
akwakultury

KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA





KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA

Fundusze Europejskie
dla Rybactwa

NGR realizuje Lokalną Strategię Rozwoju
w latach 2025-2029

gmin:

ich wdrażania LSR zapewniamy
ne konsultacje oraz szkolenia
towania wniosków o dofinansowanie.
tia projektów, ogłaszamy nabory
smi wniosków do realizacji, aktywizujemy
my i integrujemy lokalną społeczność,
my i rozwijamy obszar NGR.
ny rozwój przedsiębiorczości.

tecka Grupa Rybacka

Fundusze Europejskie
dla Rybactwa

KIERUNKI ROZWOJU
POLSKIEJ AKWAKULTURY

w kontekście współczesnych
zagrożeń zdrowotnych
będących wyzwaniem dla branż
weterynaryjnej i akwakultury

Szkolenie - konferencja









Fundusze Europejskie

Fundusze Europejskie dla Rybactwa

NGR realizuje Lokalną Strategię Rozwoju w latach 2025-2029 na obszarze następujących gmin:










W ramach wdrażania LSR zapewniamy bezpłatne konsultacje oraz szkolenia z przygotowania wniosków o dofinansowanie, rozliczenia projektów, ogłaszamy nabory i wybieramy wnioski do realizacji, aktywizujemy, edukujemy i integrujemy lokalną społeczność, promujemy i rozwijamy obszar NGR, wspieramy rozwój przedsiębiorczości.

Nadnotecka Grupa Rybacka
www.ngr-pila.pl
www.rybactwo.gov.pl










Kierunki rozwoju polskiej akwakultury

W kontekście współczesnych zagrożeń zdrowotnych ryb, będących wyzwaniem dla branży węwntrarynnej i akwakultury

Szkolenie



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



Fundusze dla Rybactwa

NGR realizuje Lokalną Strategię w latach 2022-2029 na obszarze następujących gmin:

W ramach wdrażania LSR zapewniamy bezpłatne konsultacje oraz szkolenia z przygotowania wniosków i dofinansowania projektów, ogłaszamy nabory i wybieramy wnioski do realizacji, aktywnie edukujemy i integrujemy lokalną społeczność i rozwijamy obszar NGR, wspieramy rozwój przedsiębiorczości.

Wykonawca: Grupa Rybacka

www.ngr.gov.pl

www.rybactwo.gov.pl

KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY

w tym: współczesnych wodnych ryb, m. dla branży akwakultury

konferencja

rybactwo.gov.pl

KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA

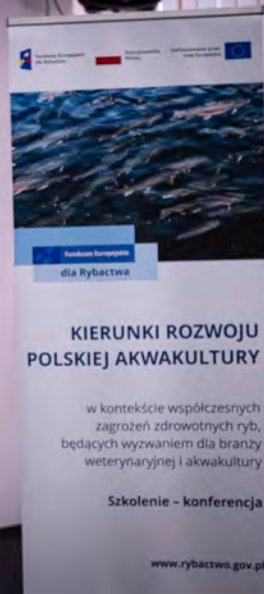


KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA





KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY

w kontekście współczesnych
zagrożeń zdrowotnych ryb,
będących wyzwaniem dla branży
weterynaryjnej i akwakultury

Szkolenie – konferencja

www.rybactwo.gov.pl

KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY

w kontekście współczesnych
zagrożeń środowistwnych ryb,
będących wyzwaniem dla branży
weterynaryjnej i akwakultury



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA

Fundusze Europejskie
Rozwój Regionalny
Odpowiedzialność społeczna
Europejski Fundusz Rybny

Fundusze Europejskie
dla Rybactwa

KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY

w kontekście współczesnych
zagrożeń zdrowotnych ryb,
będących wyzwaniem dla branży
weterynaryjnej i akwakultury

Szkolenie – konferencja

www.rybactwo.gov.pl



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA

KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY

... współczesnych
... zdrowotnych ryb,
... yzwaniem dla branży
... arynej i akwakultury
... enie – konferencja

