

Innowacje w tradycyjnej akwakulturze ryb

Przewodnik

**Praca zbiorowa pod redakcją
Jerzego Śliwińskiego**

Warszawa, 2023

Niniejsza pozycja współfinansowana jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Programu Operacyjnego „Rybactwo i Morze” na lata 2014-2020; projekt ” Innowacyjne metody intensyfikacji produkcji ryb w stawach, polegające na optymalizacji wykorzystania istniejącej powierzchni hodowlanej w zastosowaniu nowatorskich rozwiązań technologicznych , umożliwiających chów perspektywicznych gatunków ryb (łososiowatych, drapieźnych, jesiotrowatych) przy jednoczesnym zachowaniu ekologicznych walorów stawów i ekonomiczno-społecznym wzmocnieniu polskiej akwakultury śródlądowej –

Akronim STAWPROPLUS

Umowa o dofinansowanie nr. Nr Umowy – 00001-6521.1-OR0700001/17/20

Umowa o dofinansowanie nr 00001-6521.1-OR0700001/17/20 zawarta w dniu 10.06.2020

CZĘŚĆ 1. Charakterystyka tradycyjnej akwakultury niskointensywnej

Rozdział 1. Uwarunkowania produkcyjne i aspekty środowiskowe akwakultury niskointensywnej

Jerzy Śliwiński

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Samodzielny Zakład Ichtiologii i Biotechnologii w Akwakulturze

Wstęp

Chów i hodowla ryb w stawach jest jednym z działów produkcji organizmów wodnych zwanych akwakulturą. Oficjalna definicja akwakultury to : *Zespół zabiegów oznaczających chów i hodowlę organizmów wodnych (ryb, innych kręgowców, bezkręgowców, glonów i roślin naczyniowych) za pomocą technik opracowanych w celu zwiększenia produkcji owych organizmów powyżej naturalnej zdolności środowiska. Organizmy te muszą pozostawać własnością osoby fizycznej (ew. prawnej), w ciągu całego stadium hodowli lub chowu, do odłowu włącznie.* (UE 2008)

Akwakultura ryb prowadzona jest z wykorzystaniem zróżnicowanych poziomów intensyfikacji. W ogólnym podziale wyróżniamy akwakulturę intensywną oraz akwakulturę ekstensywną. Kluczem podziału jest zastosowanie żywienia jako czynnika intensyfikacji. W systemach, w których nie jest stosowane żywienie a ryby uzyskują przyrosty wyłącznie z pokarmu naturalnego dostępnego w środowisku mówimy o akwakulturze ekstensywnej. Bez dokarmiania ryb paszami produkcja jest niska a jej wielkość zależy od produktywności biologicznej akwenu. Wprowadzenie czynnika żywieniowego dotyczy akwakultur intensywnych. Należy zaznaczyć, że w tym przypadku stopień zastąpienia pokarmu naturalnego paszą jest bardzo zróżnicowany, stąd pojawia się bardziej szczegółowy podział na akwakulturę nisko intensywną, średnio intensywną oraz wysoko intensywną. Akwakultury ryb o charakterze tradycyjnym i niskiej intensyfikacji chowu prowadzone są w stawach ziemnych bez stosowania przepływu. Najbardziej klasycznym przykładem tej technologii jest chów karpia w stawach ziemnych. Ze względu na fakt, że jej tradycje sięgają wieków średnich a gatunkiem podstawowym tej formy akwakultury był karp często stosuje się pojęcie opisowe;

„akwakultura w stawach ziemnych typu karpiego”. W akwakulturze stawowej karpia stopnie intensyfikacji produkcji według Wojdy (2015) przedstawiają się następująco: poziom niskointensywny – gdzie stosunek przyrostu naturalnego do podawanej paszy wynosi od 1:1 do 1:4, a zakres przyrostów waha się od 500–600 kg/ha do 1200–1500 kg/ha. Udział pokarmu naturalnego w dawce pokarmowej karpia jest wysoki i w zależności od żyzności stawu i zagęszczenia obsad wynosi do 50%. Ten poziom intensyfikacji produkcji obejmuje aktualnie ponad 95–98% gospodarstw stawowych Polski; – poziom średniointensywny – gdzie produkcja rybacka stawu wynosi od 1500 do 3000 kg/ha, a ryby dokarmiane są paszami zbożowymi, ale już ze znacznym udziałem granulatów. Udział pokarmu naturalnego w dawce żywieniowej ryb jest nieznaczny (1:5 do 1:10) i wynosi maksymalnie tylko 9–10%. Największe wartości produkcji uzyskiwane są w systemach wysokointensywnych. Przyrost całkowity ryb przekracza w tym wypadku 3000 kg/ha a maksymalny pułap nie jest określony. Stosowane są tu znaczne zagęszczenia ryb i przy minimalnej podaży pokarmu naturalnego, do żywienia stosowane są wyłącznie granulaty tuczowe. Takie intensywne systemy chowu ryb (jesiotrowatych, łososiowatych) w stawach wymagają stosowania rozwiązań technicznych umożliwiających kontrolowanie i utrzymanie pożądaných parametrów środowiska produkcji w warunkach stałego intensywnego przepływu wody. Pozwala to na uzyskiwanie produkcji od kilkunastu do kilkuset kg/m³ objętości wody zbiornika stawowego.

1.1 Staw jako środowisko chowu ryb w akwakulturze niskointensywnej

Definicja pojęcia „staw” może być rozpatrywana z kilku punktów widzenia. W obszarze ekologii, staw opisywany jest jako płytki sztuczny lub naturalny zbiornik wody w którym na całej powierzchni następuje przenikanie promieni słonecznych do dna w ilości wystarczającej do rozwoju makrofitów. Często porównuje się charakter tego typu zbiorników jako tożsamy ze strefą litoralną jezior.

Naturalne stawy powstały w wyniku gromadzenia się wody w zagłębieniach terenu. Geneza tych zbiorników wiązana jest z procesem zaniku jezior, wypływu wód gruntowych czy zatarasowania odpływu niewielkiego ciek. Użytkowanie rybackie opisanych zbiorników jest utrudnione ze względu na brak możliwości okresowego ich opróżniania. Stawy sztuczne to zbiorniki powstałe w wyniku świadomej działalności człowieka polegającej na zatrzymaniu przepływającej wody. Konstrukcja tych zbiorników pozwala na okresowe ich opróżnianie. Przeznaczenie sztucznych stawów może być różne; od celu uzyskania energii wody,

nawadnianiu gruntów rolnych, przez funkcje przeciwpożarowe, turystyczne. Z pewnością najbardziej powszechnym sposobem wykorzystania tych zbiorników jest chów i hodowla ryb. Nie znaczy to że stawy pełnią w tym wypadku rolę jednokierunkową. Ich właściwości powodują, że powszechnie podkreślana jest wielofunkcyjność stawów ziemnych.

Stawy mogą mieć konstrukcję betonową lub ziemną z dnem pokrytym betonem lub innym tworzywem trwałym. Ich powierzchnia jest niewielka a intensywność wymiany wody wysoka co umożliwia znaczną intensyfikację chowu. Z kolei, w przypadku kiedy stawy mają pełnić funkcje naturalnego pastwiska dla ryb, tworzone są konstrukcje ziemne, o znacznych powierzchniach gdzie część lub nawet cały przyrost biomasy ryb uzyskiwany jest z pokarmu naturalnego. Ze względu na fakt, że tego typu budowle wykorzystywane są głównie w akwakulturze karpia stawy noszą nazwę „stawy ziemne typu karpiego”. Pod względem hydrobiologicznym staw karpiowy jest rozwinięciem strefy litoralnej jeziora, najżyźniejszej i najbardziej cennej pod względem przyrodniczym, ale i ekonomicznym. W stawie karpiowym nie występuje w lecie pełna stratyfikacja termiczna, woda jest prześwietlona od powierzchni do dna, zapewniając wzrost roślinności nie tylko przy brzegu, ale również niemal na całym obszarze dna. W rezultacie w stawach tylko sporadycznie obserwowane są deficyty tlenu co sprawia, że stawy tego typu są tak wartościowymi siedliskami (Bieniarz i in. 2003). Każdy staw tego typu składa się kilka podstawowych elementów, do których należy zaliczyć przede wszystkim:

- groble – czyli wał ziemny utrzymujący wodę wewnątrz zbiornika
- dno stawowe – grunt otoczony groblą, służący utrzymaniu wody w stawie a jednocześnie teren żerowania ryb
- budowle wodne – różnego typu urządzenia wykorzystywane do doprowadzania, piętrzenia i odprowadzania wody
- rowy opaskowe – rowy biegnące wzdłuż grobli, zbierające przesiąkającą wodę i odprowadzające ją do odbieralnika

Jak wspomniano, sztuczne zbiorniki stawowe typu karpiego są środowiskiem akwakultury. Ich przydatność do tego typu działalności wynika z szeregu cech. Przede wszystkim z cyklicznego napełniania wodą, co stwarza korzystne warunki do rozwoju zespołów roślin i zwierząt. Stawy ziemne są zbiornikami gdzie następuje ciągła ingerencja hodowcy w celu podnoszenia biologicznej produktywności biocenozy co pozwala uzyskać

większą produkcję ryb. W tradycyjnym chowie ryb w stawach karpionych podstawową rolę odgrywa bowiem pokarm naturalny, czyli organizmy roślinne i zwierzęce naturalnie występujące i namnażające się w stawach, stanowiące pokarm hodowanych ryb. Ilość tego pokarmu, nazywana w pewnym uproszczeniu, wydajnością naturalną stawu, zależna jest od szeregu czynników takich jak: temperatura wody w sezonie, żyzność wody zasilającej stawy, żyzność dna stawowego, gęstość obsady, wiek i gatunek hodowanych ryb, warunków wodno-melioracyjnych i wielu innych. W cykl produkcji pokarmu naturalnego w stawach włączone zostają zarówno substancje biogenne już znajdujące się w stawie jak i dostające się do stawów wraz z dopływającą wodą czy dostarczane przez hodowcę w formie nawozów. W rezultacie obfitość i różnorodność zasobów pokarmowych sprawia, że mogą być one wykorzystane przez różne gatunki ryb jednocześnie.

Właściwe rybackie użytkowanie stawów ziemnych, przez co rozumiemy stosowanie wszelkich zaleceń pozwalających podnosić i w pełni wykorzystywać naturalną produktywność biologiczną środowiska stawowego, pozwala na uzyskiwanie rezultatów w postaci produkcji wielokrotnie większej niż naturalna. Produkcję na tym poziomie uzyskuje się dzięki systematycznym zabiegom, których zasadniczym celem jest wspomaganie mineralizacji nagromadzonych osadów i utrzymanie maksymalnej powierzchni dna stawów jako żerowiska ryb. Są to zabiegi kluczowe, ponieważ tradycyjna forma gospodarki stawowej ze względu na uwarunkowania produkcyjne i statyczne korzystanie z wody powoduje, że możliwości intensyfikacji chowu są ograniczone. Konieczność zapewnienia odpowiedniej ilości pokarmu naturalnego dla stosowanych zagęszczeń obsady ryb sprawia, że powierzchnie stawów typu karpionego są znaczne. W zależności od funkcji, którą w cyklu produkcyjnym spełniają, powierzchnia może wynosić od 0,1ha do kilkuset ha a produkcja ryb może przekraczać 2000 kg z 1 ha powierzchni.

Gospodarowanie wodą

W zależności od lokalizacji i oraz zasobów wodnych zlewni stawy zasilane są wodami opadowymi, gruntowymi np. ze źródeł, z systemów melioracyjnych lub wodami pochodzącymi z cieków (potoków czy rzek). Często wykorzystywane są także źródła wody sezonowo pojawiające się w środowisku naturalnym w dużych ilościach takie jak wody opadowe czy roztopowe. Najkorzystniejszym rozwiązaniem jest zasilanie z cieków, ponieważ w znacznym

zakresie zabezpiecza to potrzeby wodne stawu czy całych obiektów w dłuższym okresie a równocześnie wody płynące niosą często znaczne ilości pożądanych związków chemicznych.

Stawy ziemne budowane są w taki sposób, aby można było do nich grawitacyjnie doprowadzić wodę i ją odprowadzić. Ze względu na lokalizację i charakterystykę techniczną dzielą się na spuszczałne, osuszalne i niespuszczałne. Stawy spuszczałne to takie z których można spuścić zgromadzoną wodę. Dodatkowo, w wielu przypadkach, są to stawy osuszalne, co oznacza, że poziom wód gruntowych w dzień obniża się w nich na tyle (zwykle ok. 30 cm), że można je uprawiać mechanicznie. Stawy niespuszczałne to takie, z których nie można spuścić wody. Przydatność stawów niespuszczałnych do produkcji jest niewielka. W tradycyjnej gospodarce karpiowej najbardziej pożądane są stawy spuszczałne z możliwością osuszenia dna stawowego.

Gospodarka wodna w stawach ziemnych typu karpiowej oparta jest na zatrzymaniu (retencjonowaniu) nie zaś stałego przepływu wody przez stawy poza gospodarstwo. Pozwala to na oszczędne gospodarowanie wodą i zapobiega jej marnotrawieniu. Jedyne stawy, w których stosuje się przepływ wody to magazyny z rybami towarowymi przeznaczonymi do konsumpcji. Przepływ wody stosuje się również w sytuacjach nadzwyczajnych, gdy zagrożony jest dobrostan obsady (np. na skutek przyduchy) lub, gdy jest to zalecenie lekarza weterynarii. W trakcie sezonu produkcyjnego stosuje się jedynie uzupełnianie strat wody wynikających z jej parowania oraz przesiąków przez groble. Ubytek wodny na skutek obu procesów jest jednak znaczny i wynosi nawet 70% objętości zgromadzonej w stawie. W sytuacji niedoboru opadów poszukuje się alternatywnych źródeł wody dla uzupełnienia jej ubytków. W niektórych obiektach, stosuje się obok zasilania grawitacyjnego także pompy. Pompowanie wody ma jednak z reguły charakter jedynie interwencyjny w sytuacjach awaryjnych i w okresie długotrwałej suszy. Ze względu na pogłębiający się niedobór zasobów wody, uzupełnianie jej braków poprzez wykorzystanie pomp prawdopodobnie będzie obserwowane coraz częściej.

Systemy rozprowadzenia wody w gospodarstwie mogą być dwojakie –w pierwszym, niezależnym, woda jest indywidualnie doprowadzana i odprowadzana z każdego stawu. System taki jest dużo bardziej kosztowny w budowie i utrzymaniu, jednak daje hodowcy pewną swobodę działania w procesie chowu i hodowli, jak również zabezpiecza przed roznoszeniem wraz z wodą chorób ze stawu do stawu. Drugim jest system paciorkowy (kaskadowy) w którym woda przepływa ze stawu położonego wyżej do stawu położonego niżej. W niektórych

obiektach można spotkać rozwiązania łączące oba opisane wyżej systemy. System zasilania stawów karpiowych wodą uwarunkowany jest przez szereg czynników takich jak ich położenie, dostępna powierzchnia terenu i ilość dyspozycyjnej wody.

Kształt stawu nie ma praktycznie większego znaczenia w produkcji, natomiast ważna jest jego głębokość. Obecnie zaleca się budowę zbiorników o średniej głębokości około 1,5-2,0 m, cechujących się większą stabilnością termiczną, co sprzyja przyrostom ryb. Głębsze stawy umożliwiają jednocześnie retencjonowanie większej ilości wody. Jednakże wiele gospodarstw stawowych, szczególnie tych starszych, nadal dysponuje dość płytkimi stawami, o średniej głębokości w granicach 0,7 – 0,8m.

Na powierzchnię każdego stawu składa się obszar zajęty przez wodę oraz powierzchnia niezbędnych elementów infrastruktury hydrotechnicznej. Ponieważ stawy z reguły budowane są w skupiskach (popularnie nazywanych kompleksami stawowymi), oprócz powierzchni zajętych przez wodę, infrastrukturę gospodarstw tworzą także inne elementy, takie jak drogi dojazdowe, pomieszczenia zaplecza rybackiego, różnego typu magazyny, „płuczki” dla ryb i inne. Trudno jest określić jednoznacznie minimalną powierzchnię jaką powinno zajmować gospodarstwo stawowe. Tradycyjnie były to obiekty duże lub nawet bardzo duże, o powierzchni liczonej nawet w tysiącach hektarów. Wskazane jest, aby gospodarstwo posiadało co najmniej kilka stawów o zróżnicowanej powierzchni, tak więc minimalną powierzchnię tradycyjnego gospodarstwa stawowego należy według Wojdy (2015) określić na 5-10ha. Ponieważ elementy infrastruktury gospodarstwa zajmują czasem znaczny obszar, dla każdego obiektu stawowego uwzględnia się trzy zasadnicze rodzaje powierzchni:

- powierzchnia użytkowa stawów – inaczej powierzchnia lustra wody (tzw. średniego zalewu), ustalana z reguły według stanu w połowie lipca
- powierzchnia ogroblowana – obejmująca cały teren stawów, łącznie z groblami i obrzeżami z systemem rowów oraz budowlami położonymi bezpośrednio przy stawach
- powierzchnia ewidencyjna (całkowita powierzchnia gospodarstwa) rozumiana jako sumaryczna powierzchnia ogroblowana oraz tereny przyległe do stawów określone pomiarami geodezyjnymi.

1.2. Zagadnienia pozaprodukcyjne w tradycyjnych systemach akwakultury niskointensywnej

Walory produkcyjne gospodarki stawowej polegają przede wszystkim na uzyskiwaniu szeregu gatunków ryb o uznanych walorach konsumpcyjnych i zdrowotnych. Dodatkowo, w środowiskach stawowych produkowane są znaczne ilości materiału zarybieniowego wysokiej wartości biologicznej, przeznaczonego dla rybackich czy wędkarskich użytkowników wód oraz dla podmiotów prowadzących programy restytucji cennych przyrodniczo gatunków zagrożonych.

Tradycyjne formy akwakultury w stawach ziemnych oparte na zrównoważonym korzystaniu z zasobów środowiskowych pozwalają także zidentyfikować dodatkowe korzyści z prowadzenia gospodarki rybackiej na obszarach stawów i w ich bezpośrednim otoczeniu. Korzyści te dotyczą szeregu obszarów w tym: ochrony i kształtowania środowiska przyrodniczego, gospodarki wodnej, klimatu, rolnictwa, turystyki, rekreacji czy edukacji. Te dodatkowe pożytki, określane są mianem pozaprodukcyjnych walorów gospodarki stawowej. W ostatnich latach są one dostrzegane jako wartość szczególnie istotna i podejmowane są próby ich wyceny. Często uznaje się, że wartość walorów pozaprodukcyjnych akwakultury tradycyjnej jest większa niż korzyści wynikające z produkcji. Jednak należy podkreślić, że oba obszary są nierozzerwalnie powiązane i trzeba je traktować jako całość.

Retencja wody

Najistotniejszym walorem pozaprodukcyjnym tradycyjnej gospodarki karpiowej jest bez wątpienia jej funkcja retencyjna. Stawy rybne typu karpiowego położone są głównie w tych regionach naszego kraju, gdzie liczba i powierzchnia naturalnych zbiorników wodnych jest znikoma. Zatem stawy są tam elementem retencji wód. Woda gromadzona jest w stawach w okresie od jesieni do wiosny, gdy na terenach zlewni występuje jej obfitość. W ujęciu lokalnym, w okresie silnych opadów stawy rybne spełniają również funkcje przeciwpowodziowe, przechwytyjąc nadmiar wody pojawiającej się w tym czasie w ciekach. Możliwości retencyjne stawów są znaczne i szacowane nawet na ok. 600 - 700 mln m³. Faktycznie są one znacznie większe, ze względu na chłonność dna stawowego i terenów przyległych, co daje sumaryczną objętość rzędu 900 mln m³. Poza tym ubytki powodowane parowaniem i przesiąkami sprawiają, że około 60% kubatury stawu ulega wymianie w ciągu roku, czyli sumaryczna ilość wody, jaka

w ciągu jednego sezonu gromadzona jest w rejonie obiektów stawowych może być szacowana nawet na około 1,5 mld m³ (Cieśla 2013). Jest to trzykrotnie więcej, niż pojemność zbiornika zaporowego Solina i dwa razy tyle co objętość jeziora Śniardwy. Oprócz liczb obrazujących potencjał retencyjny stawów, równie ważne jest to, że są to budowle rozproszone na znacznym obszarze kraju, stając się istotnym elementem systemu małej retencji i za takie właśnie powinny być uznawane. Warto w tym momencie zaznaczyć że koszty utrzymania sprawności technicznej infrastruktury stawów a tym samym ich zdolności retencyjnych ponoszą z mocy prawa ich użytkownicy.

Tradycyjne stawy typu karpiego mogą być zasilane z niewielkich lub nawet okresowych źródeł wody, nie tylko z rzek. Wody roztopowe, wody powodziowe, jak również ze źródeł o bardzo małej wydajności są wystarczające, aby w ciągu kilku miesięcy umożliwić napełnienie wielu hektarów stawów. Misy stawów ziemnych jak również rowy, którymi woda jest do stawów doprowadzana i odprowadzana nie są szczelne, przez co woda w sposób ciągły przesiąka do gruntu sąsiadującego ze stawami, jak również do cieków, na którym stawy są zlokalizowane. Tym samym obecność stawów w zlewni stabilizuje przepływy w rzekach, co jest szczególnie zauważalne w okresie suszy i deficytów opadów (Drabiński i in. 2010).

Poprawa jakości wód powierzchniowych

Gospodarka wodna, polegająca na wielomiesięcznym jej retencjonowaniu w zbiorniku zbudowanym z naturalnego substratu i o stosunkowo niewielkiej głębokości powoduje, że staw karpioły jest środowiskiem w którym zachodzą procesy włączania substancji biogenych w łańcuch naturalnych procesów produkcji. Badania wykazały, że 1ha stawu karpiego retencjonuje rocznie 3,8-8,4kg czystego fosforu, 96,5 – 559,8 kg czystego azotu oraz 1000-1600kg zawiesiny a dopiero przy produkcji karpia przekraczającej 4000-5000 kg/ha, czyli wielokrotnie krotnie większej niż obecnie szacowana średnia krajowa, może dochodzić do niepełnej retencji biogenów. Szacunki wskazują, że na powierzchni użytkowej stawów karpiołych w naszym kraju wynoszącej około 550000ha, przechwytywane jest rocznie 156000kg czystego fosforu, 294000kg czystego azotu oraz tysięcy ton zawiesiny (Wojda, Zygmunt, 2012).

Ochrona środowiska, kształtowanie siedlisk i wspieranie różnorodności biologicznej

Stawy możemy znaleźć na terenach nizinnych, wyżynnych, podgórskich, wśród pól uprawnych, lasów, łąk, a nawet w bezpośrednim sąsiedztwie miast. W każdym z tych przypadków zbiorniki wodne stają się niezwykle atrakcyjnym siedliskiem przyrodniczym. Stawy zwiększają różnorodność biologiczną środowiska danego terenu. Kompleksy stawowe składają się ze zbiorników różniących się powierzchnią, głębokością, czasem i okresem użytkowania lub ugorowania. Hodowcy prowadzą na tych terenach stałe, systematyczne działania, związane z chowem ryb i w ten sposób zapewniają unikalne walory środowiskowe preferowane przez określone zespoły roślin i zwierząt. W efekcie, liczne kompleksy stawowe w kraju stały się integralną częścią chronionych obszarów o szczególnie cennych wartościach przyrodniczych, szczególnie w rejonach gdzie brak jest naturalnych siedlisk na skutek niekorzystnych zmian w przyrodzie. Przykład ptaków jest tutaj znamieny. Liczba gatunków występujących na stawach pozostaje w ścisłej zależności z powierzchnią kompleksu stawowego. Bardzo duże gospodarstwa, o łącznych powierzchniach zbiorników ponad 500ha, różniących się pod względem głębokości i wielkości charakteryzują się znacznie większą liczebnością występujących tam gatunków. Niestety, występowanie ptaków na stawach ma poważne konsekwencje dla hodowców karpia w postaci strat powstających na skutek wyjadania paszy przez ptaki reprezentujące grupę fitofagów (np. łabędzia niemego i krzykliwego, kaczkę krzyżówkę, łyskę czy głowienkę) oraz zwiększonej śmiertelności ryb wyjadanych przez ptaki reprezentujące grupę ichtiofagów (np. kormorana czarnego, czaplę siwą czy białą, mewę oraz perkoza dwuczubego). Jednak należy uznać, że fakt prowadzenia chowu ryb w stawach karpiowych metodą tradycyjną jest gwarancją ochrony i zachowania około 1/3 awifauny naszego kraju. Jak podaje Bukacińska i in. (1995) na 59 kompleksach stawowych w Polsce rejestrowano średnio około 130 gatunków ptaków.

Mikroklimat i gospodarka wodna terenów sąsiadujących ze stawami

Stawy rybne wywierają również pozytywny wpływ na uwarunkowania klimatyczne w ich bezpośrednim sąsiedztwie. Znaczne parowanie wody sprzyja generowaniu lokalnego mikroklimatu, charakteryzującego się między innymi obniżaniem temperatur maksymalnych i podwyższaniem temperatur minimalnych. Na obszarach, gdzie znajdują się kompleksy stawów, stwierdzono większą wilgotność powietrza i zatrzymywanie tej wilgotności bliżej ziemi i w bezpośrednim sąsiedztwie stawów. Na skutek obecności dużych połąci otwartej wody oraz różnic temperatury pomiędzy dniem i nocą, para wodna nie unosi się do wyższych warstw

atmosfery i nie migruje, ale jest zatrzymywana. Następuje również stabilizacja wód gruntowych na skutek podsiąkania i infiltracji wody ze stawów oraz z rowów doprowadzających i odprowadzających wodę ze stawów. Ma to zdecydowanie korzystny wpływ na produkcję rolniczą na obszarach znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie stawów.

Turystyka i edukacja przyrodnicza na obszarach stawów karpionych

Lista korzyści poza rybackich związanych z funkcjonowaniem obiektów stawowych byłaby niepełna gdyby nie wymienić ich zalet turystycznych i edukacyjnych. Na terenie wielu gospodarstw stawowych funkcjonują ścieżki edukacyjno-przyrodnicze oraz lokalne centra propagujące zasady ekologii. Odwiedzanie unikatowych obszarów stawowych, których historia sięga wielokrotnie kilkuset lat to okazja do wzbogacenia wiedzy przyrodniczej i historycznej o danym regionie.

Środowiskowe i produkcyjne konsekwencje działalności rybackiej w obiektach stawowych

Ukształtowane zbiorowiska fauny i flory na obszarach stawów ziemnych wykazują wysoką wrażliwość na zmiany sposobu ich użytkowania. Zawieszenie na dłuższy czas bądź zaniechanie czynności związanych z chowem ryb powoduje, że w obrębie mis stawowych w szybkim tempie następują procesy degradacji, która może doprowadzić do lądowania nieużytkowanego obszaru i całkowitego wyłączenia z produkcji rybackiej. Zjawisko to można odwrócić jednak jest to działanie kosztowne. Jeżeli zaniechanie użytkowania ma charakter długotrwały to z reguły jest to równoważne z utratą walorów środowiskowych i innych. Przykładowo, stopniowe zarastanie twardą roślinnością naczyniową a w konsekwencji wypływanie stawów, powoduje zanikanie cennych siedlisk oraz gatunków objętych ochroną. Należy zaznaczyć, że prace utrzymaniowe pozwalające zachować sprawność produkcyjną obiektów stawowych stanowią jednocześnie normalną praktykę hodowlaną w gospodarstwie karpionym. Zapewniają utrzymanie naturalnej produktywności stawów a co za tym idzie satysfakcjonującej produkcji, tworząc jednocześnie warunki do bytowania cennych zespołów roślin i zwierząt o specyficznych wymaganiach siedliskowych.

Unikatowa właściwość chowu ryb w stawach ziemnych typu karpionego jako łączących funkcje produkcyjną i pozaprodukcyjną ustaloną doświadczeniami wielu stuleci jest niewątpliwie przykładem zrównoważonego wykorzystania zasobów przyrodniczych w produkcji żywności. Zrozumiałe jest, że zabiegi prowadzone przez hodowców w kierunku

uzyskania wysokiej produktywności biologicznej muszą uwzględniać konieczność zachowania dobrego stanu środowiska. W ostatnich latach szczególnego znaczenia nabrały zagadnienia ograniczenia negatywnego wpływu akwakultury na środowisko naturalne w tym co oczywiste stanu ekosystemów wód jako źródła zasobów z których korzystają ośrodki akwakultury zarówno typu karpiego jak i opierających produkcje o systemy przepływowe. Sformułowano parametry jakimi ma charakteryzować się woda oddawana do środowiska po jej wykorzystaniu do celów produkcyjnych. Odmienne traktuje się gospodarke stawową typu karpiego gdzie podstawowym ograniczeniem jest wartość średnich przyrostów uzyskiwanych w stawach. Jeżeli nie przekracza poziomu 1500 kg to oznacza że obiekt nie wpływa negatywnie na środowisko i nie podlega konieczności uiszczania opłat za zanieczyszczanie środowiska. W przypadku systemów akwakultury intensywnej ocena wpływu opiera się na określeniu wartości kilku wybranych parametrów wody odpływającej z obiektu chowu i hodowli ryb, których wartość nie może być przekroczona. Poszanowanie walorów przyrodniczych nie tylko nie zagrażają biologicznej różnorodności siedlisk stawowych ale wręcz ją wzmacniają. Pozwalają bowiem zachować typowe dla stawów ziemnych bogactwo zespołów roślin i zwierząt wynikającą z obfitości biogenów, zróżnicowania siedlisk, specyficznym ukształtowanym cyklem napełniania i opróżniania mis stawowych preferowanym przez określone grupy organizmów.

Literatura

Bukacińska M., Bukaciński D., Cygan, J.P., Dobrowolski K.A. 1995. Przyrodniczo-ekonomiczna waloryzacja stawów rybnych w Polsce. The World Conservation Union (Fundacja IUCN Poland), K.A. Dobrowolski (red.)Warszawa, 126 s.

Cieśla M.(2013).Wielofunkcyjna i zintegrowana rola stawowej gospodarki karpiovej. [w:]. A. Lirski, J. Seremak-Bulge, J. Śliwiński, M. Cieśla. (red.). Strategia Karp 2020 Wyd. Szostakdruk Staszów, s. 236 – 265.

Drabiński A., Jawecki B., Tokarczyk-Dorociak K.(2010).Rola stawów rybnych typu karpiego w gospodarce wodnej zlewni rzek. [w:] M. Cieśla M., J. Śliwiński (red.).Wielofunkcyjność gospodarki stawowej w Polsce. Perspektywy rozwoju. Wydawnictwo „Wieś Jutra”, Warszawa, s. 36 – 41.

Lirski A., Śliwiński J.(2019).Od 1918 do 2018 roku w krajowym karpiarstwie, czyli gdzie jesteśmy po stu latach ? [w :] M. Kowalska – Górska (red.).Karp, jaka przyszłość ? Wyd. Polskie Towarzystwo Rybackie, s. 5 -16.

UE (2008). Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 762/2008 z dnia 9 lipca 2008 r. w sprawie przekazywania przez państwa członkowskie statystyk w dziedzinie akwakultury.

Wojda R.(2015).Chów i hodowla karpia. Wydawnictwo IRS Olsztyn.

Wojda R., Zygmunt G.(2012).Wpływ stawów karpowych na jakość, retencję i bilans wodny zlewni. Kom. Ryb. 3, s. 1 – 8.

Rozdział 2. Produkcja ryb w tradycyjnych systemach niskointensywnych

Jerzy Śliwiński

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Samodzielny Zakład Ichtiologii i Biotechnologii w Akwakulturze

Ogólna powierzchnia gospodarstw stawowych typu karpowego w Polsce szacowana jest na około 63 000ha, pow. ewidencyjnej z czego użytkowanych jest ok. 53,8 tys. ha (Lirski, Myszkowski 2021).W większości gospodarstw podstawowym gatunkiem, decydującym o wyniku finansowym i kondycji ekonomicznej nadal pozostaje karp, niezmiennie produkowany

w ścisłym powiązaniu z naturalną produktywnością stawów (Guziur i in. 2003, Wojda 2015). Oprócz karpia jako tzw. gatunki dodatkowe chowem objętych jest w warunkach stawów ziemnych blisko 20 gatunków ryb z dominującym udziałem karpiowatych.

2.1. Produkcja karpia

Cechy gatunkowe karpia spowodowały, że jego produkcja rozwinęła się na terenie kontynentu europejskiego już w średniowieczu i nadal odgrywa dominującą rolę w tradycyjnej akwakulturze stawowej. Cechami, o których mowa to:

- znaczny potencjał wzrostowy w optymalnych warunkach pokarmowych i termicznych, szacunkowo, potencjalne przyrosty masy ciała karpia w kolejnych latach wychowu wynoszą: w pierwszym roku 600 g w drugim 1500 – 1800g a w trzecim 2300g – 2700g
- dobre wykorzystanie pasz pochodzenia roślinnego (np. zboża)
- optymalna temperatura dla wzrostu w zakresie 20 – 28 °C przy jednocześnie szerokim spectrum tolerancji termicznej
- odporność na niską zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie
- stosunkowo późne dojrzewanie płciowe (samce 3 lata a samice 4 lata)
- odporność na manipulacje - odłowy, sortowanie, transport

W ostatnim dziesięcioleciu, jak podaje Lirski (2023) roczna produkcja karpia przeznaczonego do konsumpcji w kraju oscyluje w zakresie 17 – 21,3 tys. ton (tabela 1), co stawia Polskę na pierwszym miejscu w Europie.

Tabela 1. Produkcja karpia konsumpcyjnego w Polsce w latach 2013 – 2022.

Rok	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Produkcja (tys. ton)	18,8	20,3	17,2	18,6	18,3	20,8	21,3	21,2	17,4	17,0

Technologia chowu karpia w stawach ziemnych

Chów karpia w stawach ogólnie można określić mianem niskointensywnego ze względu na znaczny udział pokarmu naturalnego w uzyskiwanych przyrostach. Charakterystyczną cechą tradycyjnej metody chowu ryb w stawach karpiovych jest jej etapowość. Ogólnie polega ona na systematycznym odławianiu i przenoszeniu rosnących karpia w coraz mniejszym zagęszczeniu na kolejne żerowiska, czyli nowe stawy. Dzięki temu hodowca posiada pełną kontrolę nad przebiegiem produkcji, może regulować gęstość obsady oraz zapewnić utrzymanie stanu technicznego i hodowlanego infrastruktury stawowej.

W tradycyjnych chowie produkcja od momentu wylęgu do uzyskania karpia konsumpcyjnych trwa 2 lub 3 sezony wegetacyjne, tj. od maja pierwszego roku do października drugiego lub trzeciego roku, czyli odpowiednio 1,5 lub 2,5 roku. Sporadycznie stosowany jest obecnie także cykl czteroletni. Jeżeli w jednym stawie obsadzane są ryby tego samego rocznika to wówczas mówimy o wychowie klasowym. Jeżeli natomiast w jednym stawie obsadzane są ryby różnych roczników to wówczas chów taki nazywa się mieszanym. W przypadku gdy obsadę stanowią ryby tylko jednego gatunku to jest to obsada jednogatunkowa (monokulturowa), jeżeli natomiast w jednym stawie obsadzone są różne gatunki ryb to jest to obsada wielogatunkowa (polikulturowa). Można mówić o obsadach klasowych jedno- i wielogatunkowych oraz o obsadach mieszanych jedno- i wielogatunkowych.

Cykl produkcji, zwany też obrotem towarowym lub obrotem hodowlanym, może być pełny lub niepełny. Pełny cykl produkcyjny polega na chowie karpia towarowych począwszy od uzyskania wylęgu. W pełnym cyklu produkcyjnym wyróżnia się następujące kategorie wiekowe karpia:

- ikra – oznaczana symbolem K_0
- wylęg – K_A
- narybek letni (tzw. wycier, lipcówka) – K_B
- narybek jesienny (lub wiosenny - po przezimowaniu) – K_1
- kroczek (dwuletni materiał zarybieniowy w cyklu trzyletnim) – K_2
- lekki karp towarowy (karpie konsumpcyjne uzyskiwane w cyklu dwuletnim tzw. lekka handlówka) – K_2

- ciężki karp towarowy (karpie konsumpcyjne uzyskiwane w cyklu trzyletnim tzw. ciężka handlówka) – K₃

Zasady klasycznego systemu chowu karpia

Tradycyjny system chowu ryb oparty jest o tzw. metodę Dubisza. Jej charakterystyczną cechą jest dwu lub trzykrotne przesadzanie ryb w pierwszym roku chowu. W obiektach pracujących w oparciu o system „dubiszowski” wyróżnia się następujące kategorie stawów:

- tarliska wraz z ogrzewalnikiem
- przesadki I
- przesadki II
- zimochowy narybkowe
- stawy towarowe
- stawy-magazyny rybne
- stawy dla tarlaków i selektów karpia,
- stawy pomocnicze (manipulacyjne) i kwarantannowe

W przypadku prowadzenia chowu w systemie trzyletnim dodatkowo użytkowane są :

- stawy kroczkowe
- zimochowy kroczkowe

Należy zaznaczyć że przedstawione powyżej kategorie stawów spotykamy w obiektach prowadzących chów karpia w tzw. pełnym obrocie. W przypadku obrotu niepełnego zarówno w chowie karpia jak i innych gatunków ryb wykorzystywane są tylko niektóre z wymienionych wyżej stawów a często również ich pierwotne przeznaczenie jest zmieniane decyzją hodowców.

Oto krótka charakterystyka stawów wykorzystywanych w opisywanym systemie.

Tarliska z ogrzewalnikiem (czyli stawem towarzyszącym tarliskom w którym woda powinna uzyskać temperaturę nieco wyższą niż w płynąca doprowadzalnikiem) to z reguły kilka stawów służących do przeprowadzania naturalnego kontrolowanego rozrodu karpia. Tarliska to małe stawy, o powierzchni kilkuset metrów kwadratowych. Użytkowane są zaledwie 2 - 4 tygodnie w roku (maj i czerwiec). Obecnie, wiele gospodarstw karpowych korzysta z wylęgu produkowanego w wylęgarniach, przy czym zakup wylęgu z wylęgarni nie umniejsza tradycyjnego charakteru produkcji.

Przesadki I to stawy służące do produkcji letniego narybku, zwanego też lipcówką lub (dawniej) wycierem. Obsadzone są wylęgiem z tarlisk lub z wylęgarni. Ich powierzchnia (przeciętnie 1-2 ha) stanowi około 5% powierzchni stawów gospodarstwa prowadzącego pełny cykl produkcyjny. Na przesadki I z reguły przeznaczają się najlepsze pod względem technicznym i najżyźniejsze stawy, gdyż cały przyrost ryb uzyskiwany jest tylko dzięki pokarmowi naturalnemu. Karpie przebywają na nich przez 4 – 5 (6) tygodni w roku w okresie maj – lipiec. Odławiane z nich ryby nazywamy narybkiem letnim lub potocznie „lipcówką”. Liczebność obsady wylęgu na przesadkach I może być bardzo różna i wahać się od 50 tys. szt./ha do ponad 300 tys. szt./ha. Ponieważ okres żerowania karpia na przesadkach pierwszych jest stosunkowo krótki, niska jest ich wydajność rybacka, wynosząca od około 100 kg/ha do 300- 400kg/ha.

Kolejna kategoria stawów; przesadki II służą do wychowu narybku jesiennego o masie kilkudziesięciu g/szt. z obsad narybkiem letnim. Udział przesadek II w ogólnej powierzchni gospodarstwa wynosi około 15 – 20%. W przesadkach II karpie przebywają od chwili przeniesienia z przesadek I aż do jesieni. Odłów tych stawów następuje z reguły pomiędzy 15 października a 15 listopada. Są to stawy o powierzchni kilku do kilkunastu ha. Wielkość obsady może wahać się od 5-8 tys. szt./ha aż do 35 000 szt./ha, zaś produkcja od 300 kg/ha do ponad 1 500 kg/ha.

Zimochowy narybkowe są to stawy przeznaczone do przetrzymania przez okres zimy wyhodowanego narybku jesiennego. Obsadzone są w październiku lub listopadzie, zaś odławiane w marcu lub kwietniu następnego roku. Ze względu na niskie temperatury wody oraz znaczne zagęszczenie obsady, w zimochowach następuje z reguły ubytek zarówno w sztukach jak i masy jednostkowej narybku, szacowany na 5 - 10%. Powierzchnia zimochowów narybkowych z reguły stanowi 2 - 4% całego gospodarstwa.

Stawy kroczkowe są to stawy o powierzchni od kilku do kilkudziesięciu ha służące do wychowu dwuletniego materiału zarybieniowego, tzw. „kroczków” o masie jednostkowej 250 – 300 g/ szt. Stawy kroczkowe obsadzone są do 20 kwietnia (na północy kraju nawet do połowy maja), zaś odławiane jesienią. Udział stawów kroczkowych w ogólnej powierzchni gospodarstwa wynosi około 15-20%. Gęstość obsady wynosi od 2,5 – 3 tys. szt./ha aż do ponad 15 000szt./ha, zaś produkcja od około 400 kg/ha nawet do ponad 2500 kg/ha. Zimochowy kroczkowe to stawy o cechach takich jak zimochowy narybkowe, tyle, że przeznaczone do zimowania kroczków karpia.

Stawy towarowe służą produkcji karpia przeznaczonych do konsumpcji. Mogą być obsadzone tzw. ciężkim narybkiem, o masie jednostkowej ponad 70-80 g/szt. (cykl dwuletni) w zagęszczeniu do 1000 szt./ha lub kroczkami (cykl trzyletni) w obsadzie ok. 1500 szt./ha. Podobnie jak stawy kroczkowe stawy towarowe powinny być one napełnione wodą na około miesiąc przed zarybieniem, które nie powinno nastąpić później niż do 20 kwietnia. Odłowy stawów towarowych przeprowadza się z reguły pomiędzy 15 września a 15 października. Stawy służące produkcji karpia handlowych z reguły są największymi stawami w gospodarstwie (nawet kilkaset ha) i mają największy udział w strukturze jego powierzchni. W gospodarstwach o dwuletnim obrocie stanowią 50 - 75% powierzchni, zaś w gospodarstwach o trzyletnim obrocie około 50-60%. W cyklu dwuletnim odławiane karpie konsumpcyjne osiągają masę jednostkową nieco powyżej 1000g/szt. W cyklu trzyletnim uzyskuje się ryby o masie jednostkowej znacznie ponad 1000 g/szt. Wielkość przyrostów, które ryby uzyskują w wyniku spożywania pasz, waha się od około 500 kg/ha do 2000-3000 kg/ha i więcej. Uzyskiwanie przyrostów ryb ponad 3000 kg/ha, obok wspomaganie technicznego jak np. aeracja i skarmiania pasz granulowanych dedykowanych karpom, wymaga stosowania przepływu wody przez staw.

Ostatnią kategorią są magazyny karpiove, służące do magazynowania karpia (lub innych gatunków ryb) przeznaczonych do konsumpcji. Są to jedyne stawy, w których stosuje się stały przepływ wody ze względu na duże zagęszczenie ryb (100-300 kg/m³ wody). Powierzchnia magazynu z reguły nie przekracza kilkuset metrów kwadratowych, zaś ich udział w powierzchni gospodarstwa reguły wynosi 0,5-1,0%.

Oprócz chowu według klasycznej metody Dubisza w gospodarstwach stawowych stosuje się jego modyfikacje, z reguły polegające na łączeniu ze sobą poszczególnych etapów wychowu w cykle tzw. jednosezonowe lub dwusezonowe (Wojda, 2015). W przypadku wychowu narybku może to być wychów z pominięciem odłowu narybku letniego. Staw zarybiany jest wylęgiem w ilości około 20 – 30 tys. szt./ha i odławiany dopiero jesienią, czyli spełnia jednocześnie funkcję przesadki I i II. W niektórych gospodarstwach wychów taki przedłużany jest aż do wiosny kolejnego roku, wówczas staw taki pełni jeszcze dodatkowo funkcję zimochowu narybkowego. Modyfikacją takiej metody zimowania narybku jest metoda z a t o r s k a, polegająca na opóźnionym odłowu narybku z przesadki II, praktycznie już na początku lata (maj-czerwiec). Inną modyfikacją jest stosowanie tzw. obsad dwusezonowych w przypadku wychowu kroczków. Staw obsadzany jest wylęgiem w ilości około 10– 20 tys.

szt./ha, i ryby przebywają w nim przez okres dwóch sezonów wegetacyjnych oraz jeden zimowy. Sporadycznie, w metodzie tej stosuje się drugie zimowanie wyprodukowanych ryb. W zakresie zimowania, oprócz wymienionych już modyfikacji, stosuje się w niektórych gospodarstwach jesienne obsadzanie stawów towarowych narybkiem lub kroczkami. Metoda ta stosowana jest głównie w gospodarstwach cierpiących na deficyty wody, gdzie do napełniania stawów towarowych lub kroczkowych przystępuje się bezpośrednio po ich odłowieniu. Często stawy takie funkcjonują w systemie paciorkowym. W przypadku stawów towarowych w niektórych gospodarstwach stosuje się produkcję karpia towarowych odławianych w lipcu, czasami jest to koniec czerwca lub początek sierpnia. Tego typu metodę produkcji karpia handlowych stosuje się w stawach, w których nie jest możliwe zapewnienie odpowiednich warunków chowu przez cały sezon odrostowy np. na skutek deficytów wody lub zbyt małej głębokości zbiorników. Takie rozwiązanie daje możliwości uzyskania korzystnych cen hurtowych.

2.2. Ogólne zasady chowu gatunków dodatkowych w akwakulturze niskointensywnej

W związku z trudnościami zbytu karpia oraz sytuacją epizootyczną w ostatnich latach wzrosło zainteresowanie produkcją innych gatunków, takich jak: amur biały, tołpyga pstra, lin, karaś, sandacz, sum europejski, szczupak, czy jesiotry (Lirski, Śliwiński 2019). Wielkość produkcji, wybór gatunków, dobór sortymentu, zależne są głównie od warunków produkcji w danym obiekcie.

Wybór gatunku i metod jego wychowu dla danej grupy wiekowej zależy od cech biologicznych ryb, warunków technicznych gospodarstwa, jakości wody, intensywności produkcji karpia i stanu zdrowotnego danego obiektu ale również od wymagań rynku w danym okresie i możliwości zbytu ryb. Ryby karpiokształtne reofilne; świnka, certa, brzana, kleń, boleń, lub drapieżne; szczupak, sandacz, sum, produkowane są najczęściej jako narybek w obsadach monokulturowych lub w polikulturze z karpem. Wolniejsze tempo wzrostu większości gatunków ryb dodatkowych, ich wymagania środowiskowe, nie zachęca do produkcji starszych roczników jednak w ostatnich latach coraz większą popularność zdobywa produkcja ryb przeznaczonych do konsumpcji z rodziny karpiowatych: amura białego, tołpyg czy lina.