Fundusze Europejskie dla Rybactwa

NGR realizuje Lokalne
w latach 2025-2029
na obszarze następujących



W ramach wdrażania L

z przysługującymi
realizacji projektów
wdrożeniu wniosków

Fundusze Europejskie
dla Rybactwa

KIERUNKI ROZWOJU AKWAKULTURY

ie współczesnych
zdrowotnych ryb,
waniem dla branży
yjnej i akwakultury

nie – konferencja



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ ANIMACJI KULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA





KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKEJ AKADEMII
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA





KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIEROWNIKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



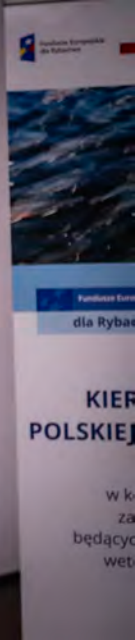
KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA





Ministerstwo Rolnictwa i Rybnictwa
Ministerstwo Klimatu i Środowiska
Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa
Ministerstwo Edukacji i Nauki

**KIERUNKI ROZWOJU
POLSKIEJ AKWAKULTURY**

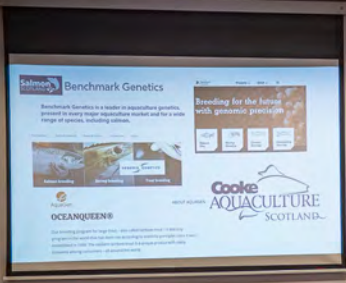
Współczesne
wzrost
będą
we

Współczesnych
drowotnych ryb,
niem dla branży
tej i akwakultury

e - konferencja

ww.rybnactwo.gov.pl

KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA





KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA





Fundusze Europejskie dla Rybactwa

NGR rezerwuatu w latach 2014-2020 na obszarze naturalnego rezerwuatu



W ramach wdrożenia planu gospodarki wodnej

KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
 SZKOLENIE - KONFERENCJA



Fundusze Europejskie

dla Rybactwa

KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY

w kontekście aktualnych zagrożeń dla branży akwakultury

Szkolenie - Konferencja



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA

PSTRĄG WIELKOPOLSKI

Pierwsze roczniki:
tempo wzrostu niejednorodne





PSTRĄG WIELKOPOLSKI



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWARIJSTYKI
SZKOLENIE - KONFERENCJA





KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ ARCHITEKTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA

Czym są projekty B+R?

Projekty badawczo-rozwojowe

- Przewidywane prace badawcze i R+D
- INFORMACJA
- Ustalenie celów i wytyczne dla zespołu
- Projekt wdrożenia
- Realizacja projektu

Projekty badawcze

- Rozwinięcie istniejącego projektu
- Rozwinięcie istniejącego projektu
- Rozwinięcie istniejącego projektu
- Rozwinięcie istniejącego projektu
- Rozwinięcie istniejącego projektu

Pstrąg wielkopolski

Katedra Biologii Morza i Biotechnologii - Wydział Oceanografii i Geografii, Uniwersytetu Gdańskiego

Rola w projekcie - interpretowanie i komunikacja z udziałem społeczeństwa i organizacja wydarzeń w projekcie - udział w realizacji projektu i badaniach naukowych



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA

- 
- Konspekt
- Budowa układu immunologicznego rś
 - Immunoprofilaktyka swoża - rś tym pępi
 - Szczepionki i zasady szczepień
 - Szczepionki - ograniczenia w stosowaniu



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI RÓZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA

dr inż. Marcin Kuciński - Uniwersytet Gdański

Efekt współpracy – pstrąg wielkopolski



♀ Pstrąg tęczyowy
Oncorhynchus mykiss

×



♂ Pstrąg źródlany
(*Salvelinus fontinalis*)



Fenotyp 1 **n=60%**

100% samic

Rozwinięte jądra w drugim roku życia



Fenotyp 1/2 **n=20%**

~50% samic oraz ~50% samiec

Rozwinięte jądra w trzecim roku życia



Fenotyp 2 **n=30%**

Fenotyp szczególnie atrakcyjny



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE • KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE - KONFERENCJA



KIERUNKI ROZWOJU POLSKIEJ AKWAKULTURY
SZKOLENIE – KONFERENCJA



Fundusze Europejskie
dla Rybactwa



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



ISBN 978-83-978975-2-6



9 788397 897526