Mimo szeregu ograniczeń, zainteresowanie produkcją gatunków innych niż karp stale wzrasta ponieważ:

- uzyskuje się większą ogólną produkcję ryb w gospodarstwie, dzięki lepszemu wykorzystaniu pokarmu naturalnego w stawie w stosunku do jednogatunkowej obsady, gdyż najczęściej spektrum pokarmowe ryb dodatkowych jest inne niż karpia i nie konkurują z nim o pożywienie
- produkuje się cenny materiał zarybieniowy, bez dodatkowych nakładów na inwestycje stawowe
- zwiększa się ofertę handlową gospodarstwa, ułatwiając jednocześnie zbyć karpia
- podnosi się kulturę rybacką w gospodarstwie, ze względu na konieczność stworzenia rybom lepszych warunków chowu, odłowu, a przede wszystkim obchodzenia się nimi
- uzyskuje się możliwość sprzedaży wyprodukowanych ryb dodatkowych w gospodarstwie, już w połowie roku, co ułatwia finansowanie gospodarstwa
- zwiększa się bezpieczeństwo produkcji w obiekcie ze względu na fakt, że gatunki dodatkowe są bardziej wrażliwe na niekorzystne warunki środowiskowe co pozwala na podjęcie działań zapobiegawczych w krótszym czasie

Wykaz gatunków ryb dodatkowych utrzymywanych w stawach karpiowych przedstawiono w tabeli 2. Należy zaznaczyć, że w przypadku szeregu nie wymienionych w tabeli gatunków chów ma charakter przypadkowy, wynikający często z migracji ryb do stawu w okresie jego napełniania bądź w wyniku obecności wśród ryb stanowiących obsadę podstawową. Dotyczy to w szczególności karasia srebrzystego (gatunek inwazyjny), okonia czy płoci.

Tabela 2. Wykaz gatunków ryb utrzymywanych w stawach typu karpiowego według Wojdy i in. (2009) – zmienione.

Grupa	Drapieżne	Łososiowate	Reofilne karpiokształtne	Tradycyjne karpioiwate	Roślinożerne	Jesiotry	Ozdobne
Gatunki	Szczupak Sandacz Sum europejski Miętus	Pstrąg tęczowy Sieja	Boleń Brzana Certa Jaź Świnka Kleń Jelec	Lin Karaś pospolity	Amur biały Tołpyga biała Tołpyga pstra	Jesiotr rosyjski Jesiotr syberyjski Sterlet	Orfa (złoty jaź) Karp koi Karaś złocisty Złoty lin

W gospodarstwach karpioiwych produkujących materiał zarybieniowy (przeznaczony do zarybień akwenów poza obiektami stawowymi) udział gatunków dodatkowych może być bardzo duży i przewyższać wartość produkcji karpia. Według danych Lirskiego i Myszkowskiego (2021) produkcja gatunków dodatkowych przeznaczonych do konsumpcji w polskiej akwakulturze stawowej rośnie i sięga już ponad 20% produkcji karpia.

Etapy chowu ryb dodatkowych

Chów ryb dodatkowych w warunkach akwakultury tradycyjnej bazuje na założeniach metody przesadkowania znanej z wychowu karpia. W zależności od celu chowu może być zakończony już w pierwszym lub drugim sezonie chowu na etapie narybku lub kroczków stanowiących materiał obsadowy bądź zarybieniowy i obejmuje wszystkie gatunki, natomiast produkcja ryb konsumpcyjnych dotyczy przede wszystkim szczupaka, suma, amura białego, tołpygi białej i pstręj, lina oraz karasi. W tym wypadku wychów trwa najczęściej trzy lata.

Rozród - może być prowadzony w wytypowanych stawach oparciu o tarlaki własne, chowu stawowego i tarlaki pozyskiwane z wód naturalnych. Najczęściej przeprowadza się naturalne tarło kontrolowane obsadzając na stawy stawkę wybranych tarlaków, najkorzystniej chowu stawowego. Innym rozwiązaniem jest stosowane w przypadku karasia, lina , sandacza, suma, niekiedy szczupaka tarło „na dziko” w stawach produkcyjnych w polikulturze z karpem. Pozostałe gatunki hodowane w stawach rozmnaża się w warunkach wylęgarni. Uzyskany w ten sposób wylęg, bądź wylęg podchowany, wykorzystuje się do dalszych etapów chowu stawowego.

Wychów narybku letniego odbywa się w monokulturze, rzadziej w obsadzie wielogatunkowej. Materiałem wyjściowym jest wylęg, który może pochodzić z tarła

naturalnego przeprowadzonego w tym samym stawie, bądź z obsady gniazdami z ikrą, lub z obsad wylęgiem pochodzącym z tarła sztucznego. Na stawach wykorzystywanych jako przesadka I wylęg pozostaje w stawie najczęściej przez okres rozwoju larwalnego do stadium narybku letniego. Narybek letni przeznaczany jest do zarybień lub do obsady kolejnych kategorii stawów.

Wychów narybku jesiennego może być prowadzony z ikry (przy obsadzie gniazdami z ikrą), lub przy obsadzie stawów tarlakami „na dziko”. Najczęściej jednak produkcja narybku jesiennego opiera się na obsadach wylęgiem, wylęgiem podchowanim lub narybkiem letnim i trwa kilka miesięcy w stawach towarowych w polikulturze z karpem oraz w stawach kroczkowych, rzadziej w przesadkach II z narybkiem karpia.

Wychów kroczków prowadzi się obsadzając narybkiem wiosennym ryb dodatkowych (jeden lub kilka gatunków) stawy kroczkowe lub towarowe z karpem.

Produkcja ryb towarowych – dotyczy głównie; szczupaka, lina, suma, karasia oraz gatunków z grupy „roślinożernych”. Prowadzony jest w ekstensywnym lub niskointensywnym chowie polikulturowym wraz z karpem w stawach towarowych, z obsady dwuletnim lub trzyletnim materiałem, w zależności od gatunku i wymagań rynku. W przypadku produkcji amura białego oraz tołpyg coraz częściej stosowany jest również chów monokulturowy lub dwugatunkowy bez karpia.

Przedstawione ogólnie zasady wychowu ryb dodatkowych są zbliżone dla wszystkich gatunków. Chów ryb z grup: roślinożerne i tradycyjne karpowate, jest niemal tożsamy z wychowem karpia. Jednak odrębne cechy biologiczne i zróżnicowane wymagania środowiskowe powodują, że przebieg tego procesu cechuje się znaczną specyfiką.

2.3. Chów karpiokształtnych ryb reofilnych

Jak już wspomniano w przypadku tej grupy ryb dodatkowych rozród naturalny nie jest prowadzony a materiał wyjściowy w postaci larw (wylęgu) pozyskiwany jest w wyniku przeprowadzanego rozrodu sztucznego w wylęgarni we własnym gospodarstwie lub zakupu. Rozwiązaniem alternatywnym jest odłów tarlaków bezpośrednio z rzek w miejscu i okresie naturalnego ich rozrodu. W praktyce jednak nie zawsze udaje się odłowić tarlaki w takim stadium dojrzałości które pozwalałoby uzyskać od nich produkty płciowe w większej ilości. Własne stado rozrodcze można pozyskać na kilka różnorodnych sposobów:

- poprzez wychowanie stada tarłowego z zakupionego z zewnątrz wylęgu – metoda najbardziej godna polecenia

- poprzez zakup starszych roczników

- poprzez zakup tarlaków

Produkcja materiału zarybieniowego ryb reofilnych w stawach obejmuje wychów następujących kategorii wiekowych:

- narybku letniego

- narybku jesiennego z obsad wylęgiem lub narybkiem letnim

- kroczków

Spośród wymienionych metod tylko wychów narybku letniego należy prowadzić w obsadach czystych. Chów narybku jesiennego oraz kroczków zdecydowanie należy prowadzić w polikulturze z karpem. Do wychowu można wykorzystać praktycznie wszystkie kategorie stawów, jakie znajdują się w gospodarstwie. Stawy, w których produkowane są ryby reofilne muszą być bardzo dokładnie zabezpieczone, aby uniemożliwić rybom ucieczkę. Do produkcji nie należy przeznaczać stawów o niewłaściwym profilu dna i rowów osuszających oraz niekorzystnych warunkach technicznych odłowów. Podczas odłowów, dla wszystkich grup wiekowych należy stosować przede wszystkim metodę „pod prąd wody” lub też „do odłówki za mnichem”. Zdecydowanie najgorsze warunki to odłów w łowisku.

Wychów narybku letniego z obsad wylęgiem

Stawy przeznaczone do wychowu narybku letniego z obsady wylęgiem należy przygotować zgodnie z wymogami dla przesadek I. Ponieważ jednak niewiele gospodarstw posiada tak dużą liczbę przesadek I, aby wyłączyć je z produkcji karpia, można wykorzystać stawy nie użytkowane w tym okresie tj. magazyny i zimochowy karpiove po odpowiednim ich przygotowaniu. Obsady wyjściowe wylęgu mogą oscylować w przedziałach od kilkudziesięciu do nawet ponad stu tysięcy sztuk na 1ha stawu. Wychów trwa przeciętnie 4 -5 tygodni. Przy średniej przeżywalności 30 -50 % wielkość odławianego narybku letniego waha się od 0,5 – 1,0 g/szt.

Produkcja narybku jesiennego

Wychów narybku jesiennego należy prowadzić obsadzając stawy wylęgiem lub też narybkiem letnim w polikulturze z karpem. Innych metod, takich jak obsady monokulturowe,

nie należy polecać ze względu na niską ich efektywność pod względem ilości produkowanego materiału oraz wykorzystania zasobów pokarmowych stawów.

Produkcja narybku jesiennego z obsad wylęgiem.

Do obsady wylęgiem należy wybierać stawy towarowe zarybione narybkiem lub kroczkami karpia na handlówkę, w drugiej kolejności z obsadą narybku na kroczi karpia. Wynika to z faktu, że wylęg ryb reofilnych we wczesnych stadiach rozwojowych wymagają znacznego udziału zooplanktonu skorupiakowego do prawidłowego wzrostu. Ponieważ kroczi karpia bardzo intensywnie wyzerowują wszelki dostępny pokarm naturalny, także zooplankton, ograniczają bazę pokarmową. Wielkość dodatkowej obsady wylęgu powinna wahać się w granicach 5-15 tys. szt./ha. Uzyskuje się wówczas narybek, którego masa jednostkowa wynosi 5 - 20g/szt. w zależności od produkowanego gatunku.

Produkcja narybku jesiennego z obsad narybkiem letnim

Produkując narybek jesienny gatunków reofilnych z obsad narybkiem letnim można wykorzystywać stawy obsadzone narybkiem lub kroczkami karpia. Ponieważ materiał obsadowy stanowią ryby o masie ok. 1g/szt. nie zachodzi konkurencja z karpem w dostępie do bazy pokarmowej. Wielkość dodatkowej obsady narybku letniego powinna zawierać się w przedziale 3- 5 tys. szt./ha. Przy wyższych obsadach przyrosty jednostkowe wyprodukowanych ryb mogą być małe i wynosić 5 g/szt., co utrudnia odłów i sortowanie.

Produkcja kroczków

Produkcja kroczków w polikulturze z karpem jest bardzo efektywną metodą zwiększania naturalnej wydajności stawów (Guziur i in. 2003, Wojda 2015). Do ich produkcji można wykorzystywać stawy kroczkowe lub towarowe obsadzone narybkiem lub kroczkami karpia. Dwulatki karpiokształtnych ryb reofilnych są bardzo poszukiwanym sortymentem materiału zarybieniowego. Wielkość obsady narybku na kroczi może wahać się w bardzo szerokich granicach. Za optymalną należy uznać dodatkową obsadę narybku w ilości 600-800 szt./ha, co pozwala, w zależności od gatunku uzyskać ryby o masie jednostkowej w granicach od kilkudziesięciu do 200g/szt., przy przeżywalności na poziomie 30- 70%.

2.4. Stawowa produkcja sandacza w stawach ziemnych typu karpiego

W tradycyjnych stawach typu ziemnego obok gatunków karpioatych istotne znaczenie w produkcji mają ryby z rodziny Percidae a szczególnie sandacz (*Stizostedion lucioperca*).

Chów tego gatunku polega przede wszystkim na produkcji materiału obsadowego lub zarybieniowego w postaci narybku letniego, jesiennego lub dwulatków. Okoń (*Perca fluviatilis*) nie zdobył jeszcze znaczącej pozycji w akwakulturze stawowej przede wszystkim ze względu na brak efektywnej technologii masowego chowu w tych warunkach. Prace w tym kierunku trwają i wyniki, które są uzyskiwane są zachęcające, co stwarza szansę na produkcję stadiów młodocianych jak i ryb konsumpcyjnych na skalę komercyjną w najbliższej przyszłości.

Tradycje produkcji sandacza sięgają wieku XIX kiedy w gospodarce stawowej rozpoczął się proces dywersyfikacji produkcji. Sandacz powoli stawał się jednym z ważnych gatunków dodatkowych akwakultury w stawach typu karpiego. Produkcja sandacza jako materiału zarybieniowego w stawach typu karpiego, została zapoczątkowana i rozpowszechniona w latach 30 ubiegłego stulecia (Wojda 2015). W okresie przedwojennym materiałem wyjściowym chowu była głównie ikra zapłodniona, w gniazdach, uzyskiwana od tarlaków pochodzenia stawowego w sadzach tzw. metodą szwedzką. Wykorzystywano ją głównie do wychowu palczaków. W późniejszych latach przeprowadzano tarło stadne na stawach typu przesadki pierwsze, lub obsadzano tarlaki na tarło dzikie w stawach towarowych, gdzie jesienią odławiano palczaki sandacza z handlówką karpia. Metoda ta jest często stosowana również obecnie. Chów ryb starszych roczników sandacza, poza materiałem selekcyjnym, nie jest praktykowany ponieważ potrzeba minimum 3 lata by uzyskać ryby o wartości konsumpcyjnej. W szerszej praktyce nie są jeszcze podejmowane próby wychowu handlówki sandacza w stawach, przy zastosowaniu żywienia paszami granulowanymi. Przystępując do hodowli sandacza musimy posiadać stawy, które powinny spełniać pewne warunki techniczne. Powinny to być stawy o głębokości zalewu powyżej 1 m, o dnie twardym i mineralnym, niewielkiej warstwie osadów, nie zarośnięte wyższą roślinnością wodną. Sposób zalewu i spuszczenia wody indywidualny do każdego stawu, z możliwością odłowu ryb na odlówkę za mnichem spustowym z dopływem świeżej wody. Wymagany jest również stały dopływ wody w sezonie letnim.

Wychów materiału zarybieniowego

Produkcja materiału zarybieniowego sandacza w warunkach stawowych może być prowadzona w oparciu o zakup osobników młodocianych lub z wykorzystaniem własnego stada rozrodczego (Wojda i in. 2009). To drugie rozwiązanie uznawane jest za bardziej korzystne,

ponieważ potomstwo uzyskane od ryb przystosowanych do warunków stawów karpowych charakteryzuje się większą odpornością na warunki odłowu, wyższą przeżywalnością. Używanie tarlaków pochodzących np. bezpośrednio z jezior nie zawsze pozwala na uzyskanie tarła naturalnego w warunkach stawowych, a tarlaki najczęściej giną.

Tarło sandacza

W gospodarstwach karpowych rozpoczyna się w końcu kwietnia (po 20 kwietnia) przy temperaturze wody powyżej 12°C i trwa do połowy maja. Tarlaki sandacza po okresie zimowym, należy odłowić z zimochowów po 20 marca. Przeprowadza się ich przegląd, rozdziela się samice od samców, wpuszczając je do oddzielnych stawów (funkcje te najczęściej pełnią magazyny) by przedwcześnie się nie wytarły. Gdy temperatura wody osiągnie 12°C tarlaki odławiamy z magazynów i wpuszczamy na tarło. Sposób przeprowadzania tarła może być różny, zależy najczęściej od warunków technicznych stawów jakimi dysponujemy, jak i opanowania techniki chowu przez hodowcę. W warunkach chowu stawowego tarło sandacza przeprowadzane jest jako naturalne bez stosowania stymulacji hormonalnej dwoma sposobami; tarło naturalne niekontrolowane tzw. „tarło dzikie” lub tarło naturalne kontrolowane.

Tarło naturalne niekontrolowane, polega na wybraniu kilku, lub kilkunastu tarlaków, podczas odłowu zimochowów i wpuszczenie ich w ilości nie większej jak 1 -2 komplety tarlaków na 1 ha jego powierzchni do wcześniej wytypowanego stawu towarowego z obsadą karpia. Jeden komplet tarlaków składa się z samicy i dwóch samców. Innym sposobem przeprowadzania tarła „dzikiego” jest tarło stadne (masowe). Przeprowadzamy je we wcześniej przygotowanych stawach typu przesadki I o powierzchni od 1 do 2 ha o dnie w uprawie łąkowej z nisko przykoszoną trawą. Gdy temperatura wody w magazynie w którym przebywają tarlaki wzrośnie do 13-14°C wypuszczamy je do stawu w ilości od 10 do 15 kompletów tarlaków na 1 ha stawu. Liczebność obsady tarlaków zależy od wielkości ryb i stopnia ich dojrzałości. Staw powinien być zalany wodą trzy dni wcześniej. Tarlaki same budują gniazda. Po tarle nie są odławiane i przebywają w stawie do momentu odłowu narybku letniego. Przy tarle „dzikim” hodowca nie ma żadnej kontroli, co do terminu tarła, ani ilości założonych gniazd.

Tarło naturalne kontrolowane - metodą „jaktorowską” (Wojda i in. 2009)

Tarliskiem są małe stawy magazyny o powierzchni 300-400 m² i głębokości zalewu od 1,5 do 2 m., twardym dnie, pozbawionym całkowicie roślinności wodnej. Przed samym

zalewem stawu rozmieszcza się na dnie od 6 do 8 gniazd. Gniazda w kształcie czworokąta o wymiarach 50x60 cm można wykonać z różnego materiału, nie powodującego zamulania ikry, np. z trawy morskiej o długim włosie, z jałowca, wypłukanych z ziemi korzeni trawy, drobnych korzeni olchy lub wierzby. Tarlaki wpuszczamy na tarło gdy temperatura wody podniesie się powyżej 12°C. Najkorzystniejsze warunki termiczne panują w zakresie od 14 do 17°C. Po stwierdzeniu że ikra została złożona obniżamy lustro wody do 30 cm, i odławiamy tarlaki a gniazda z ikrą przenosimy do wybranych stawów, które stanowią właściwe środowisko podchowu.

Wychów narybku letniego sandacza

Jest to jedna z najstarszych metod stosowanych w produkcji materiału zarybieniowego sandacza na szeroką skalę. Przy odpowiednim przygotowaniu stawów i wykorzystaniu tarlaków chowu stawowego daje dobre efekty. Do wychowu ryb można wykorzystać w gospodarstwie, zimochowy karpiove lub duże magazyny. Można również przeznaczyć do tego celu małe stawy od 0,5 - 1,5 ha. Stawy należy przygotować tzn. wykosić z twardej roślinności wodnej, zdezynfekować rowy i łowisko i zapewnić zalew o głębokości od 1,0 do 1,5 m.

Można wyróżnić trzy podstawowe metody produkcji narybku letniego w zależności od rodzaju materiału zarybieniowego użytego do obsadzania stawów:

- sposobem tradycyjnym - przy obsadzie tarlakami na dzikie tarło stadne,
- przez obsadę gniazdami z ikrą,
- obsadę stawów wylęgiem.

Obsada przesadek i tarlakami sandacza na dzikie tarło jest jedną z najstarszych a jednocześnie najczęściej do dzisiaj stosowanych metod wychowu narybku letniego. Do tego celu należy przygotować staw pełniący funkcję pierwszej przesadki. Gdy woda osiągnie temperaturę 10-11 °C należy zalać staw na głębokość 0,7 do 1,5 m, przez filtr kamienno żwirowy, lub bardzo gęstą kratę. Na drugi, trzeci dzień po zalewie obsadzamy na staw od 10 do 15 kompletów (trójkowych, 1 samicę i dwa samce) tarlaków sandaczy na 1 ha powierzchni. Po stwierdzeniu tarła należy wzdłuż grobli rozwieść dobrze przefermentowany obornik w ilości 2 t/ha. Dawkę obornika powtórzyć po dwóch tygodniach, po zaobserwowaniu wylęgu w stawie. Wylęg podchowuje się w tych warunkach około 3 do 5 tygodni. Jeśli stwierdzamy znaczne

zagęszczenie młodych sandaczy zalecany jest ich odłów już w trzecim tygodniu ze względu na zagrożenie nasilonym kanibalizmem ryb z wywołanego brakiem pokarmu planktonowego w stawie.

Kolejnym rozwiązaniem jest zarybianie przesadek I gniazdami z ikrą. Przygotowanie stawu pełniącego funkcję przesadki I jest takie same, jak w przypadku pierwszej metody. Dodatkowo musimy dysponować stawem w którym przeprowadzamy tarło. Z chwilą uzyskania ikry na gniazdach, przenosimy je w ilości od 5 do 10 szt. na 1 ha powierzchni przesadki I. W tym samym czasie staw nawozimy pierwszą dawką obornika, a drugą po 2-3 tygodniach. Wylęg w stawie przebywa około 3-5 tygodni. Obsady stawu gniazdami najlepiej dokonywać w zbliżonym terminie ze względu na zróżnicowanie wiekowe wrostającego w stawie narybku. Opisywana metoda jest mniej zawodna niż przy dzikim tarle, gdyż już do stawu wprowadzamy zapłodnioną ikrę. Wielkość produkcji jest zbliżona do uzyskiwanej pierwszą metodzie.

Produkcję narybku letniego sandacza można prowadzić stosując obsady wylęgiem. Przygotowanie stawów jest podobne jak w przypadku metody pierwszej łącznie z zastosowaniem nawożenia organicznego na dno stawu w ilości 5t/ha. Okres podchowu trwa około 3 tygodni, ale nie dłużej jak 25 - 30 dni. Opóźnienie odłowu o kilka dni może spowodować straty dochodzące do 90-95 % spowodowane kanibalizmem. Odłów narybku letniego sandacza należy prowadzić powoli na stałą odłówkę, za mnichem spustowym, wyścielaną płótnem sieciowym pod dopływ świeżej wody. Przy odłowieniu trzeba zwrócić uwagę by nie było różnic w temperaturze wody wypływającej ze stawu z temperaturą na dopływie odłówki, gdyż mały sandacz jest szczególnie wrażliwy na wahania temperatury. Nie powinny one być większe jak 0,5-1°C.

Przeżywalność narybku letniego sandacza przy zastosowaniu opisanych metod jest niska i wynosi od 20 do 40 %. Ciężar jednostkowy narybku letniego przy obsadzie wylęgiem jest bardziej wyrównany niż przy poprzednio opisywanych metodach i wynosi od 0,5 do 1 g.

Wychów narybku jesiennego sandacza.

Narybek jesienny sandacza nazywany palczakiem, hodowany jest tylko w polikulturze z karpem, najczęściej w stawach towarowych, rzadziej w kroczkowych. W praktyce stosowane są różne metody wychowu w zależności od materiału obsadowego jaki jest uzyskiwany do zarybiania stawów.

W gospodarstwach karpionych można by wymienić cztery metody chowu palczaków sandacza;

- obsadza się tarlakami, na dzikie tarło.
- obsad stawów gniazdami z zapłodnioną ikrą,
- obsad wylęgiem, uzyskanym z tarła naturalnego kontrolowanego,
- obsad stawów narybkiem letnim sandacza.

We wszystkich czterech metodach, wymagania techniczne i przygotowanie stawów do produkcji palczaków sandacza są podobne, a różnice dotyczą tylko innego sposobu zarybiania.

Metoda tradycyjna polegająca na obsadzie stawów tarlakami.

Wczesną wiosną po odłowieniu z zimochowu, wpuszczamy do wybranych stawów spełniających warunki wychowu tarlaki w ilości 2 samic i 3 samców na 1 ha powierzchni. Ta wielkość obsady tarlaków zapewnia optymalną ilość odławianego jesienią materiału obsadowego sandacza. Palczaki odławiamy wraz z karpem po 15 października przy jak najniższej temperaturze wody.

Obsada stawów gniazdami z ikrą

Po przeprowadzeniu tarła naturalnego kontrolowanego i uzyskania ikry, przenosimy ją na stawy. Na 1 ha stawu umieszczamy przeciętnie 1 gniazdo średniej wielkości. Gniazda z ikrą w odległości od 10 do 15 m od mnicha dopływowego, na lekkim dopływie wody, tak by ikra była zanurzona na głębokości 0,7 do 1 m. Taki sposób umieszczania ikry pozwala na obserwację i kontrolę jej rozwoju i chroni ją przed zamulaniem. Z chwilą zakończenia wykluwania larw należy dopływ w stawie zmniejszyć, a jednocześnie zabezpieczyć mnich dopływowy przed ucieczką wylęgu.

Obydwie metody często są zawodne, związane jest to prawdopodobnie z warunkami termicznymi, ponieważ o ile ikra sandacza jest odporna na wahania i niższe temperatury, to wylęg sandacza jest bardzo wrażliwy na występujące często w pierwszej połowie maja niskie temperatury wody.

Obsada stawów wylęgiem daje korzystniejsze efekty niż przy dwóch poprzednio omawianych metodach. Pozwala uzyskiwać przeżywalność sandaczy na poziomie od 30 do 40% w zależności od zasobów pokarmu naturalnego (zooplanktonu) w stawie.

Obsada stawów narybkiem letnim jest metodą o najbardziej stabilnych wynikach. Przeżywalność ryb, wynosi przeciętnie od 35 do 55 %, a przyrosty jednostkowe przekraczają nawet 25g.

Chów dwuletnich sandaczy

Produkcja dwulatków sandacza nie jest często praktykowana z dwóch przyczyn. Po pierwsze notowane są znaczne straty palczaków sandacza w okresie zimowania a po drugie trudno jest zapewnić odpowiednie zasoby pokarmu w postaci drobnych ryb w drugim sezonie wychowu. Przy obsadach stawów kroczkowych na poziomie kilkuset sztuk na 1ha dwuletnie sandacze w zależności od warunków pokarmowych osiągają przyrosty 150-200 g. Przeżywalność jest niska, wynosi zaledwie od 20 do 30 %.

2.5. Produkcja szczupaka w stawach ziemnych typu karpiego

W trakcie chowu stawowego szczupaków należy przestrzegać kilku zasad: uwzględnić wielkość ryb gatunku podstawowego do wielkości obsadzanych szczupaków, skutecznie zapobiegać migracji szczupaków do innych stawów w obiekcie oraz stosować niskie obsady szczupaków na jednostkę powierzchni stawów. Chów szczupaków ogranicza się do produkcji: narybku letniego, narybku jesiennego zwanego palczakami oraz w mniejszym zakresie ryb dwuletnich. Obiekty dysponujące wylęgarnią i podchowalnią prowadzą również sprzedaż wylęgu lub wylęgu podchowanego. W nielicznych gospodarstwach produkowane są ryby kilkuletnie z myślą o produkcji ryb towarowych lub uzyskaniu stada tarlaków.

Rozród - tarło naturalne

Rozród naturalny szczupaków prowadzony jest najczęściej w stawach, które okresowo nie są wykorzystywane rybacko, przede wszystkim w magazynach lub zimochowach. Ich powierzchnia nie musi być duża 500 – 1000 m². W przypadku założenia, że w wytypowanych stawach prowadzony będzie podchów larw należy wykorzystywać stawy o powierzchni minimum 0,5 ha. W obiektach specjalizujących się w produkcji materiału zarybieniowego szczupaka do rozrodu i podchowu szczupaków przeznacza się zbiorniki o powierzchni nawet kilkunastu hektarów. Ich ważną cechą jest obecność roślinności, szczególnie traw które stanowią naturalny substrat dla składanej ikry oraz schronienie dla larw.

Napełnianie tarłisk wodą rozpoczyna się z chwilą gdy temperatura wody osiągnie 5°C, co z reguły obserwuje się na przełomie marca i kwietnia. Po kilku dniach obsadza się tarlaki wyselekcjonowane z grupy ryb o wyraźnych cechach gotowości do tarła. Obsada na tarło ryb w różnym stopniu dojrzałości powoduje zróżnicowanie momentu rozrodu w grupie ryb co jest zjawiskiem negatywnym ze względu na uzyskania wylęgu zróżnicowanego wiekowo co w trakcie podchowu sprzyja wysokim stratom. Obsada stawów wynosi od 2 do 4 samic i od 4 do 8 samców na 1000 m². Początkową głębokość zalewu stawu 0,5 m zwiększa się z chwilą stwierdzenia tarła do 0,6 – 0,8 m. Jeżeli tarlaki w ciągu kilku dni od obsady nie przystąpią do tarła należy je odłowić i umieścić na tarlisku kolejną grupę samic i samców. Larwy wykluwają się po upływie 10 – 14 dni jeśli temperatura wody oscyluje w zakresie 8 - 10°C. Etap prelarwalny trwa około tygodnia i kończy się napełnieniem pęcherza pławnego i rozpoczęciem aktywnego pływania. Jeżeli tarło przeprowadzano w małych stawach, larwy są odławiane. „z pełnej wody” w przypadku dużych stawów larwy są podchowywane przez kilka tygodni.

Wychów narybku letniego

Produkcję narybku letniego szczupaka przeprowadza się najczęściej obsadzając wytypowane stawy wylęgiem odłowionym z tarłisk lub uzyskanym w wylęgarni. Druga metoda to podchów wylęgu szczupaka bez odłowu w stawach w których przeprowadzono tarło naturalne. Do wychowu narybku letniego wykorzystuje się przede wszystkim duże zimochowy i magazyny lub inne stawy o głębokości 0,6 - 1,0 m, o powierzchni minimum 0,5 – 1,0 ha. Zalew stawów przeznaczonych do podchowu larw należy przeprowadzić na ok. 2 tygodnie przed obsadą ze względu na konieczność stworzenia szczupakom odpowiedniej bazy pokarmowej w postaci zooplanktonu. Dodatkowo, dno zalewanych zbiorników należy przed zalewem nawieźć obornikiem w ilości 0,5 t/ha. W przypadku stawów już zalanych nawożenie prowadzi się „na wodę”.

Obsady wyjściowe wylęgu wynoszą przeciętnie 20 – 40 tys./ha (Wojda i in.2009).W sprzyjających warunkach można zwiększyć nawet do 80 tys. Podchów prowadzi się 2 -3 tygodnie. Po upływie ok. 10 dni wskazane jest prowadzenie systematycznych obserwacji zasobów zooplanktonu dostępnego dla ryb, którym są średnie oraz duże formy skorupiaków planktonowych oraz odłowu kontrolne ryb. Spadek liczebności organizmów pokarmowych oraz długość całkowita odławianych szczupaków przekraczająca 20 mm to sygnał do rozpoczęcia odłowu stawu. Jeżeli nastąpi opóźnienie terminu odłowu należy liczyć się ze

znacznymi stratami obsady, sięgającymi ponad 80 – 90% wywołanymi kanibalizmem. Narybek odławia się metodą „na odłówkę za mnichem”. Szczupaki o długości 25 -50 mm długości i masie 0,2 -1,0 g/sztukę są poszukiwanym materiałem zarybieniowym. Mogą być również przeznaczone do dalszego chowu w stawach .

Wychów narybku jesiennego

Palczaki czyli narybek jesienny szczupaka można produkować z obsady wylęgiem, wylęgiem podchowanim lub narybkiem letnim. Wychów prowadzony jest w obsadach polikulturowych z karpem tylko w stawach kroczkowych i towarowych ze względu na szybki wzrost szczupaków. Gęstość obsad uzależniona jest od poziomu intensyfikacji produkcji karpia oraz od możliwości wprowadzenia jako obsady dodatkowej gatunków ryb stanowiących potencjalny pokarm dla szczupaka czyli larw i narybku karasia, płoci czy jazia. Dla obsad wyjściowych wylęgiem szczupaka stosuje się zagęszczenie 2 – 3 tys. /ha, wylęgiem podchowanim 300 -500 sztuk. a narybkiem letnim 200 - 300 sztuk / ha. Zapewnienie wysokiej dostępności pokarmu oraz dobre warunki odłowu stawu pozwalają na zagęszczeniu narybku letniego szczupaka do poziomu 1000 sztuk/ha. Opisane metody wychowu palczaków szczupaka zapewniają uzyskanie jesienią od kilku do kilkudziesięciu kilogramów palczaków z jednego hektara stawu a przyrosty jednostkowe ryb wahają się od 50 do 400 g/szt. Przeżywalność narybku w stawach towarowych jest stosunkowo niska i nie przekracza 15 – 20 % natomiast w stawach kroczkowych w granicach 25 – 40%.

Wychów dwuletnich szczupaków

Po przezimowaniu palczaki szczupaka wraz z narybkiem lub kroczkami karpia obsadza się na stawy towarowe. Materiałem wyjściowym do produkcji dwuletnich szczupaków są ryby o masie jednostkowej w granicach 50 - 100 g/szt. Osobniki większe należy eliminować wiosną i przeznaczyć do sprzedaży. Obsady palczaków wahają się od kilkunastu do kilkudziesięciu sztuk na hektar ale można je zwiększyć pod warunkiem umieszczenia w stawie odpowiedniej ilości ryb stanowiących pokarm szczupaka a planowana produkcja karpia nie przekracza 1000 kg/ha. Opisana metoda wychowu pozwala uzyskać z 1 ha stawu kilkadziesiąt kilogramów szczupaków o masie 0,5 – 1,5 kg/ szt. Przeciętne straty nie powinny przekraczać 30 – 40 %.

Produkcja szczupaków konsumpcyjnych

Chów szczupaków towarowych prowadzi się najczęściej w cyklu dwuletnim metodą opisaną powyżej. Istnieje również metoda chowu w cyklu trzyletnim, w której materiałem wyjściowym są dwuletnie szczupaki o niskiej masie jednostkowej, obsadzone na duże stawy towarowe wraz krocziem karpia. Gęstość obsady dwuletnich szczupaków w tym wypadku jest niewielka i nie powinna przekraczać kilkunastu sztuk na hektar. Dodatkowo należy zapewnić obsadę w ilości kilku kilogramów na ha, ryb które będą pokarmem szczupaków. Przeżywalność szczupaków produkowanych opisaną metodą jest wysoka, na poziomie 70 – 80 %. Masa jednostkowa ryb przekracza często 2kg.

2.6. Chów ryb łososiowatych w stawach ziemnych typu karpiego

Tradycyjna forma akwakultury stawowej oparta na wykorzystaniu do produkcji ryb zbiorników o wodzie stagnującej rozwinęła się w system bazujący na wykorzystaniu stałego przepływu wody w zbiornikach o niedużej powierzchni, które budowane są z ziemi, betonu a nawet tworzyw sztucznych (stawy przepływowe, tory wodne.). Umożliwia to produkcję gatunków należących do rodziny łososiowatych takich jak pstrągi, łososie czy trocie o istotnie większych niż ryby karpioate wymaganiach w zakresie parametrów fizycznych i chemicznych przepływającej wody a szczególnie zawartości tlenu. Przepływ wody zapewnia dobre warunki wzrostu ryb ale również umożliwia stałe usuwanie ze zbiorników materii organicznej, kontrolę przebiegu cyklu produkcyjnego. Takie rozwiązanie sprzyja również stałej obserwacji ryb a w związku z tym utrzymaniu dobrych warunków zdrowotnych chowu. Produkcja nadal odbywa się w uzależnieniu od temperatury zewnętrznej, co ma istotny wpływ na uzyskiwane wyniki. W omawianym systemie liczebność obsady ryb jest znaczna a biomasa ryb sięga kilkudziesięciu kilogramów na 1m³ wody zbiornika. Co więcej, w opisanych warunkach ryby praktycznie nie korzystają z zasobów pokarmu naturalnego i przyrost ich masy ciała następuje w wyniku skarmiania pasz pełnowartościowych o niskim współczynniku pokarmowym. Taki system produkcji można określić jako intensywna akwakultura stawowa.

Rozwój akwakultury intensywnej nastąpił w latach 70 i 80 XX wieku dzięki upowszechnieniu technologii produkcji pstrągów, która opanowała akwakulturę za naszą zachodnią granicą. Zdobycze te zastosowano w ośrodkach budowanych w tym czasie np. na Pomorzu. Stopniowo doskonalono metody produkcji. Zrezygnowano z mało efektywnego żywienia ryb paszami mokrymi na rzecz pasz granulowanych a później ekstrudowanych. Pozwoliło to zwiększyć produkcję przy ograniczeniu negatywnego wpływu na środowisko. W

efekcie, z początkiem XXI wieku produkcja pstrąga tęczowego w kraju wzrosła wielokrotnie. Rozszerzono również listę gatunków produkowanych w ośrodkach. Doskonalono sferę techniczną, stosując coraz bardziej nowoczesne rozwiązania pozwalające na kontrolę parametrów środowiska. Według danych Lirskiego i Myszkowskiego (2021) produkcja ryb łososiowatych w Polsce osiągnęła w 2020 roku 21 tys. ton.

Stawy ziemne w specjalistycznych obiektach w znacznym stopniu zastąpiono zbiornikami z betonu i tworzyw sztucznych jednak szczególnie w starszych i mniejszych obiektach produkcja ryb łososiowatych a szczególnie pstrągów tęczowych w przepływowych stawach ziemnych prowadzona jest nadal choć w niewielkim zakresie.

Chów pstrągów w gospodarstwach stawowych typu karpiego

Pstrągi tęczowe są hodowane w tych warunkach sporadycznie, głównie w oparciu o materiał w postaci narybku lub mniejszej handlówki, pochodzący z gospodarstw pstrągowych. Celem jest przede wszystkim uzyskanie ryb do bezpośredniej sprzedaży w gospodarstwie lub przeznaczenie wyhodowanych pstrągów dla łowisk specjalnych. Produkcja tego gatunku prowadzona jest głównie w tych gospodarstwach karpionych w których wykorzystuje się wody o stabilnej, niższej temperaturze wody, szczególnie w sezonie letnim. Są to gospodarstwa położone najczęściej w okolicach podgórskich, lub na północy kraju, zasilane wodą zimną z potoków, lub też w obiektach nizinnych opartych o cieki nizinne powstające z obfitych źródeł naturalnych. Warunkiem podjęcia chowu ryb łososiowatych jest dysponowanie stałym dopływem wody zasobnej w tlen o temperaturze nie wyższej jak 19 - 21 °C. Do chowu pstrągów powinno się przeznaczać stawy o dnie mineralnym i w małym stopniu porośnięte twardą roślinnością. Ich powierzchnia powinna być niewielka a głębokość powyżej 1 m. W typowanych zbiornikach muszą być zapewnione dobre warunki odłowy. Staw powinien być zabezpieczony przed ucieczką pstrąga zarówno pod dopływ wody, jak i przy odpływie. Produkcja pstrągów prowadzona jest ekstensywnie, w rzadkiej obsadzie, głównie przez wykorzystanie przez ryby dostępnych zasobów pokarmowych. Poza owadami, fauną bezkręgową mogą to być drobne gatunki ryb, kiełb, słonecznica,, narybek letni większości ryb, w puszcanych na dzikie tarło do stawu. Dodatkowo pstrągi mogą być dokarmiane paszą granulowaną podawaną w miejscach odizolowanych od karpia, wygrodzonych płotkiem o gęstości pozwalającej na przedostanie się tylko pstrągom. Pasza może być podawana na stół ręcznie, lub z karmika automatycznego. Wielkości dawek paszy ustala się w zależności od

gęstości obsady, jak i przyrostów uzyskiwanych przez pstrągi. Materiał obsadowy najlepiej sprowadzać z gospodarstw pstrągowych, w formie ciężkiego narybku (20 -25 g), a jeszcze lepiej niewyrośniętej handlówki pstrąga o masie od 100 do 125 g. Wielkość obsady zależna od intensywności dokarmiania. Jeśli przyrosty planujemy tylko na pokarmie naturalnym (bez dokarmiania) to wielkość produkcji można ustalić w granicach 40 - 70 kg/ha, a więc obsadę narybku liczącą od 300 do 500 szt. na 1 ha. w przypadku zagwarantowania znacznej ilości drobnych ryb jako pokarmu. Jeśli zamierzamy dokarmiać pstrągi paszami czynnikiem limitującym będą warunki tlenowe w stawie. Opisana metoda pozwala na uzyskanie produkcji pstrągów nawet do 300 kg/ha.

Do produkcji pstrąga tęczowego w gospodarstwach karpionych mogą być również wykorzystane stanowiące integralną część infrastruktury obiektów stawowych rowy-doprowadzalniki. Chów pstrągów można prowadzić na początkowych (górnym) odcinkach tych rowów, tak by woda wypływająca z terenu hodowli pstrąga, mogła jeszcze dodatkowo się dotlenić przed wpłynięciem do stawów. Doprowadzalnik musi się charakteryzować dnem mineralnym o znacznym spadku ok. 3 promil, nie zarośniętym twardą roślinnością wodną, zapewniając dobry odłów ryb. Odcinek rowu o długości 50 m i głębokości ok. 1m można obsadzać narybkiem pstrągów. Wielkość obsady zależna będzie od ilości tlenu w dyspozycyjnej wodzie. W opisanej metodzie żywienie ryb opiera się na wykorzystaniu pasz pełnowartościowych. Dawki żywieniowe ustalane są na podstawie oszacowanej aktualnej biomasy ryb.

2.7. Chów ryb jesiotrowatych w stawach ziemnych typu karpionego

Od kilkunastu lat znaczenie gatunków ryb zaliczanych do rodziny jesiotrowate (*Acipenseridae*) w akwakulturze systematycznie rośnie. Ze względu na efektywność chowu uznaje się, że najlepsze rezultaty uzyskać można w systemach intensywnych zapewniających stabilne warunki produkcji zarówno w przypadku podchowu osobników młodocianych jak i na etapie produkcji ryb konsumpcyjnych. Jednak, według Kolmana (2006) chów jesiotrów można prowadzić również w stawach typu karpionego. Jak donosi Szczepkowski i in. (2020) to jesiotr

syberyjski jest obecnie najpopularniejszym obiektem chowu wśród ryb jesiotrowatych w Polsce ze względu na wysokie tempo wzrostu.

Podstawowe wymagania w stawowym chowie jesiotrów

W stawowej produkcji jesiotrów istotną rolę ogrywa właściwy wybór stawów o wysokiej produktywności biologicznej, szczególnie bogate w zespoły makrofauny bezkręgowej stanowiącej główny składnik naturalnej diety ryb. Przykładowo, biomasa larw ochotkowatych na poziomie 5g/m² dna stawu uznawana jest za wystarczającą bazę pokarmu naturalnego dla narybku jesiotrów rozpoczynających pobieranie pokarmu naturalnego w stawach. Odpowiednie zabiegi pozwalają zwiększać biomasę bezkręgowców w dnie stawowym. Przy stosunkowo niskich obsadach narybku pokarm naturalny pozwala uzyskiwać satysfakcjonujące przyrosty jesiotrów. Podniesienie poziomu intensyfikacji chowu wymaga jednak stosowania w żywieniu ryb pasz o odpowiedniej wartości pokarmowej podawanych za pomocą karmników. W zależności od wieku ryb stosuje się pasze o zróżnicowanym poziomie zawartości białka i lipidów. U młodocianych osobników białko ogólne powinno stanowić 45-55% składu paszy a tłuszcz 12-20% , u ryb starszych odpowiednio 40-50% i 10 – 18% Optymalne temperatury dla intensywnego wzrostu większości gatunków jesiotrów mieszczą się w zakresie 20–27°C. Minimalna temperatura wody, w której ryby przyrastają efektywnie wynosi ok. 10°C. Górna wartością temperatury wody przy której zaleca się przerwanie karmienia ryb to temperatura 30°C. Jesiotry wykazują szeroki zakres tolerancji termicznej od 0 do 32 °C zatem warunki termiczne występujące w typowych obiektach stawowych nie są zagrożeniem dla obsady. Żywienie powinno być prowadzone w miarę możliwości nawet w niższych temperaturach co korzystnie wpływa na rezultaty zimowania. Obserwacje prowadzone podczas chowu stawowego pokazują, że jesiotry gromadzą się w miejscach karmienia i pobierają pokarm nawet przy bardzo niskich (2-4°C) temperaturach. W czasie zimowania ryby tracą ok. 10% masy ciała. Śmiertelność narybku może sięgać 10% liczebności obsady. Żywienie ryb w okresie zimowym zapobiega nadmiernemu chudnięciu, spadkowi kondycji i wydatnie zmniejsza śmiertelność.

Stawowy chów jesiotrów

Produkcja jesiotrów w stawach ziemnych prowadzona jest najczęściej w warunkach akwakultury intensywnej w obsadach monokulturowych. Za optymalne w chowie jesiotrów należy uznać stawy ziemne o dnie mineralnym i powierzchni poniżej 1ha, utrzymane w

wysokiej kulturze, dobrze uprawione, osuszalne i nie zarośnięte zbyt obficie roślinnością zanurzoną. Obsadę początkową stanowi narybek o masie jednostkowej w zakresie 10-20g pozyskiwany z podchowu kontrolowanego. W przypadku zastosowania zagęszczenia narybku na poziomie kilkunastu tysięcy sztuk na ha na koniec pierwszego sezonu uzyskuje się najczęściej ryby o masie 300-400 g ale możliwe jest osiągnięcie masy ciała nawet 600 g. W drugim sezonie obsada ryb jest zmniejszana i wynosi od 2 do 6 tys. sztuk/ha co zapewnia właściwe przyrosty ryb. Im lepsze warunki chowu (większa wydajność naturalna i odpowiednie parametry jakościowe wody) tym możliwość stosowania górnego pułapu zagęszczenia jest większa. Wysoka biomasa ryb szczególnie w okresie letnim wiąże się jednak z koniecznością dostarczenia ryb znacznej ilości tlenu systemami napowietrzania lub natlenienia. Podczas tuczu ryb towarowych stosuje się jedno-dwukrotne dziennie karmienie ryb paszami dedykowanymi jesiotrom w wybranych stałych miejscach stawu, które nie mogą być one porośnięte roślinnością i powinny charakteryzować się twardym dnem. Masa jednostkowa odławianych ryb produkowanych w ten sposób waha się od 1 500 do 2 500 g.

W niskointensywnych systemach chowu ryb typowych dla tradycyjnej akwakultury stawowej typu karpiego chów jesiotrów ogranicza się do zastosowania niewielkiej obsady dodatkowej na stawach kroczkowych i narybkowych (Kolman 2006). W przypadku takiego rozwiązania efekty produkcyjne nie są jednak duże ze względu na niskie przyrosty jesiotrów. W przypadku dodatkowych obsad jesiotrów wraz z karpem podkreślany jest ich korzystny wpływ na środowisko stawowe wynikający z intensywnego żerowania jesiotrów w strefie dennej stawów i uzyskiwany korzystny efekt zmniejszenia ilości zdeponowanych w zbiorniku pokładów detrytusu pobieranego przez ryby w trakcie odżywiania makrofauną zasiedlającą dno stawów.

Literatura

- Guziur J., Białowas H., Milczarzewicz W. (2003). Rybactwo stawowe. Oficyna Wydawnicza Hoża, Warszawa.
- Kolman R.(2006). Jesiotry. Chów i hodowla. Poradnik hodowcy – Wyd. IRS, Olsztyn.

Lirski A. (2023). Pierwsze refleksje po sprzedaży karpia w 2022 roku. Przegląd Rybacki, 1, s.4-6.

Lirski A., Myszkowski L. (2021). Obraz polskiej akwakultury w 2020 roku na podstawie badań statystycznych przy zastosowaniu kwestionariuszy RRW-22. Mat. Konferencji, Szkolenia Producentów Ryb Łososiowatych, 13 – 15 października, Rumia, s. 7 – 13.

Lirski A., Śliwiński J. (2019). Od 1918 do 2018 roku w krajowym karpiarstwie, czyli gdzie jesteśmy po stu latach ? [w :] M. Kowalska – Górska (red.). Karp, jaka przyszłość ? Wyd. Polskie Towarzystwo Rybackie, s. 5 -16.

UE (2008). Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 762/2008 z dnia 9 lipca 2008 r. w sprawie przekazywania przez państwa członkowskie statystyk w dziedzinie akwakultury.

Szczepkowski M., Szczepkowska B., Piotrowska I., Kozłowski M. (2020). Chów jesiotrów w stawach. Instrukcja doradcza nr 3/RJ/2020 . Wydawnictwo IRŚ Olsztyn.

Wojda R. (2015). Chów i hodowla karpia. Wydawnictwo IRS Olsztyn.

Wojda R., Zygmunt G. (2012). Wpływ stawów karpowych na jakość, retencję i bilans wodny zlewni . Kom. Ryb. 3, s. 1 – 8.

Wojda R., Cieśla M., Ostaszewska T. Śliwiński J. (2009). Chów ryb dodatkowych w gospodarstwach karpowych. Warszawa, Oficyna Wydawnicza "Hoża".

CZĘŚĆ II. Doskonalenie technologii chowu ryb w akwakulturze

Rozdział 1. Intensywne metody chowu ryb

Hubert Szudrowicz

Samodzielny Zakład Ichtiologii i Biotechnologii w Akwakulturze

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego

Wstęp

Akwakultura to rodzaj gospodarki, której celem jest pozyskiwanie żywności (lub innych produktów) ze środowiska wodnego. Polega ona na hodowli wybranych gatunków organizmów, głównie zwierzęcych, w naturalnych lub sztucznych zbiornikach wodnych. Zgodnie z definicją, akwakultura oznacza utrzymanie zwierząt wodnych, które pozostają własnością co najmniej jednej osoby fizycznej lub prawnej na etapie chowu lub hodowli, aż do momentu zbioru włącznie. Dodatkowo jest postrzegana jako alternatywa dla tradycyjnego rybołówstwa, szczególnie w kontekście zagrożenia przełowieniem licznych populacji w zbiornikach wodnych.

Produkcję w ramach akwakultury można traktować jako standardowy proces technologiczny, którego celem jest uzyskanie jak największej ilości produktu przy jak najmniejszym koszcie. Niemniej jednak, ze względu na specyfikę środowiska wodnego, które jest znacząco różne od środowiska innych zwierząt hodowanych w warunkach hodowli, proces ten nabiera unikalnego charakteru. Dodatkowymi wyzwaniem są uwzględnienia wpływu na środowisko naturalne, zarówno podczas tworzenia nowych zbiorników wodnych, jak i podczas eksploatacji istniejących. Dlatego oprócz aspektów technologicznych i ekonomicznych akwakultura powinna również uwzględniać aspekty ekologiczne i społeczne. Jednakże, w kontekście tego rozdziału, akwakultura jest traktowana jak każdy inny przemysłowy system przekształceń. Proces przekształcenia obejmuje przyjęcie wejścia, jego modyfikację i dostarczenie efektu. Innymi słowy proces produkcyjny można podzielić na trzy główne etapy działania, czynności obejmujące: wkład do systemu, jego utrzymania oraz obróbki rezultatów produkcji.

Wkład w system akwakultury obejmuje najbardziej podstawowe elementy niezbędne do funkcjonowania całego procesu. Ta grupa zadań obejmuje dostarczanie wody, obsady, paszy, nawozów i światła. Należy zaznaczyć, że nie wszystkie elementy wejściowe są zawsze stosowane. Na przykład, pasze lub nawozy nie zawsze muszą być dodawane do systemu, jeśli

źródła pasz są naturalnie produkowane w obrębie obszaru hodowli. Jednostki produkcyjne, które nie znajdują się w budynku, otrzymują naturalne światło ze środowiska. W takich typach systemów akwakultury nie jest wymagane dodatkowe, sztuczne oświetlenie. Jedynym elementem, który jest zawsze stosowany na wejściu, jest obsada zbiornika (Bjornsdottir i in. 2016). a, dla warunków akwakultury śródlądowej (charakterystycznym dla Polski) jednak zawsze tą zmienną będzie również woda.

Aby osiągnąć zadowalające i ekonomicznie korzystne rezultaty, konieczne jest większe lub mniejsze zarządzanie parametrami środowiska. W akwakulturze kluczowe jest utrzymanie optymalnej jakości wody, zdrowej populacji oraz wysokich wskaźników wzrostu, aby system mógł funkcjonować bez zarzutu. Zadania związane z utrzymaniem systemu obejmują: zarządzanie paszą, wymianę wody, kontrolę ciał stałych, regulację temperatury, kontrolę gazów rozpuszczonych (zwłaszcza O₂ i CO₂), a także kontrolę pH, zasadowości i twardości wody. Jednakże, różne systemy produkcji wodnej będą się różniły pod względem możliwości kontroli wpływu na określone parametry. Należy zauważyć, że w niektórych systemach produkcji, modyfikacja niektórych z tych parametrów może być wysoce niepraktyczna lub wręcz niemożliwa (Vilbergsson i in. 2016a).

Rezultatem każdego systemu produkcji jest końcowy produkt, a niektóre systemy wytwarzają również produkty wtórne, poboczne. Rozwiązania używane w obrębie akwakultury zwykle generują też dużą ilość odpadów, ścieków i ciał stałych. Procesy związane z tą kategorią związane są przede wszystkim ze zbiorem zwierząt i obejmują: selekcję, klasyfikację, podział lub grupowanie, a na końcu ich odławianie oraz drugim ważnym elementem czyli przetwarzaniem wody wyjściowej z systemu. W niektórych rozwiązaniach woda jest odprowadzana bez żadnego traktowania. Jeśli jednak woda jest zbyt zanieczyszczona, jej bezpośredni zrzut może mieć negatywne skutki dla środowiska odbiorczego, często naturalnego. Ponadto, w systemach akwakultury, gdzie jednostka hodowlana nie jest całkowicie zamkniętym obszarem, zawsze istnieje ryzyko strat zwierząt z powodu narażenia na środowisko zewnętrzne. Dlatego konieczne jest zastosowanie środków zapobiegających ucieczkom i drapieżnictwu (Bjornsdottir i in. 2016).

Na całym świecie z powodzeniem stosuje się wiele metod hodowli ryb w ramach akwakultury. Zaliczają się do nich takie metody jak: hodowla ryb w klatkach lub sadzach umieszczonych w otwartych zbiornikach wodnych, hodowla w stawach, betonowych zbiornikach typu raceway,

systemach z częściową lub całkowitą recyrkulacją wody, w warunkach akwaponiki, a także w różnego rodzaju systemach mieszanych. Systemy produkcji w akwakulturze można podzielić na trzy główne kategorie, w zależności od ilości produkowanego surowca na daną objętość (lub powierzchnię) wody: Systemy ekstensywne, wykorzystujące naturalne zasoby wodne i jak najmniejszą ingerencji człowieka. W takich systemach, ryby są hodowane w warunkach zbliżonych do naturalnych, a ich wzrost i rozwój zależą głównie od naturalnych procesów; Systemy semi-intensywne, stanowiące pośrednią formę między systemami ekstensywnymi a intensywnymi. W takich systemach, ryby mogą być hodowane w kontrolowanych warunkach, ale z wykorzystaniem naturalnych zasobów pokarmowych. Może to obejmować na przykład rozwiązania, w których ryby są karmione zarówno naturalnym pokarmem, jak i dodatkowym pokarmem dostarczanym przez hodowcę; Systemy intensywne, polegające na hodowli ryb w kontrolowanych warunkach, często w sztucznie stworzonych zbiornikach wodnych. W takich systemach, hodowcy mają pełną kontrolę nad warunkami środowiskowymi (Araujo i in. 2022).

Ekstensywna akwakultura stawowa ma swoje zalety, takie jak niski wpływ na środowisko, różnorodność biologiczna i integracja z rolnictwem. Jednak nie jest to wystarczające rozwiązanie dla rosnącego zapotrzebowania na białko pochodzenia zwierzęcego. Aby zwiększyć wydajność i efektywność akwakultury, konieczne były, są i będą innowacje technologiczne oraz wydajne zarządzanie zasobami. Ponadto duża powierzchnia stawów, charakterystycznych dla akwakultury ekstensywnej niesie ze sobą kolejną wadę: zużycie wody w słodkowodnej akwakulturze stawowej może być niezwykle wysokie. Stawy, nawet gdy są prowadzone bez wymiany wody, mają dużą powierzchnię, na której dochodzi do utraty wody przez parowanie i przesiąkanie. W obliczu zmian klimatycznych, obejmujących wzrost temperatur, spadek zasobów naturalnych i przepływów wodnych, intensyfikacja może być sposobem na ograniczenie zużycia wody oraz odpowiedzią na jej okresowe niedobory (Boyd i in. 2020). W związku z powyższym dalsze akapity skupią się na omówieniu dwóch wybranych oraz popularnych systemów produkcji intensywnej w kontrolowanych warunkach: basenów typu raceway oraz systemów RAS (recirculating aquaculture system).

Stawy betonowe

Akwakultura w UE jest silnie skoncentrowana na dwóch gatunkach, które łącznie stanowią 83% produkcji. Większość terytoriów UE znajduje się w strefie klimatu umiarkowanego, z

dużymi wahaniami temperatury w skali miesięcznej, dlatego istnieje silna sezonowość cykli produkcyjnych ryb w systemach otwartych. Dla UE-27, urząd statystyczny Unii Europejskiej podaje dane o produkcji akwakultury według metody produkcji (systemu hodowlanego). Na podstawie dostępnych danych szacuje się, że 48% produkcji słodkowodnej pochodzi z systemów przepływowych stawów/zbiorników/raceway. Wzrost temperatury, który jest trwającą tendencją, ma sprzyjać aktywności metabolicznej i tempu wzrostu karpia w warunkach Europy Wschodniej, ponieważ panujące temperatury są dalekie od jego górnej granicy preferencji termicznej. Z drugiej jednak strony, pstrąg jest gatunkiem o stosunkowo niskiej górnej granicy termicznej (za górną wartość optimum przyjmuje się temperaturę 18°C), wysokich wymogach dotyczących czystości wody i rozpuszczonego tlenu. Zatem ocieplenie może stanowić potencjalne zagrożenie dla gospodarstw rybackich skupionych na jego produkcji, gdzie udział w rocznej produkcji europejskiej w 2019 roku wynosił 152 tysiące ton (Gyalog i in. 2022).

Jednym z najstarszych modeli systemu przepływowego stosowanego w akwakulturze śródlądowej są baseny raceway. Są to sztuczne, prostokątne kanały wykonane najczęściej z betonu, które mają określony dopływ i odpływ. Wymagane jest podtrzymywanie ciągłego, wysokiego przepływu wody, aby zapewnić wymagany poziom jej jakości. Pozwala to na hodowlę zwierząt w wyższych gęstościach niż w warunkach akwakultury ekstensywnej lub semi-intensywnej. W przypadku pstrągów, oprócz parametrów fizykochemicznych, bardzo istotne jest zachowanie odpowiednio niskiej temperatury środowiska. Kluczowej dla utrzymania zdrowia i dobrostanu ryb, a także dla optymalizacji ich wzrostu i wydajności produkcyjnej, również ze względu na wysokie zapotrzebowanie na tlen, którego rozpuszczalność w wodzie wzrasta wraz ze spadkiem temperatury. Wymiana wody może być wykorzystywana do zarządzania niemal wszystkimi parametrami wody. Jednak w odpowiedzi na wyzwania ocieplającego klimatu stosuje się dwie główne metody wzbogacania wody, na etapie jej dopływu do basenów hodowlanych, w tlen: napowietrzanie oraz natlenianie.

Napowietrzanie, czasem zwane też aeracją, może być rozumiane jako dowolny system, w którym woda jest dopuszczana do kontaktu z powietrzem. Można to osiągnąć poprzez przemieszczanie kropli wody przez powietrze lub przemieszczanie bąbelków powietrza przez wodę. W systemach stawowych powszechnie stosuje się koła łopatkowe i pionowe pompy typu wirnikowego. Koła łopatkowe składają się z łopatek umieszczonych wokół obwodu koła, a

łopatki są częściowo zanurzone w wodzie. Gdy koło obraca się, woda rozbryzguje się w powietrze, tworząc dużą powierzchnię i stymulując wymianę gazów. Pionowe pompy typu wirnikowego wykorzystują zanurzone pompy do napędzania wirnika, który wyrzuca wodę w powietrze. Dyfuzor to prosta konstrukcja, która umożliwia tworzenie małych bąbelków gazu poniżej powierzchni wody. Do tworzenia bąbelków można użyć porowatej rurki lub kamieni ceramicznych, następnie unoszą się one w kolumnie wody, co umożliwia wymianę gazów. Wprowadzanie czystego tlenu do wody w celu zwiększenia jego poziomu jest praktykowane od wielu lat i można to zrobić na różne sposoby. Mimo to dostarczanie go w warunkach hodowli ryb wciąż wiąże się z wysokimi kosztami operacyjnymi, dlatego kluczowe jest, aby robić to jak najbardziej efektywnie. W systemie kolumnowym, media o dużej powierzchni są pakowane do kolumny- w sposób chaotyczny lub uporządkowany. Woda jest rozprowadzana od góry (na perforowanej płycie lub dyszy natryskowej) i przesiąka przez media, wychodząc na dole. Kolumny te mogą być używane zarówno do transferu tlenu, jak i do usuwania azotu. Nadmiar tlenu może być recyrkulowany, co skutkuje wyższą efektywnością. W drugim omawianym systemie- wieży natryskowej woda wpływa do zamkniętej komory pionowej przez dyszę natryskową znajdującą się blisko góry. Czysty tlen jest dodawany do komory, który następnie może również być recyrkulowany. Chociaż podobne w konstrukcji do kolumn wypełnionych, wieże natryskowe są mniej podatne na zatykanie i zanieczyszczenie, ponieważ nie mają materiału wypełniającego (Vilbergsson i in. 2016a).

Zarządzanie odpadami stanowi drugą kategorię problemów związanych z hodowlą pstrągów. Zaleca się usuwanie ciał stałych z odpadów z hodowli pstrągów w celu zmniejszenia obciążenia zanieczyszczeniami. W obliczu presji regulacyjnej, operatorzy farm pstrągów przyjmują strategie mające na celu poprawę jakości wody odpadowej. Takie praktyki obejmują zwiększone czyszczenie basenów produkcyjnych i obróbkę ścieków. Wyróżnić można trzy główne zanieczyszczenia są odprowadzane z obiektów akwakultury przepływowej: patogeny w postaci bakterii lub pasożytów, chemikalia terapeutyczne i antybiotyki oraz produkty metaboliczne i odpady pożywnościowe. Produkty i odpady te obejmują zarówno ciała stałe, zawiesiny drobnych cząstek oraz pojedyncze cząsteczki rozpuszczone w wodzie (Stewart i in. 2006). Cząstki mogą podrażniać skrzela ryb, odżywiać patogeny ryb, zużywać rozpuszczony tlen i zakłócać funkcje innych jednostek w systemie. Dlatego ciała stałe muszą być jak najszybciej usunięte z zbiornika hodowlanego. Ciała stałe mogą być zarówno materiałą organiczną, jak i nieorganiczną, dlatego przedstawione tutaj środki mogą być używane do

kontroli materii organicznej. Do kontroli odpadów stosuje się kilka technik: metody sedymentacji, filtry mechaniczne (ekrany lub media granulowane), czy biofiltrację. Częstki osiadające mogą być oddzielone od głównego przepływu wody z jednostki hodowlanej poprzez kontrolowanie przepływu wody do i z zbiornika oraz poprzez odpowiednie umieszczenie odpływów. W basenach z przepływem równoległym do długiej osi, przepływ wody, blisko dna jednostki hodowlanej, można zwiększyć, a pułapkę na osad można umieścić przy samym odpływie. Następnie skoncentrowany osad możliwy jest do usunięcia, podczas gdy większość objętości wody jest nadal obecna w zbiorniku. W metodach sedymentacji, względnie wyższa gęstość cząstek jest wykorzystywana do oddzielania osiadających ciał stałych od głównego przepływu wody. Często jest używany jako pierwszy etap usuwania ciał stałych. Osadnik radialny lub osadnik do zagęszczania grawitacyjnego to cylindryczny zbiornik z dopływem wody na obwodzie jednostki. Osadzalne cząstki są gromadzone w centrum osadnika i opadają na dno, skąd są ekstrahowane, podczas gdy woda ucieka z tego odpływu na obwodzie jednostki. Chemikalia (polimery, glin lub kombinacja obu) mogą być dodawane, aby zwiększyć koagulację drobnych cząstek, zwiększając ich rozmiar i prędkość opadania, szczególnie użyteczna przy cząstkach mniejszych rozmiarów. Częściej jednak stosowane- baseny osadowe to zbiorniki lub jednostki, w której przepływ wody jest spowalniany, aby umożliwić osadzanie ciał stałych pod wpływem sił grawitacyjnych. Osadzone cząstki gromadzą się na dnie lub na specjalnie skonstruowanych powierzchniach i muszą być później wydobyte z jednostki, jednak w perspektywie wielu miesięcy od rozpoczęcia użytkowania. W systemach recyrkulacyjnych o wysokiej intensywności, baseny osadowe mogą być umieszczone w linii do ponownego wykorzystania wody lub oddzielnie, gdzie są używane do dalszego przetwarzania osadu. Basen osadowy może być zaprojektowany tak, aby miał przepływ poziomy lub pionowy, ale w każdym przypadku przepływ wody przez jednostkę nie może przekraczać prędkości opadania cząstek. Najprostszym projektem jest zbiornik o dużej powierzchni i przepływie poziomym, a wlot i wylot znajdują się na przeciwnych końcach. Wylot jest umieszczony tak, aby zbierał górny przepływ wody, gdzie cząstki miały czas na opadnięcie poniżej wylotu (Vilbergsson i in. 2016a). Podczas usuwania zawieszonych i drobnych ciał stałych, które przechodzą przez metody osiadania lub separatory, membrany filtrujące, zwane też mikrofiltrami lub mikrositami, są często następnym krokiem (czasem pierwszym). Filtry te wykonane są z drobnej siatki naciągniętej na ramie. Następnie woda jest przez nią przepuszczana, pozostawiając małe cząstki na powierzchni siatki. Różne parametry wpływają na wydajność

filtrów membranowych; rozmiar porów lub samej siatki, rozmiar zanurzonej powierzchni i częstotliwość płukania wstecznego, objawiając się zdolnością przepływu filtra i pochwytywanie cząstek. Z czasem warstwa ciał stałych na filtrze staje się grubsza, zatrzymując coraz mniejsze i mniejsze cząstki. W końcu tkanina zostaje zablokowana, a woda nie może już przechodzić przez filtr, aż do czasu jego usunięcia (Sindilariu i inni, 2009). Warto nadmienić, że tak zebrane osady, podobnie jak odchody zwierząt lądowych znaleźć mogą zastosowanie jako nawozy.

RAS

Konwencjonalne systemy akwakultury przepływowej (np. omawiany raceway) wymagają dużych nakładów wody i najważniejszym czynnikiem do rozważenia jest zrównoważone w jej zaopatrzenie. Przepływ wody w tych systemach musi być wystarczająco duży, aby spełnić wymagania dotyczące rozpuszczonego tlenu lub usunąć metaboliczne odpady gatunków wodnych. Co za tym idzie, istniejąca woda w jednostce przepływowej jest w dużej mierze zastępowana nową wodą dopływową, a samoczyszczenie może nastąpić tylko wtedy, gdy w systemie zapewniona jest wystarczająco wysoka prędkość przepływu. Powszechne źródła wody w tych systemach to woda powierzchniowa, takie jak rzeki, naturalne źródła, jeziora i inne zbiorniki, a także studnie z wodą gruntową. W regionach ubogich w wodę, jedną ze strategii maksymalizacji wartości produkcji na m³ używanej wody jest hodowla gatunków o wysokiej wartości w systemach akwakultury recykulacyjnej (RAS), które minimalizują ślad wodny. Akwakultura w tym systemie (hodowla jesiotrów, węgorzy, sumów, pstrągów) rozwija się szybko, zwłaszcza w krajach, gdzie odnawialne zasoby wody na mieszkańca wynoszą poniżej 4000 m³. W Europie dominują przede wszystkim: Dania, Francja, Niemcy, Polska i Hiszpania razem stanowią 75% produkcji w tym systemie. Ograniczenia konwencjonalnego systemu akwakultury można pokonać, stosując system akwakultury recykulacyjnej. Systemy recykulacji składają się ze zbiorników hodowlanych, pomp, rurociągów filtrów mechanicznych i biologicznych, sterylizatora, napowietrzacza oraz systemu monitorowania sprzęgniętego z systemem sterowania. Ten system hodowli traktuje ścieki poprzez usuwanie toksycznych zanieczyszczeń i recykling wody, co wpływa na stosunkowo małą jej ilość zużywaną do produkcji dużych ilości ryb. System akwakultury recykulacyjnej zwykle wymaga wymiany od 5 do 10% objętości wody dziennie, w zależności od obsady i tempa

karmienia, a więc usuwanie ciał stałych, materii organicznej, amoniaku i azotanów jest kluczowe dla jego funkcjonowania.

Usuwanie odpadów w systemach RAS jest realizowane poprzez mechaniczne usuwanie ciał stałych i przekształcanie amoniaku i azotanów w azotany poprzez proces nityfikacji. Należy zauważyć, że nityfikacja nie może prowadzić do ogólnej redukcji azotowych odpadów, ale jedynie przekształca amoniak w azotany, co prowadzi do akumulacji azotanów i obniżenia pH wody hodowlanej. Dlatego bez jego dalszej obróbki systemy RAS wymagałyby wymiany 10-20% wody każdego dnia. Ponadto, wysokie stężenie azotanów w systemie RAS jest nie tylko toksyczne dla ryb, ale może też prowadzić do eutrofizacji, zwiększając tym samym koszty energii związane z dostarczaniem tlenu i usuwaniem toksyczności. Włączenie biofiltrów denityfikacyjnych do systemu RAS okazało się skutecznym rozwiązaniem tych problemów dzięki użyciu biofiltrów, redukujących nieorganiczne związki azotu, takie jak azotyny i azotany, do azotu pierwiastkowego. Tym samym redukując koszty operacyjne o około 10% (Tom i in. 2021).

Po za wyzwaniem w postaci oczyszczania wody z metabolitów istnieje szereg innych parametrów do kontroli w systemach typu RAS. Szczególnie istotne ryzyko w przypadku hodowli intensywnych wystąpienie chorób ryb, które są spowodowane przez różne mikroorganizmy, takie jak bakterie, wirusy, grzyby czy pasożyty. Choroby są głównie wprowadzane do systemu wraz z wodą, rybami lub na sprzęcie (np. sieciach, koszach czy rękawicach). Po wprowadzeniu chorób do systemu recyrkulacyjnego, zazwyczaj są one trudne do kontroli, nie tylko ze względu na zagęszczenie ryb, ale też poprzez możliwości negatywnego oddziaływania leków na mikroflorę biofiltra. Dezynfekcja ma na celu zmniejszenie ilości szkodliwych mikroorganizmów do akceptowalnych poziomów i zmniejszenie ryzyka przeniesienia chorób zakaźnych na i pomiędzy rybami. Użycie światła ultrafioletowego (UV) jako głównego procesu dezynfekcji zyskało na popularności w przypadku wody do akwakultury, ponieważ jest bardzo skuteczne w dezaktywacji bez tworzenia żadnych produktów ubocznych. Jest to również rozwiązanie praktyczne, ze względu na to, że lampy te mogą zostać zanurzone w oczyszczanej wodzie, tworząc układ przepływowy. Trzeba tylko pamiętać, że woda bogata w zawiesiny lub inne substancje pochłaniające UV zmniejsza penetrację tego światła, a tym samym jego skuteczność. Dodanie do tego systemu oczyszczania

ozonu przed traktowaniem światłem UV, zdecydowanie może zwiększyć skuteczność procesu dezynfekcji, czasem opisywanej jako jej całkowite oczyszczenie z bakterii.

Każdy gatunek ma swoją tolerancję na warunki fizykochemiczne wody oraz zakres optymalnego przetrwania i wzrostu. Jeśli temperatura wody hodowlanej musi być znacznie wyższa niż temperatura wody dopływowej, konieczne będzie zastosowanie dodatkowego grzania lub chłodzenia obiegów. Stosowanych jest wiele strategii pozwalających na uzyskanie tego efektu, a uzależnione są od lokalnych możliwości, a przede wszystkim opłacalności finansowej każdego obiektu hodowlanego. Grzałki zanurzeniowe funkcjonują jak zwykłe rezystory elektryczne, który przekształcają energię elektryczną w energię cieplną, podgrzewając wodę. W piecach paliwowych (np. na węgiel, olej czy gaz) woda może być podgrzewana na kilka sposobów: krążyć wokół komory spalania, być umieszczona w bojlerze lub istnieje możliwość nagrzewania powietrza całej hali, a tym samym, pośrednio wody. Rozwój technologii w zakresie termoregulacji budynków znajduje też zastosowanie w utrzymaniu parametrów termicznych wody- zaczyna stosować się pompy ciepła (umożliwiającej skupianie lub rozpraszanie ciepła wbrew jego gradientowi), energię geotermalną (zwojownicy, wypełnionej wodą lub płynem pośrednim, umieszczonej głęboko w ziemi i/lub w podziemnych ciekach wodnych), czy rozwiązań hybrydowych w zakresie chłodzenia i grzania wody, zależnie od potrzeb (Vilbergsson i in. 2016b). Przy okazji warto wspomnieć jeszcze o regulacji ilości tlenu oraz wartości pH w obiegach wodnych. O ile tlen dostarczany jest na podobnych zasadach co w rozwiązaniach klasycznych systemów akwakultury intensywnej, to pH stanowi większe wyzwanie. Zbyt jego niska lub wysoka wartość negatywnie wpływać będzie zarówno na ryby jak i konsorcja mikroorganizmów w biofiltrach, w skrajnych wartościach uniemożliwiając wzrost czy funkcjonowanie całego systemu. W warunkach akwakultury, głównym problemem jednak jest nadmierne zakwaszenie wody, głównie na skutek przemian azotowych i fosforowych w wodzie. Ten spadek pH kompensuje się głównie poprzez stosowanie wlewek wodorotlenku sodu- celem jego zwiększenia.

System recyrkulacji wody w akwakulturze wzbudził duże zainteresowanie na całym świecie. Jednak jego produkcja na skalę komercyjną nie została jeszcze osiągnięta, mimo postępów, które badania przyniosły w ciągu ostatnich kilku dziesięcioleci. Koszty energii, związane z intensywną produkcją ryb, są główną przeszkodą dla rozszerzenia inwestycji w tę technologię.

Filtracja biologiczna, napowietrzanie, cyrkulacja wody i kontrola temperatury są niezbędne do uzyskania dobrych wyników. Dlatego użycie silników, pomp, grzałek i urządzeń wentylacyjnych sprawia, że energia jest fundamentalnym elementem całego procesu. Jednakże nie jest jeszcze możliwe potwierdzenie ekonomicznej opłacalności tego systemu, ponieważ w dużej mierze zależy on od równowagi między wysokim kapitałem do zainwestowania a kosztami operacyjnym (Araujo i in. 2022). To jednak systemy typu RAS z tych samych względów znalazły szerokie zastosowanie w działaniach wymagających olbrzymiej dokładności, bezpieczeństwa, powtarzalności i stabilizacji parametrów wody. Głównie stosowanych; w badaniach naukowych, by wykluczyć fałszowanie wyników innymi czynnikami niż ten badany; w produkcji małych, ale za to cennych ryb ozdobnych; w wylęgarniach, dla optymalnego rozwoju zarodków i młodocianych stadiów ryb oraz utrzymania najcenniejszych ryb, w tym tarlaków niektórych gatunków. Systemy te zastosowanie na przykład w produkcji ryb z rodziny jesiotrowatych, gdzie globalna produkcja opiewała na 120 000 ton mięsa i 700 ton kawioru w 2017 roku, produktu określanego jako luksusowy. Pomimo szerokiej możliwości do przystosowania się do warunków termicznych (mieszczących się w zakresie od 10°C do 32-35°C), charakteryzują się bardzo długimi okresami dojrzewania płciowego (od 7 do 30 lat- zależnie od gatunku). Tym samym czyniąc tarlaki jednymi z najcenniejszych ryb na świecie (Raposo i in. 2023).

Literatura

Araujo, G. S., Silva, J. W. A. da, Cotas, J., Pereira, L. (2022). Fish Farming Techniques: Current Situation and Trends. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(11),s.1598. <https://doi.org/10.3390/jmse10111598>

Bjornsdottir, R., Oddsson, G., Thorarinsdottir, R., Unnthorsson, R. (2016). Taxonomy of Means and Ends in Aquaculture Production—Part 1: The Functions. *Water*, 8(8),s.319. <https://doi.org/10.3390/w8080319>

Boyd, C. E., D'Abramo, L. R., Glencross, B. D., Huyben, D. C., Juarez, L. M., Lockwood, G. S., McNevin, A. A., Tacon, A. G. J., Teletchea, F., Tomasso, J. R., Tucker, C. S., Valenti, W. C. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future

needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3),s.578–633.
<https://doi.org/10.1111/jwas.12714>

Gyalog, G., Cubillos Tovar, J. P.,Békefi, E. (2022). Freshwater Aquaculture Development in EU and Latin-America: Insight on Production Trends and Resource Endowments. *Sustainability*, 14(11), 6443. <https://doi.org/10.3390/su14116443>

Raposo, A., Alturki, H. A., Alkutbe, R.,Raheem, D. (2023). Eating Sturgeon: An Endangered Delicacy. *Sustainability*, 15(4), 3511. <https://doi.org/10.3390/su15043511>

Sindilariu, P.-D., Brinker, A.,Reiter, R. (2009). Waste and particle management in a commercial, partially recirculating trout farm. *Aquacultural Engineering*, 41(2),s.127–135.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2009.03.001>

Stewart, N. T., Boardman, G. D.,Helfrich, L. A. (2006). Treatment of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) raceway effluent using baffled sedimentation and artificial substrates. *Aquacultural Engineering*, 35(2), s.166–178. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2006.01.001>

Tom, A. P., Jayakumar, J. S., Biju, M., Somarajan, J.,Ibrahim, M. A. (2021). Aquaculture wastewater treatment technologies and their sustainability: A review. *Energy Nexus*, 4(July), 100022. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2021.100022>

Vilbergsson, B., Oddsson, G.,Unnthorsson, R. (2016a). Taxonomy of Means and Ends in Aquaculture Production—Part 2: The Technical Solutions of Controlling Solids, Dissolved Gasses and pH. *Water*, 8(9), 387. <https://doi.org/10.3390/w8090387>

Vilbergsson, B., Oddsson, G.,Unnthorsson, R. (2016b). Taxonomy of Means and Ends in Aquaculture Production—Part 3: The Technical Solutions of Controlling N Compounds, Organic Matter, P Compounds, Metals, Temperature and Preventing Disease. *Water*, 8(11), 506. <https://doi.org/10.3390/w8110506>

Rozdział 2. Innowacyjne metody integrowania intensywnego chowu ryb z tradycyjną akwakulturą niskointensywną.

Mirosław Cieśla¹, Jerzy Śliwiński²

1 - *Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Rolniczy Zakład Doświadczalny w Żelaznej*

2 - *Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Samodzielny Zakład Ichtiologii i Biotechnologii w Akwakulturze*

Wstęp

Akwakultura to chów i hodowla organizmów zwierzęcych i roślinnych w środowisku wodnym, przeznaczonych do spożycia przez ludzi oraz do celów przemysłowych. Jest to sektor, który w ostatnim ćwierćwieczu rozwijał się najdynamiczniej spośród wszystkich branż zajmujących się produkcją żywności. Pół wieku temu z akwakultury pochodziło około 2 milionów ton żywności, podczas gdy obecnie jest to około 120 milionów ton, zwierząt i alg łącznie (FAO 2020). W ujęciu procentowym akwakultura rozwijała się w tempie 8% rocznie, czyli kilkakrotnie szybciej niż przykładowo produkcja drobiu czy wieprzowiny.

Akwakultura dostarcza obecnie więcej produktów a niżeli pozyskiwanych jest z wód naturalnych. W roku 2020, co pokazują najnowsze dane FAO, łączna produkcja ryb i innych organizmów wodnych przeznaczonych do spożycia przez ludzi oraz dla przemysłu, wyniosła 214 milionów ton. Nigdy w historii nie osiągnięto takiego rezultatu, ale zaskakujące jest

również to, że z akwakultury pochodziło aż 57% tej produkcji. Oznacza to, że więcej niż połowa żywności „z wody” wytwarzanej jest w warunkach kontrolowanych przez człowieka.

Należy jednak mieć na uwadze, że wskaźniki dynamicznego wzrostu produkcji dotyczą właściwie tylko Azji, która dostarcza około 75% wolumenu produkcji światowego sektora akwakultury. Kraje Unii Europejskiej, w tym także Polska, są największymi na świecie importerami ryb i innych produktów żywnościowych pozyskiwanych z wód. Unia Europejska produkuje średniorocznie 1,1 miliona ton takiej żywności, czyli zaledwie 8% produkcji ogólnoświatowej. Jednocześnie ich spożycie jest trzykrotnie wyższe (około 3,5 miliona ton). W roku 2030 konsumpcja ma wynosić 4,5 miliona ton, czyli niemal pięciokrotnie więcej niż produkcja. Tempo wzrostu produkcji europejskiego sektora akwakultury wynosi zaledwie 0,5% rocznie i jest niezmiennie w dwóch ostatnich dekadach (FAO 2020).

Krajowa sytuacja na rynku produktów akwakultury jest lustrzanym odbiciem opisanej dla krajów UE. Nasza własna, krajowa podaż ryb, obejmująca zarówno produkcję w sektorze akwakultury jak i połowy wynosi 150 tys. ton rocznie. Zapotrzebowanie szacowane jest na poziomie 500 tys. ton rocznie, czyli jest trzykrotnie mniejsze niż podaż. Wartości te zmieniają się corocznie, ale w sposób nieznaczny, co powoduje, że ogólny trend pozostaje niezmienny od lat – własna produkcja pokrywa zaledwie 30% zapotrzebowania.

Naturalną reakcją rynku na tak dużą dysproporcję pomiędzy podażą a zapotrzebowaniem winno być stałe zwiększanie produkcji ryb, co jednak nie ma miejsca. Połowy ryb do celów konsumpcyjnych stały się obecnie właściwie symboliczne ze względu na zakazy połowów w Bałtyku oraz brak dostępu do łowisk na innych wodach morskich. Produkcja z sektora akwakultury w ostatnich latach wykazuje trend wzrostowy jednak o ile produkcja pstrągów zwiększyła się w ciągu ostatnich trzydziestu lat z 5000 ton do 20000 ton (Goryczko i Grudniewska 2023) to produkcja karpia utrzymuje się na niezmiennym poziomie i wynosi około 20000 ton rocznie z niewielkimi wahaniami w zakresie 2000-3000 ton (Hryszko i in.2018). Nasuwa się pytanie; dlaczego produkcja karpia nie zwiększa się z roku na rok, jeżeli popyt na ryby jest w naszym kraju tak duży? Dlaczego gatunek stanowiący niemal 9% światowej akwakultury, czyli dwukrotnie więcej niż chociażby łososia (FAO 2020) nie stał się liderem naszej krajowej akwakultury? Dlaczego w naszym kraju konsumpcja karpia pozostaje od lat na poziomie 0,5 kg/osobę rocznie ? Dlaczego, pomimo znacznego wzrostu społecznej świadomości o prozdrowotnych walorach ryb, popyt na karpia, i tym samym jego produkcja,

nie rozwija się w takim tempie, jak w przypadku akwakultury światowej? Innymi słowy, dlaczego karp nie stał się absolutnym dominatorem polskiej akwakultury, a jego produkcja nie podwaja się z każdą dekadą ?

Aktualna sytuacja rynkowa i produkcyjna karpia i obiektów karpiowych

Powodów stagnacji produkcji ryb w stawach karpiowych jest wiele, od lat niezmiennych, a do najważniejszych z nich zalicza się występowanie chorób ryb oraz silna i stale rosnąca presja szkodników ryb (Lirski i in. 2010, Lirski i Myszkowski 2017, 2018, Hryszko i in.2018). Odpowiedzi na to pytanie należy szukać także w tym, jak obecnie widziany, postrzegany i przedstawiany jest karp na rynku ryb. Jak charakteryzowana jest ta ryba ? Zależy to od tego, kto o nim mówi.

Dla hodowców karpia jest to ryba (Varadi i in. 2001):

- o bardzo dobrym mięsie
- perspektywiczna
- wyjątkowa
- atrakcyjna, szczególnie do połowów wędkarskich
- doskonała na szczególne okazje
- powinna być jedzona przez cały rok, nie tylko „od święta”

Natomiast konsumenci ryb widzą karpia inaczej. W badaniach ankietowych (Kulikowski 2011) wskazują, że karp jest:

- trudny do samodzielnego sprawienia w domu, a przecież oferowany głównie w postaci ubijanej przy zakupie lub nawet żywej, niepatroszony
- ościsty
- mięso czuć mułem
- rybą tłustą
- rybą o niewielkich walorach odżywczych

- rybą sezonową, tradycją związaną z Wigilią Świąt Bożego Narodzenia, a poza tym okresem zapominaną

- gatunkiem „z przeszłości i bez przyszłości”, rybą naszych mam a nawet babć

Karp z pewnością należy do grupy ryb o stosunkowo ościstym mięsie i jest trudny lub wręcz niemożliwy do masowego zmechanizowanego przetwarzania ze względu na brak standaryzacji wielkości. Zróżnicowanie wielkościowe ryb jest efektem chowu w warunkach naturalnej termiki środowiska, w oparciu o duży udział pokarmu naturalnego pobieranego przez poszczególne osobniki w różnych ilościach. Karpie w tych warunkach wykazują zróżnicowany potencjał wzrostowy. Trudno w takiej sytuacji skonstruować maszyny, które pozwolą skutecznie patroszyć i filetować te ryby.

Mięso karpia nie powinno być zaliczone do tłustych, gdyż zawiera przeciętnie około 5% tłuszczu. I pomimo, że wiele publikacji wykazuje faktyczną zawartość tłuszczu w mięsie poszczególnych gatunków ryb przekraczającą 5%, to jednak właśnie do karpia przyłgnęła opinia, że ma on tłuste mięso. Dla porównania mięso pstrąga tęczowego zawiera podobną ilość tłuszczu jak u karpia, a mięso łososia aż 25%.

Nieprawdziwe jest również twierdzenie, że mięso karpia ma mulisty posmak. Cechy organoleptyczne są z pewnością swoiste i charakterystyczne, jak mięsa wołowego, wieprzowiny czy dziczyzny. Zmiana posmaku mięsa karpia, jeżeli ma miejsce, wynika ze złych warunków przetrzymywania ryb przed sprzedażą i w trakcie transportu. Dlatego też najlepszym sposobem na to, by poznać prawdziwy smak mięsa karpia jest nabycie ryb bezpośrednio od producenta czyli praktyczne zastosowanie zasady krótkiego łańcucha dostaw co w przypadku ryb ma szczególne znaczenie dla zachowania ich walorów konsumpcyjnych. A ponieważ stawy karpiove rozrzucone są po całej Polsce, znalezienie stawowego gospodarstwa karpiovego w swoim sąsiedztwie nie powinno być trudne.

Z przykrością należy stwierdzić, że bardzo nikła jest wiedza na temat jakości mięsa karpia. Karp nie powinien być także postrzegany jedynie jako tradycyjna ryba wigilijna. To przede wszystkim ryba o łatwostrawnym mięsie, bogatym w składniki odżywcze, dostarczająca naszemu organizmowi niezbędnych dla naszego zdrowia wielonienasyconych kwasów tłuszczowych. Przysłowiowe jedno dzwonko karpia zaspokaja dzienne zapotrzebowanie dorosłego człowieka między innymi na wielonienasycone kwasy tłuszczowe, w tym EPA i

DHA, odpowiadające za ochronę naszego organizmu przed chorobami wieńcowymi, zmianami miażdżycowymi i innymi tzw. „chorobami cywilizacyjnymi”. Jest to innymi słowy żywność funkcjonalna, mająca nie tylko walory odżywcze, ale także prozdrowotne (Guziur i Woźniak 2006).

W kontekście powyższych danych trudno zgodzić się także z twierdzeniem, że karp to gatunek, który powinien być odstawiony do przysłowiowego „lamusa”, że jest to ryba bez przyszłości (Gal i in.2015). Twierdzenie, że gatunek dający 8% światowej akwakultury jest gatunkiem przegrany nie ma jakichkolwiek podstaw merytorycznych. Warto też mieć na uwadze, że chów karpia jest znacznie mniej uciążliwy dla środowiska niż chów jakiegokolwiek innego gatunku ryb (Kuczyński 2010), czy gatunku zwierząt. Mając na uwadze strategiczne założenia rozwoju europejskiej akwakultury w sposób zrównoważony (Blue Farming, EU 2021), to właśnie produkcja karpia winna być szczególnie wspierana i promowana. Produkcja karpia w stawach ziemnych wręcz modelowo wpisuje się w założenia zrównoważonego rozwoju akwakultury na świecie oraz tzw. błękitnej transformacji - Blue Transformation.

Niezależnie od przytoczonych argumentów przemawiających na korzyść rozwoju tradycyjnej niskointensywnej produkcji karpia, przekaz o konieczności poszukiwania nowego lub może lepiej uzupełniającego w stosunku do karpia produktu dla polskiej akwakultury karpiowej stał się faktem (Hryszko i in.2018). Również sami hodowcy dostrzegają konieczność dywersyfikowania swojej produkcji o inne, bardziej atrakcyjne rynkowo i bardziej pożądane gatunki (Strategia Karp 2020). Dotyczy to nie tylko Polski, ale też innych krajów tzw. „karpiowych” krajów Unii Europejskiej (Węgry, Czechy, Niemcy, Litwa, Rumunia) w których mówi się o celowości czy wręcz konieczności zmiany oblicza tradycyjnej akwakultury i jej uzupełnieniu o produkcję gatunków tzw. perspektywicznych (Adamek i in. 2009, Gal i in. 2015, Varadi i in.2001). Do grupy tych gatunków zalicza się te, dla których prognozuje się stale rosnący popyt w nadchodzącej przyszłości i zalicza się tu pstrągi, jesiotry, sumy, okonie, sandacze czy szczupaki. Spośród wymienionych gatunków sandacze, szczupaki, sumy, okonie a nawet i w ostatnich latach jesiotry są produkowane w stawach karpiowych, ale jako gatunki tzw. dodatkowe. Są wpuszczane do stawów wraz z karpiami, bez stwarzania dla nich specyficznych gatunkowo warunków wzrostu, a odłów finalny jest w dużej mierze dziełem przypadku. Powoduje to dużą zmienność wyników produkcyjnych, które częściej są słabe lub złe niż dobre, co z kolei uniemożliwia budowanie skutecznej strategii zbytu. A tylko pewność

stałej podaży może być gwarancją budowy stabilnego rynku i tym samym źródła dochodów dodatkowych, pochodzących z dywersyfikacji oferty handlowej. Złe wyniki chowu wymienionych „gatunków perspektywicznych” z karpami w stawach ziemnych są przede wszystkim wynikiem tego, że są to gatunki o wymaganiach środowiskowych znacznie większych niż karpie. Stawy karpiove budowane były i są dla karpia, gatunku stosunkowo odpornego na manipulacje i zmiany parametrów środowiska wodnego, takie jak natlenienie wody, jej temperatura czy odczyn. Trudno więc oczekiwać, że gatunki znacznie bardziej wrażliwe będą rosły równie dobrze, w warunkach odbiegających znacznie od ich optimum fizjologicznego jak mniej wymagające karpie.

Zapewnienie stabilnej produkcji perspektywicznych rynkowo gatunków ryb wymaga zmiany myślenia o ich chowie w warunkach stawów karpiowych i wykorzystania do tego celu nowych technologii. Jedną z możliwości są z pewnością systemy zintegrowane, łączące intensywny tuczu wybranego atrakcyjnego rynkowo gatunku z tradycyjną produkcją karpia w stawach ziemnych. W tego typu rozwiązaniach staw karpiovy jest pułapką na biogeny pochodzące z jednostki intensywnego tuczcu gatunku bardziej cennego rynkowo np. jesiotra, okonia czy pstrąga (Brune i in. 2004, Gal i in. 2015, Varadi i in. 2001).

Ocena możliwości wykorzystania poszczególnych kategorii stawów karpiowych do zintegrowanych systemów produkcji

Jak już wspomniano, ideą zintegrowanych systemów intensywno-ekstensywnych jest wykorzystanie do produkcji wydzielonej instalacji do tuczcu wybranego gatunku, a tradycyjny staw ziemny jest pułapką na biogeny. W przypadku wykorzystywania w tym celu stawów karpiowych możliwa jest równoczesna produkcja karpia w takich stawach, na poziomie niskointensywnym, do około 1500kg/ha (Gal i in. 2015, Varadi i in. 2001).

Tradycyjna niskointensywna gospodarka karpiova w stawach ziemnych od niemal dwóch wieków bazuje na tzw. metodzie Dubisza (Dubischa). Polega ona na podzieleniu całego cyklu produkcyjnego na etapy/fazy (Kuczyński 2010). Po osiągnięciu jednego etapu wzrostu następuje przeniesienie rosnących karpia do nowego stawu, dedykowanego kolejnemu stadium z jednoczesnym zmniejszeniem ich zagęszczenia na jednostkę powierzchni. Dlatego też obiekty karpiove składają się z reguły z szeregu kategorii stawów, spełniających różne funkcje. Są to: tarliska, przesadki I, przesadki II, stawy kroczkowe, stawy towarowe, zimochowy i magazyny. Spośród wymienionych grup stawów typu karpiovego tarliska oraz przesadki I nie powinny

być uwzględniane we wprowadzaniu do nich zintegrowanej produkcji intensywno-ekstensywnej. Są to stawy dedykowane najmłodszym i najbardziej wrażliwym na wszelkiego rodzaju zagrożenia stadiom rozwojowym karpia. Pozostałe kategorie stawów z powodzeniem mogą być rozważane do łączenia w nich chowu karpia z intensywnymi technologiami tuczu alternatywnych wobec karpia gatunków ryb. Poniżej zamieszczono ich krótką charakterystykę.

Przesadki II – są przeznaczone do produkcji narybku jesiennego, użytkowane są od czerwca do października/listopada, a w niektórych obiektach służą również do zimowania narybku pomiędzy pierwszym a drugim rokiem produkcji. Przesadki II stanowią około 15 % obiektu stawowego, natomiast liczba przesadek jest różna i zależy od wielkości danego obiektu, długości realizowanego cyklu produkcyjnego, dyspozycyjnej wody i zwyczajowo przyjętej technologii produkcji. Powierzchnia jednej przesadki II może wynosić nawet kilkanaście hektarów, a głębokość dochodzi do 2m.

Zimochowy narybkowe lub kroczkowe – to stawy przeznaczone do przetrzymywania rocznego (narybku) lub dwuletniego (kroczków) materiału obsadowego karpia przez okres zimowy. W okresie letnim stawy te pozostają puste, aby można było je dokładnie zdezynfekować i uprawić, i aby podlegały naturalnej dezynfekcji w wyniku działania promieniowania słonecznego. Zimochowy narybkowe zajmują przeciętnie 5 % powierzchni gospodarstwa, zimochowy kroczkowe około 15 % obiektu. Ich liczba jest zależna od liczby przesadek II, przyjętego systemu zimowania materiału oraz obsadzania stawów kolejnych kategorii. Zimochowy mają z reguły powierzchnię do kilku hektarów, jak przesadki I, ale są to stawy zdecydowanie głębsze, dochodzą nawet do 3m głębokości, aby zapewnić karpom odpowiednie warunki zimowania.

Stawy kroczkowe – stawy przeznaczone do wychowu dwuletniego materiału obsadowego karpia, czyli kroczków. Stawy te wykorzystywane są głównie w okresie letnim, zimą z reguły pozostają puste. Liczba stawów tej kategorii zależna jest od przyjętego cyklu produkcyjnego i zapotrzebowania na kroczi w kolejnym roku, ich udział w powierzchni typowego obiektu karpiego wynosi około 20%.

Stawy towarowe – największa powierzchniowo kategoria stawowa w każdym gospodarstwie karpowym. Przeznaczone są do produkcji karpia konsumpcyjnych w cyklu dwu- lub trzyletnim. Stawy tej kategorii stanowią 50 – 75 % obiektu, zależnie od długości realizowanego cyklu produkcyjnego oraz posiadania lub braku innych kategorii stawów. Stawy towarowe użytkowane są od wiosny do jesieni, ale w niektórych gospodarstwach, cierpiących na deficyty

wody, napełniane są wodą już jesienią danego roku, a nawet obsadzone już na zimę. Ich liczba zależna jest w głównej mierze od powierzchni wytypowanej pod wychów młodszych kategorii karpia

Magazyny – stawy przeznaczone są do przetrzymywania odłowionych ze stawów towarowych karpia handlowych do czasu sprzedaży w okresie Świąt Bożego Narodzenia. Powierzchnia magazynów stanowi przeciętnie 1 – 2 % powierzchni gospodarstwa, a przeciętna powierzchnia stawu-magazynu to 500m².. Natomiast ich liczba wynosi z reguły nie mniej niż 5 sztuk. Okres użytkowania magazynów jest krótki, z reguły trwa od października do grudnia danego roku.

Innowacyjne metody integrowania intensywnej produkcji ryb z tradycyjną niskointensywną gospodarką karpiową

Idea połączenia tradycyjnej gospodarki karpiowej, prowadzonej w stawach ziemnych, z intensywną produkcją zwierzęcą zrodziła się najprawdopodobniej w Chinach, gdzie łączono produkcję karpia i jemu podobnych gatunków ryb z produkcją bydła, świń czy drobiu. Stawy typu karpiowego były odbieralnikiem płynnej materii organicznej (gnojówki, gnojowicy) pochodzącej z farm zwierzęcych. Duża ilość doprowadzanych nutrientów stymulowała intensywny rozwój pokarmu naturalnego, czego efektem były wysokie przyrosty ryb i tym samym wysoka produkcja. W Polsce również próbowano wdrażać takie rozwiązania, a dotyczyło to przede wszystkim chowu kaczek na stawach, w mniejszym stopniu owiec czy nutrii. Podejmowano też obserwacje dotyczące możliwości utylizacji w stawach karpiowych płynnych odpadów z ferm drobiu, ale rozwiązania te nie przyjęły się w naszym kraju (Pilarczyk i in. 2016).

Idea integrowania intensywnej produkcji ryb z niskointensywną produkcją stawową lub z wykorzystaniem stawu ziemnego jako pułapki na biogeny z instalacji służącej intensywnej akwakulturze zrodziła się i była rozwijana w latach 80. i 90. ubiegłego stulecia w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej. Badania te zakończyły się wypracowaniem technologii nazwanej PAS (Partitioned Aquaculture Systems) (Brune i in. 2004), co można przetłumaczyć na język polski jako „wydzielone systemy akwakultury”. Głównym założeniem tej technologii jest wybudowanie/umieszczenie instalacji służącej intensywnej produkcji ryb w stawie ziemnym lub w jego bezpośrednim sąsiedztwie. Woda odprowadzana z instalacji służącej intensywnej produkcji podlega procesom naturalnego oczyszczania w stawie ziemnym i jest powtórnie wykorzystana w układzie intensywnego tuczu ryb. Tym samym wyeliminowany

zostaje problem utylizacji czy też oczyszczania bogatych w nutrieny wód pochodzących z jednostki intensywnego tuczu, ponieważ są one wychwytywane w stawie. W oryginalnym rozwiązaniu technologii PAS taka „wydzielona jednostka” budowana była jako betonowy basen/baseny typu raceway wewnątrz stawu ziemnego. Jest to jednak rozwiązanie bardzo kosztowne i skomplikowane technicznie ponieważ :

- wymaga skomplikowanych robót budowlanych w stawie, który na czas budowy musi zostać wyłączony z produkcji;
- wymaga znacznych nakładów finansowych ze względu na prowadzenie tych prac w trudnym terenie stawowym;
- konieczne jest wybudowanie systemu wymuszonego obiegu wody;

Biorąc pod uwagę kondycję ekonomiczną sektora karpiego w Polsce (Wołos i in. 2015, Lirski i Myszkowski 2017, Lirski i Myszkowski 2018, Lirski i in. 2020), wykonanie takich instalacji przez hodowców karpia byłoby trudne lub wręcz niemożliwe ze względów ekonomicznych. Technologia PAS nie zakładała również obsady stawu ziemnego rybami, staw miał służyć jedynie jako wspomniana pułapka na biogeny. Tym samym potencjał produkcyjny stawu karpiego nie byłby wykorzystywany do produkcji karpia, co jest nieuzasadnione z ekonomicznego punktu widzenia. Dlatego też w krajach europejskich opracowano rozwiązania zmodyfikowane, które zawierają w sobie element wydzielenia w stawie karpim instalacji intensywnego tuczu, ale jednocześnie z utrzymaniem produkcji karpia na poziomie niskointensywnym, do 1500kg/ha.

Basen + staw

W rozwiązaniu typu „basen + staw” instalacją służącą do intensywnego tuczu są baseny ustawione na grobli. Woda pochodząca odprowadzana jest grawitacyjnie do stawu, gdzie podlega procesom naturalnego oczyszczania, użyznia staw karpim i stymuluje rozwój pokarmu naturalnego pobieranego przez karpie obsadzone w stawie. Baseny zasilane są wodą pompowaną ze stawu, w którym podlega oczyszczeniu i może z powodzeniem być na powrót wykorzystana w instalacji intensywnego tuczu w basenach. Technologia ta może być zastosowana na niemal wszystkich kategoriach stawów karpim, z wyłączeniem tarlisk i

przesadek I, co wyjaśniono wcześniej, oraz z wyłączeniem magazynów, których powierzchnia jest raczej zbyt mała, aby efektywnie oczyszczać wody pochodzące z instalacji. Do zalet tej metody z pewnością należy zaliczyć łatwość montażu i budowy samej instalacji oraz jej późniejszej eksploatacji. Niewątpliwą wadą jest konieczność zastosowania energochłonnych pomp dużej wydajności, ponieważ woda musi być pompowana na znaczną wysokość ponad lustro wody w stawie.

Staw w stawie

Jest to technologia, w której wydzieloną instalacją służącą do intensywnego tuczu ryb jest basen pływający w stawie karpowym. Rozwiązanie to jest znacznie korzystniejsze niż technologia „basen + staw”, ponieważ nakład energetyczny na wymuszenie przepływu wody jest znikomy. Ponieważ basen zanurzony jest w stawie wystarczy „podnieść” poziom wody o kilka centymetrów, aby uzyskać jej przepływ. Dlatego też, zamiast pompować wodę do basenu stosuje się tzw. pompę mamut, zwaną inaczej windą powietrzną. Wykorzystując zjawisko zwiększania objętości wody silnie zmieszanej z powietrzem, stosuje się w tej technologii dmuchawy powietrza, aby zwiększyć objętość wody i wywołać przepływ przez basen i jednocześnie uzyskać w ten sposób wodę o bardzo dobrej jakości pod względem zawartości tlenu. Dmuchawa powietrza pobierająca 0,3-0,5kW z powodzeniem wystarcza, aby utrzymać stały przepływ i kilkukrotną w ciągu godziny wymianę wody w basenie o kubaturze 12-15m³. Technologia ta z powodzeniem może być stosowana we wszystkich kategoriach stawów karpowych z wyłączeniem tarlisk, przesadek I oraz magazynów.

Split pond - staw dzielony

Jest to technologia, w której staw karpowy jest podzielony w poprzek na część tuczową (1/3 powierzchni) oraz lagunę oczyszczającą wody pochodzące (2/3 powierzchni). Część tuczowa, jak sama nazwa wskazuje, służy do intensywnego tuczu ryb. Laguna oczyszczająca służy do wychwytywania biogenów. W części tej buduje się dodatkowy system ekranów czy przegród, które wydłużając czas przepływu wody przez lagunę, powodując jej dokładniejsze oczyszczenie. Technologia ta jest bardzo zbliżona do klasycznej technologii PAS, przy czym zamiast budowy kosztownej wydzielonej jednostki tuczowej i skomplikowanego systemu wymuszania wody, staw podzielony jest przy użyciu znacznie tańszych ekranów wykonanych z profili z tworzywa sztucznego lub nawet folii rozpiętej na palach. Natomiast ruch wody pomiędzy obydwojema częściami wymuszany jest przy użyciu pompy mamut, gwarantujących

stabilną cyrkulację i jednocześnie wysokie natlenienie wody. Wymianę wody pomiędzy obydwoma częściami instalacji zapewniają kraty, które umożliwiają migrację wody, ale uniemożliwiają migrację ryb. Do tego typu technologii nadają się właściwie jedynie magazyny karpiove, ponieważ są stawami o niewielkiej powierzchni i łatwo zaadaptować je do tego typu produkcji. Poza tym, mogą one nadal pełnić funkcję stawów-magazynów poza okresem wykorzystywania ich jako instalacji do intensywnego tuczu.

Stawowy system recyrkulacyjny

Stawowy system recyrkulacyjny to niewątpliwie najbardziej zaawansowana technologicznie formuła modyfikacji klasycznej technologii PAS w stawach typu karpiovego. Tucz prowadzi się w specjalnie w tym celu instalacji wybudowanej dosłownie w grobli stawowej lub do tuczu wykorzystuje się cały niewielki staw karpiovy. Część tuczowa jest połączona z typowym karpiovy stawem hodowlanym systemem rur umożliwiających doprowadzenie czystej wody oraz odprowadzenie wód pochodowlanych, bogatych w nutrienty, do stawu, w którym odbywa się normalna produkcja karpia. Jeżeli więc planuje się wykorzystać w tej technologii już istniejący staw do intensywnego tuczu ryb, to jedyną kategorią są właściwie tylko stawy-magazyny, ze względu na swoją wielkość. Natomiast, jeżeli hodowca planuje budowę nowej instalacji, to powinna ona być lokowana z wyłączeniem magazynów, również ze względu na ich niewielką powierzchnię i ograniczone możliwości ich wykorzystania jako pułapki na biogeny.

Podsumowanie

Opisane w niniejszym rozdziale innowacyjne rozwiązania technologiczne, służące zintensyfikowanej produkcji bardziej atrakcyjnych i perspektywicznych rynkowo gatunków niż karp w obiekcie stawowym typu karpiovego, mają z pewnością bardzo wstępny charakter i wymagają kontynuacji. Ich działanie było dotychczas testowane przez dwa-trzy lata w niewielkiej skali w ramach projektów innowacyjnych, finansowanych ze środków sektorowego programu operacyjnego dla rybactwa. Są to pierwsze tego typu instalacje w naszym kraju i co niezmiernie istotne mają one charakter w pełni produkcyjny nie zaś modelowy czy pokazowy. Uniwersalny charakter omawianych technologii daje możliwość prowadzenia badań na dowolnym właściwie gatunku, co również stanowi ich ogromny walor poznawczy.

Wyniki dotyczące możliwości chowu pstrągów tęczowych, okoni czy jesiotrów w nowoczesnych systemach intensywnych działających w stawach karpionych z pewnością potwierdzają bardzo duży potencjał produkcyjny, jaki drzemie w stawach typu karpionego. Przy czym potencjał ten musi zostać wykorzystany i uruchomiony w inny niż dotychczas sposób. Dotychczas to wybrane gatunki ryb jako obsada dodatkowa trafiały do stawu z karpami. Innowacyjne i nowoczesne podejście do tego zagadnienia musi zakładać dołożenie wydzielonej jednostki produkcyjnej, dostosowanej technologicznie do intensywnej produkcji konkretnego dodatkowego gatunku, która jest zintegrowana zarówno funkcjonalnie, jak i lokalizacyjnie z klasycznym obiektem karpionym.

Istotnym elementem opisanych technologii jest również to, że mają one charakter modułowy i są rozwiązaniami stosunkowo prostymi i tanimi po względem inwestycyjnym, finansowym i wykonawczym. Hodowca, który będzie chciał wdrożyć w swoim obiekcie karpionym któreś z opisanych rozwiązań może zacząć od wybudowania jednej niewielkiej instalacji i w zależności od uzyskanych wyników produkcyjnych rozwijać ją poprzez dobudowanie kolejnych modułów bądź zakończyć swoją „przygodę” ze zintegrowanymi systemami intensywno-nisko intensywnymi. Każdy hodowca będzie musiał prowadzić własne obserwacje w wyciągać z nich stosowne wnioski, aby optymalnie wykorzystać daną technologię w warunkach swojego obiektu karpionego.

Wadą wszystkich omówionych rozwiązań jest ich całkowita zależność od energii elektrycznej, która zasila systemy napowietrzania wody, umożliwia jej pompowanie oraz wymianę pomiędzy częścią tuczową i częścią służącą jako pułapka na biogeny. Za wyjątkiem technologii „stawu dzielonego” (split pond) nawet krótkotrwały, kilkudziesięciosekundowy, zanik zasilania jest właściwie równoznaczny ze stratą całej obsady. Ponadto, celem zagwarantowania bezpieczeństwa produkcji i prawidłowego działania poszczególnych części każdej z opisanych technologii niezbędne jest zainstalowanie systemów powiadamiania o awariach oraz awaryjnego systemu „podtrzymywania życia”. Przyrosty hodowanych ryb w całości oparte są na paszach pełnoporcjowych dostarczanych stale przez hodowcę. Są to rozwiązania kanonicznie odmienne od tradycyjnego chowu karpia w stawach. Rozwiązania te wymagają bowiem zmiany filozofii myślenia o produkcji rybackiej i tutaj kluczowym ogniwem jest człowiek – obsługa, która będzie mieć świadomość, że nowa technologia wymaga nowego sposobu myślenia o rybactwie. Tradycyjna niskointensywna gospodarka karpionowa to z pewnością działalność typu

„slow”. Nowoczesne zintegrowane technologie są jej przeciwieństwem – to rozwiązania typu „fast” i ten element musi zostać uwzględniony w podejmowaniu decyzji o wdrożeniu tego typu rozwiązań w obiekcie typu karpiego. Nie jest bowiem możliwe podanie gotowych rozwiązań na każdą sytuację, bo właściwie nie ma dwóch jednakowych obiektów karpiojących. Ale zainspirowanie potencjalnych użytkowników wdrożeniem tych technologii powinno przynieść pozytywny efekt zarówno w wymiarze ekonomicznym, jak też i w postaci większej satysfakcji zawodowej.

Literatura

Adamek Z., Gal D., Pilarczyk M. (2009). Carp farming as a traditional type of pond aquaculture in Central Europe: prospects and weaknesses in the Czech Republic, Hungary and Poland. European Aquaculture Society Special Publications, 37, s. 80-81.

Brune D.E., Schwartz G., Eversole A.G., Colier J.A., Schwedler E. (2004). Partitioned aquaculture systems, SRAC Publication 4500, s. 1-8.

Gal D., Kerepeczki E., Gyalog G., Pekar F. (2015). Changing face of Central European aquaculture: sustainability issues. Journal of Survey in Fisheries Sciences, 2 (1), s. 42-56.

Goryczko K., Grudniewska J. (2023). Chów i hodowla pstrąga tęczowego, Wyd. IRS Olsztyn, Wydanie VIII, poprawione i uzupełnione.

Hryszko K., Lirski A., Mytlewski A. (2018). Sytuacja na światowym rynku ryb i jej wpływ na rozwój sektora rybnego w Polsce. Monografie Programu Wieloletniego, Wyd. IERiGŻ – PIB, Warszawa,

Kuczyński M. (2010). Akwakultura stawowa jako narzędzie dla zrównoważonego rozwoju. [w]: Wielofunkcyjność gospodarki stawowej w Polsce. Perspektywy Rozwoju, (red.). M. Cieśla, J. Śliwiński, Wyd. Wieś Jutra, s. 17-24

Kulikowski T. (2011). Preferencje polskich konsumentów w świetle najnowszych badań rynku rybnego. Magazyn Przemysłu Rybnego, 3, s. 33-34.

Lirski A., Wałowski J., Cieśla M. (2010). Chów karpia w Polsce w latach 2004-2009. [w]: Wielofunkcyjność gospodarki stawowej w Polsce. Aktualne uwarunkowania. (red.). M. Cieśla, R. Wojda. Wyd. Wieś Jutra, s. 9-20.

Lirski A., Myszkowski L. (2017). Polska akwakultura w 2016 roku na podstawie analizy arkuszy RRW-22. Cz. 1, Komunikaty Rybackie, 6, s. 20-27.

Lirski A., Myszkowski L. (2018). Polska akwakultura w 2016 roku na podstawie analizy arkuszy RRW-22. Cz. 2, Komunikaty Rybackie, 1, s. 1-6.

Lirski A., Wołos A., Czerwiński T. (2020). Sytuacja ekonomiczno-finansowa rybactwa śródlądowego w 2020 roku. Komunikaty Rybackie, 2, s. 1-36.

Pilarczyk M., Gal D., Kolek L., Inglot M., Stonawski B. (2016). Zintegrowany intensywno-ekstensywny system produkcji rybackiej. Wyd. PAN Gołysz

Strategia Karp 2020 (2013). Opracowanie zbiorowe, wykonane w ramach porozumienia dwunastu Lokalnych Grup Rybackich w ramach Osi 4 PO Ryby 2007-2013. (red.) A. Lirski, J. Seremak – Bulge, J. Śliwiński, M. Cieśla. Wyd. Szostakdruk Staszów.

Varadi L., Gal D., Pekar F., Szabo P. (2001). Combined extensive-intensive pond fish production system for the sustainable use of natural resources. Hungarian Agricultural Research, 10 (2), s. 13-15.

Wołos A., Lirski A., Czerwiński T. (2015). Sytuacja ekonomiczno-finansowa rybactwa śródlądowego w 2014 roku. [w]: Zrównoważone korzystanie z zasobów rybackich na tle ich stanu w 2014 roku. (red.) M. Mickiewicz, A. Wołos, Wyd. IRS Olsztyn, s. 59-73.

Rozdział 3. Innowacyjne metody intensyfikacji chowu cennych gatunków ryb w stawach ziemnych z wykorzystaniem technologii SwS. Wstępne wyniki chowu doświadczalnego.

Natalia Jędroszka

Instytut Rybactwa Śródlądowego im. S. Sakowicza – Państwowy Instytut Badawczy

Wstęp

Ryby i produkty rybne to z pewnością najważniejszy podtyp żywności funkcjonalnej, ponieważ dostarczają one wielu niezbędnych substancji do prawidłowego funkcjonowania organizmu człowieka, w tym wielonasyconych kwasów tłuszczowych, białek, witamin, minerałów i przeciwutleniaczy (Gormley 2006). Wraz ze wzrostem liczby ludności na świecie, w obliczu ograniczeń w produkcji zwierząt zmiennocieplnych z pewnością zwiększy się spożycie ryb i innych produktów akwakultury (Hoque i in.2022). Europejscy konsumenci preferują nadal ryby pochodzące z akwenów naturalnych, gdyż uważają je za zdrowsze i smaczniejsze od ryb hodowlanych, które w powszechnej opinii utrzymywane są bez zachowania ich dobrostanu. Co prawda, coraz powszechniej w akwakulturze ryb dostrzega się konieczność stosowania przyjaznych rybnym systemów chowu, np. uzyskując produkty certyfikowane ekologicznie, ale wiąże się to z większymi kosztami dla producenta a w konsekwencji wyższymi cenami rynkowymi tych produktów. Jednak według badań, ponad połowa konsumentów wybrałaby certyfikowane ryby z ekologicznych hodowli, pomimo wyższej ich ceny (Pulcini i in. 2020).

Polska akwakultura w stawach ziemnych typu karpioowego z dominującym udziałem karpia, prowadzona jest w systemie niskointensywnym. W wielu aspektach nie różni się od produkcji ekologicznej. Od wielu lat okazuje się być nierentowną a przyczynami takiego stanu rzeczy są przede wszystkim; negatywny wpływ czynników środowiskowych oraz niskie ceny zbytu. Problemy na rynku produktów akwakultury, w tym karpia, pojawiły się również wraz z wprowadzaniem nowych regulacji prawnych dotyczących hodowli. Kolejnym ważnym problemem są kwestie etyczne i moralne w kontekście sprzedaży żywych ryb. Konsumenci

często zwracają uwagę na te elementy (Bovenkerk i Meijboom 2012). Istotnym czynnikiem hamującym rozwój sektora akwakultury są także choroby ryb, które znacznie ograniczają produkcję ryb w warunkach stawowych (Naghashyan i in. 2018). Według badań, aż 50% strat w produkcji akwakultury jest powodowanych przez występowanie różnych chorób (Assefa i Abunna 2018). Poza ciągłą obecnością organizmów chorobotwórczych w wodach i osadach dennych, istotne znaczenie dla zdrowia ryb ma również wpływ czynników stresogennych, które działając odpowiednio długo, osłabiają system immunologiczny przyczyniają się do występowania chorób ryb a w efekcie do masowych śnięć (Śnieszko 1974) (Schulte 2014). (Antychowicz i Pękała 2015).

Intensyfikacja produkcji w akwakulturze polegająca na próbie połączenia dwóch jej poziomów – ekstensywnego oraz intensywnego – jest zagadnieniem zyskującym na popularności, ponieważ dobrze rozważone ich połączenie może pomóc wzmocnić kondycję finansową gospodarstwa wraz z zachowaniem jego próśrodowiskowych walorów produkcyjnych. Postęp naukowy i wieloletnie badania pozwoliły na powstanie alternatywnych form produkcji ryb, które zaspokoją zapotrzebowanie i uzupełnią braki w podaży ryb dzikich (Hoque i Alam 2020). Jednym z ciekawych rozwiązań jest metoda intensywnego chowu o nazwie „staw w stawie” (SwS), która z powodzeniem może przyczynić się do intensyfikacji produkcji innych niż karp gatunków ryb w stawach ziemnych. Prace nad wykorzystaniem tej innowacyjnej technologii w stawach typu karpiego przeprowadzono w Rybackim Zakładzie Doświadczalnym IRS w Żabieńcu. Konstrukcja SwS to swobodnie pływający w stawie basen (fot. 1), zasilany wodą dzięki systemowi pomp, wyposażony w system napowietrzania. Szacuje się, że zdolność produkcyjna systemu „stawu w stawie” wynosi do 50 kg ryb na m³ basenu.

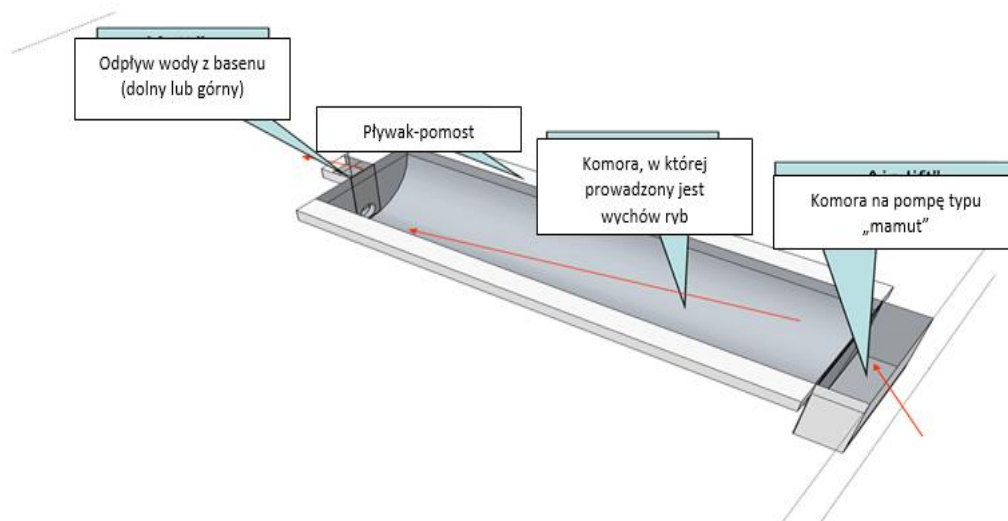


Fot. 1. System SwS składający się z dwóch basenów.

System do chowu ryb metodą SwS składa się z następujących elementów (rys. 1):

- pływającego basenu, którego pojemność wynosić może od 10 m^3 do 30 m^3 ; (zastosowany w naszym projekcie miał pojemność 15 m^3). Basen ma kształt półrnyny, długość basenu wynosi 4-12 m, szerokość 2 m, głębokość 1,25 m. Wokół basenu znajdują się wsporniki umożliwiające łączenie basenów ze sobą, aby możliwe było tworzenie zespołów basenów (z reguły nie więcej niż 6 sztuk w jednej baterii). Wzdłuż basenu zamontowane są podesty-pływaki, utrzymujące basen na powierzchni wody i jednocześnie umożliwiające chodzenie wokół basenu i kontrolowanie obsady. Z przodu basenu znajduje się komora mieszcząca system napowietrzania i przepompowywania wody, czyli pompę „mamut”. System ten składa się z dmuchawy oraz ramy napowietrzającej. Dzięki takiemu rozwiązaniu napowietrzanie wody „zamkniętej” w komorze napowietrzającej jest zdecydowanie bardziej efektywne i jednocześnie możliwe jest przepompowywanie dużych ilości ($80\text{-}120 \text{ m}^3/\text{h}$) wody. Dmuchawy z poszczególnych basenów mogą być połączone w jedną wspólną „magistralę powietrzną”, co czyni system napowietrzania i pompowania wody jeszcze efektywniejszym;
- karmnika automatycznego, sterowanego systemem zegarowym;
- skrzynki zawierającej zabezpieczenia elektryczne oraz system powiadamiania o ewentualnej awarii i/lub spadku przepływu wody;

- odpływu zlokalizowanego w tylnej części basenu.



Rys.1. Elementy składowe basenu, służącego do chowu ryb metodą „staw w stawie”.

Maksymalna zdolność produkcyjna systemu „staw w stawie” wynosi do 50 kg biomasy ryb/m³ kubatury basenu. Maksymalna dawka pokarmowa wynosi 25 kg paszy/dobę/basen, a współczynnik pokarmowy skarmianych pełnowartościowych pasz dla gatunków takich, jak sterlet, sum europejski i karp szacowany jest na poziomie 1,4-1,6.

Technologia SWS posiada zalety typowe dla intensywnych systemów akwakultury typu RAS, ale jest od systemów recykulacyjnych znacznie tańsza ze względu na niskie koszty uruchomienia produkcji, jak i w trakcie eksploatacji, jest łatwa w obsłudze, daje dużą elastyczność w zakresie gatunków, które można produkować. Jej główną wadą jest całkowite uzależnienie produkcji od naturalnej termiki, co jednak można w pewnym zakresie kompensować poprzez wykorzystanie nowoczesnych pasz komponowanych. Jednak jest to obiecujący system, łączący dwa rodzaje produkcji i pozwalający na chów i hodowlę cennych gatunków ryb.

Gatunkami, które objęto badaniami na terenie RZD w Żabieńcu były:

- jesiotr syberyjski (*Acipenser baerii*);
- sandacz (*Sander lucioperca*);
- pstrąg tęczowy (*Oncorhynchus mykiss*).

Gatunki te zostały wybrane ze względu na ich atrakcyjność rynkową. Popyt na nie ciągle rośnie, a podaż pozostaje na niezmiennym poziomie od kilkunastu lat. Ich duży potencjał rynkowy wynika głównie z uznanych walorów kulinarnych. Tak potrzebna dywersyfikacja produkcji w obiektach stawowych typu karpiego polegająca na wprowadzeniu nowych gatunków ryb, pozwoliłaby z pewnością na przyciągnięcie nowych klientów oraz służyłaby poprawie ekonomicznej efektywności gospodarstwa.

Opis doświadczeń i uzyskane wyniki

Doświadczenia zostały przeprowadzone w Rybackim Zakładzie Doświadczalnym w Żabieńcu w specjalnie dostosowanych stawkach doświadczalnych. oraz na stawach o łącznej powierzchni ponad 50 ha. Stawy zostały wykorzystane do:

- badań dotyczących wychowu, atrakcyjnych rynkowo ryb dodatkowych w polikulturze z karpem, gdzie do obsad karpia dodano różnorodny pochodzeniowo materiał obsadowy tych gatunków;
- produkcji letniego materiału obsadowego sandacza, do badań porównawczych nad wychowem narybku jesiennego tego gatunku w basenach w technologii SwS z wykorzystaniem narybku letniego pochodzącego ze stawów oraz równoważnego wiekowo materiału pochodzącego z chowu basenowego;
- zimowania części hodowanego materiału obsadowego, jak również posadowienia basenów technologii SwS;
- porównawczych obserwacji możliwości chowu atrakcyjnych rynkowo gatunków ryb bezpośrednio w stawach karpowych;
- przeprowadzania naturalnego rozrodu sandacza;
- okresowego lokowania w nich basenów technologii SwS.

Określenie możliwości wychowu narybku jesiennego sandacza metodą SwS

Wyjściowy materiał obsadowy stanowiły zarówno sandacze pochodzące z hodowli RAS, jak i z hodowli stawowej.

Doświadczenia przeprowadzone w roku 2020 objęły:

- wychów narybku letniego sandacza w stawach
- wychów narybku jesiennego sandacza w stawach ziemnych
- wychów narybku jesiennego sandacza w basenach RAS

Stawy obsadzono tarlakami sandacza na naturalne tarło kontrolowane i przygotowano zgodnie z wymaganiami dla produkcji letniego materiału obsadowego tego gatunku. Stawy zostały osuszone, zdezynfekowane oraz nawieziane obornikiem. Na dnie stawów umieszczono gniazda-krześliska, na których samice powinny złożyć ikrę. Obsada tarlaków wynosiła w każdym stawie 6 samic i 10 samców, w przeliczeniu na 1 ha powierzchni stawów. Tarlakami sandacza obsadzono również dwa stawy towarowe, w których prowadzone były doświadczenia w zakresie wychowu konsumpcyjnych sandaczy w polikulturze z karpem.

Odłowy narybku letniego sandacza przeprowadzono w dniach 7-8 maja 2020 r. Odłowiono łącznie ze wszystkich stawów około 15000 sztuk narybku, o średniej masie jednostkowej 0,2 g/szt. i średniej długości 3 cm.

Jesienią 2020 roku odłowiono ze stawów towarowych narybek jesienny sandacza w ilości 36 kg, około 2400 sztuk o średniej masie jednostkowej 15 g oraz 42 kg o średniej masie jednostkowej 20 g, czyli około 2100 sztuk.

W basenach technologii SwS przeprowadzono jedynie pilotażowy podchów 500 sztuk narybku sandacza w oparciu o narybek tego gatunku pochodzący z recyrkulacyjnych systemów akwakultury RAS. Znacznie większą partię narybku sandaczy - około 3000 sztuk, podchowiano nadal w systemie RAS. Wyniki produkcji narybku jesiennego sandacza w basenach technologii SwS można uznać co najwyżej za zadowalające. Pierwszym problemem była mała wielkość obsadzanego materiału, co wymusiło zastosowanie bardzo gęstych krat, a to z kolei ograniczyło wymianę wody. Również wielkość ryb odłowionych jesienią (niecałe 10g/szt.) wskazuje, że sam podchów nie przebiegał poprawnie lub nie zapewniono sandaczom odpowiednich warunków w basenie SwS. Zgromadzone doświadczenia pomogą natomiast w optymalizacji protokołu podchowu rocznego materiału obsadowego sandaczy w basenach technologii SwS.

W kolejnym roku stawy zostały również obsadzone tarlakami. Odłowy przeprowadzono w dniach 15-16 maja; odłowiono 20000 sztuk narybku letniego sandacza o średniej masie 0,25 g/szt. i średniej długości 3,4 cm. Wynik ten nie był zadowalający, aczkolwiek wyższy niż w roku 2020. Uzyskany narybek letni charakteryzował się większą średnią masą oraz długością.

Po odłowieniu obsadzono nim stawki nr 3 i nr 7 oraz basen SwS. Podchów sandacza trwał również w systemach RAS w Zakładzie Hodowli Ryb Jesiotrowatych w Pieczarkach. Wyniki chowu palczaków sandacza z wykorzystaniem wszystkich badanych metod przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wybrane parametry hodowlane podchowu sandaczy w basenach technologii SwS, systemach RAS oraz w ziemnych stawach karpowych

Miejsce podchowu	Masa początkowa (g/szt.)	Liczba podchowianych ryb (szt.)	Liczba dni podchowu	Masa końcowa (g/szt.)	Tempo wzrostu (g/szt./d)	Przeżywalność (%)
RAS	-	3000	185	35	0,19	74
SwS	0,25	10000	142	18	0,13	14
Staw nr 3	0,25	5000	156	22	0,14	43
Staw nr 7	0,25	5000	157	25	0,16	47

Określenie możliwości wychowu materiału obsadowego jesiotrów metodą SwS

Materiał wyjściowy stanowiły jesiotry o masie jednostkowej 357 g/szt., którymi obsadzono staw doświadczalny w ilości 327 szt., oraz baseny SwS w ilości 500 szt.. Wielkość dawek pokarmowych ustalano na podstawie połowów kontrolnych oraz tabel żywieniowych, opracowanych dla jesiotrów przez firmę Aller. Chów prowadzono 88 dni.

Tabela 2. Wybrane parametry hodowlane chowu jesiotrów w basenach technologii SwS oraz w ziemnych stawach karpowych.

Miejsce podchowu	Data połowu	Masa średnia ryby (g/szt.)	Przyrost (g/szt.)	Przyrost dzienny (g/szt./d)	Przeżywalność S (%)	Współczynnik pokarmowy
Staw M-3	30.10.2020	699	342	3,8	75	1,7
Basen SwS	30.10.2020	878	521	5,8	78	1,4

Prowadzone połowy kontrolne wykazały, że jesiotry obsadzone w basenach SwS przyrastały znacznie lepiej, aniżeli ryby obsadzone w stawie ziemnym (tab. 2). W efekcie średnia masa jednostkowa jesiotrów odłowionych z basenów SwS była wyższa o 25% w stosunku do ryb wzrastających w stawach ziemnych.

Przeżywalność ryb w obu grupach doświadczalnych była bardzo podobna, nieznacznie tylko lepsza w basenach. W stawie ziemnym przyczyną ubytków były najprawdopodobniej straty spowodowane przez szkodniki ryb (wydry oraz ptaki rybożerne), przed którymi nie sposób w pełni zabezpieczyć stawów. W przypadku basenów SwS obniżenie przeżywalności było efektem awarii zasilania i brakiem prądu przez kilkanaście godzin, co nastąpiło w połowie września, czyli już pod koniec sezonu wzrostowego. Przy braku przepływu wody przez basen nastąpił spadek jej natlenienia do wartości letalnych dla jesiotrów i w efekcie ich liczne śnięcia. W momencie wystąpienia śnięć wszystkie martwe ryby usunięto z basenu oraz odłowiono wszystkie żywe ryby.

Jesiotry z obu systemów chowu obsadzono do odrębnych stawów, aby wiosną kontynuować obserwacje ich wzrostu z wykorzystaniem dwóch różnych systemów produkcji. W basenach pozostawiono jedynie 50 sztuk ryb celem sprawdzenia, jak przetrwają warunki zimowe. Baseny bardzo dobrze sprawdziły się w okresie zimowym, gdy spadki temperatury powietrza wynosiły momentami nawet poniżej -20°C . Co prawda baseny w całości były pokryte wewnątrz lodem, ale system generowania przepływu wody działał bezawaryjnie. Zawartość tlenu w wodzie w basenie była wyższa o 1-2 mg/l (10-20%) niż w wodzie w stawie. Nie stwierdzono również ani jednej martwej ryby po zejściu pokrywy lodowej w basenie. Z chwilą zelżenia mrozów, przepływ wody w basenie spowodował również bardzo szybkie stopnienie pokrywy lodowej. Przy średniej dobowej temperaturze powietrza ok. 0°C , lód w basenie z przepływem został wypłukany w ciągu trzech dni, podczas gdy w basenie bez przepływu oraz w stawie pokrywa lodowa utrzymywała się przez tydzień. W roku 2021 i 2022 baseny SwS zostały obsadzone większą liczbą ryb (tab.3).

Tab.3. Wyniki chowu jesiotrów w systemach RAS i SwS w latach 2021-2023.

	Zarybienie	Odłów			
--	------------	-------	--	--	--

Pochodzenie materiału	szt.	kg	g/szt.	szt.	kg	g/szt.	Przeżywalność (%)	Wsp. pokarmowy	Liczba dni podchowu
ROK 2021									
RAS	5700	422	74	2400	1248	520	42	3,6	172
RAS	3990	188	47	2700	486	180	68	2,4	76
ROK 2022									
RAS	4700	212	45	1520	265	174	32	3,5	91
SwS	2500	425	170	600	390	650	24	3,9	180
ROK 2023									
RAS	5000	200	40	3870	851	220	77	2,0	85
SwS	1400	224	160	1220	976	800	87	1,8	167

W roku 2021 postanowiono zarybić baseny dwukrotnie – w kwietniu oraz w sierpniu, z powodu dużych śnieć marcowej obsady. W 2022 roku wystąpiły duże śniecia, powodujące sporą redukcję obsady oraz wzrost współczynnika pokarmowego. Rok 2023 był pierwszym rokiem, w którym nie wystąpiły duże śniecia. Współczynnik pokarmowy paszy ukształtował się na poziomie 1,8-2,0.

Wykorzystanie technologii SwS do chowu sandaczy konsumpcyjnych

W roku 2020 prowadzono chów sandaczy konsumpcyjnych w warunkach stawowych, SwS oraz RAS w oparciu o narybek jesienny sandacza. Po zimowaniu zachowano:

- 400 szt., 10 g/szt. z systemu SwS;
- 3000 szt., 74 g/szt. z systemu RAS;
- 3000 szt., 17 g/szt. z chowu stawowego.

W 2021 roku rozpoczęto doświadczenie w kierunku chowu sandaczy konsumpcyjnych w technologii SwS. W tym celu wykorzystano 3 baseny SwS. Baseny obsadzono w pierwszej połowie maja. Dwa z nich obsadzono w liczbie 750 szt./basen narybku jesiennego sandacza pochodzącego z systemu RAS, trzeci zarybiono w liczbie 250 szt. narybku jesiennego sandacza

podchowanego w technologii SwS. Różnica w obsadzie spowodowana była dostępnością materiału pochodzącego z roku 2020.

Ryby karmione były specjalnie skomponowaną paszą. Podchów trwał do pierwszych dni października (148 dni). Parametry fizyko-chemiczne wody były prawidłowe do momentu gwałtownego skoku temperatury, szczególnie w basenach. Nieodpowiednie warunki chowu często były powodem wstrzymywania karmienia ryb. Nawet zapewnienie rydom odpowiedniego natlenienia nie było w stanie ograniczyć masowych śnięć obsady. (tab. 4)

Ryby z RAS również niezbyt dobrze zaadaptowały się do nowych, odmiennych warunków bytowania. Skutkiem tego były śnięcia w trakcie całego sezonu w szczególności podczas pogorszenia jakości wody.

W efekcie wyniki podchowu sandacza były niezadowolające (tab. 4). Ryby również bardzo słabo przyrastały, niezależnie od zagęszczenia obsad.

Tabela 4. Wyniki podchowu sandacza w dwóch systemach: SwS oraz RAS w roku 2021.

Pochodzenie ryb	Masa początkowa (g/szt.)	Liczba ryb (szt.)	Liczba ryb na m ³ basenu	Liczba dni podchowu	Masa końcowa (g/szt.)	Tempo wzrostu (g/szt./d)	Przeżywalność (%)
RAS	74	1500	50	148	215	0,95	18%
SwS	10	250	17	148	108	0,66	9%

Podobne wyniki zostały osiągnięte w kolejnych latach doświadczalnych – 2022 i 2023. Przeżywalność sandaczy pochodzących z SwS wynosiła od 5% do 20%, nieco wyższa była przeżywalność ryb pochodzących z RAS (9-24%). Warunki pogodowe nie pozwalały na intensywne karmienie, kondycja ryb była słaba, ponadto często występowały problemy techniczne pomimo zainstalowania agregatów prądotwórczych.

Określenie możliwości wychowu konsumpcyjnych jesiotrów syberyjskich metodą SwS

W 2022 odłowy kontrolne wykonano dwa razy w trakcie sezonu produkcyjnego. Jesiotry pochodzące z RAS pod koniec lipca posiadały średnią masę jednostkową 1250 g, a po dwóch tygodniach uzyskały masę 1540 g. Jesiotry pochodzące z systemu SwS, w tych samych

terminach osiągnęły odpowiednio 980 oraz 1370 g. W wyniku pojawienia się w dniach 24.06-02.07.2022 roku bardzo wysokich temperatur powyżej 25 °C, karmienie ryb musiało zostać całkowicie wstrzymane. Podchów jesiotra syberyjskiego okazuje się być najbardziej obiecujący ze wszystkich badanych gatunków ryb. Współczynniki pokarmowe w 2022 roku ukształtowały się na poziomie 1,6-1,9, co oznacza, że jest to chów w pełni opłacalny ekonomicznie. Kondycja ryb również była dobra.

W 2023 roku baseny obsadzono wcześniej – początkiem kwietnia. W obu grupach wyniki odłowów kontrolnych kształtowały się na podobnym poziomie. W końcu maja ryby miały wielkość 930 g, z końcem lipca urosły do 1600 g, w końcu września osiągnęły wielkość handlową – 2295 g. Rok 2023 był rokiem przełomowym, w którym nie nastąpiły żadne znaczące śnięcia obsady. Termika wody pozwalała na karmienie przez cały sezon produkcyjny. Wyniki chowu były zadowalające. Przeżywalność wynosiła w obu grupach ponad 70%, a współczynnik pokarmowy wahał się od 1,9 do 2,6.

Tabela 5. Wyniki chowu jesiotrów konsumpcyjnych w systemach SwS i RAS w latach 2022 i 2023

Pochodzenie materiału	Zarybienie			Odłów			Przeżywalność (%)	Wsp. pokarmowy paszy	Liczba dni podchowu
	szt.	kg	g/szt.	szt.	kg	g/szt.			
ROK 2022									
RAS	180	170	944	140	315	2250	78	1,9	117
SwS	1000	840	840	800	1640	2050	80	1,6	117
ROK 2023									
RAS	350	210	600	270	594	2200	77	1,9	185
SwS	570	365	640	410	978	2385	72	2,6	185

Określenie możliwości chowu konsumpcyjnych pstrągów tęczowych metodą SwS

W 2020 roku przeprowadzono eksperymentalny, porównawczy tucz pstrąga tęczowego z wykorzystaniem stawów karpionych i metody SwS.

Materiał obsadowy pstrągów tęczowych został dostarczony do RZD Żabieniec pod koniec maja 2020 r., aby ryby miały czas zaadaptować się do warunków odmiennych, niż w typowym obiekcie pstrągowym. Temperatura wody w tym czasie była optymalna dla tego gatunku (ok. 15°C), podobnie jak zawartość tlenu w wodzie stawowej (85-110%). Ryby doskonale żerowały i nie stwierdzono żadnych śnięć, co pozwalało wnioskować, że pstrągi bardzo dobrze zniosły zmianę warunków życiowych. Jednakże już w połowie czerwca średnia dobową temperatura wody, mierzona o godzinie 10 przed południem, przekroczyła wartość 20°C, czyli uznawaną za górną wartość dopuszczalną. W godzinach popołudniowych osiągała już 22-23°C. W tym okresie stwierdzano osłabienie żerowania pstrągów, które zainteresowanie paszą przejawiały tylko wczesnym rankiem, gdy woda miała najniższą temperaturę (około 17°C). Zaobserwowano wtedy również pierwsze pojedyncze śnięcia pstrągów, wynikające najprawdopodobniej ze słabszego natlenienia wody. Nasycenie tlenem wody w stawie wynosiło w tym okresie 45-55%, co przy temperaturze wody przekraczającej 20°C stanowiło wartości niebezpieczne dla tego gatunku. W kolejnych dniach temperatura wody jeszcze bardziej wzrosła i w godzinach popołudniowych osiągała 22-24°C, przy nasyceniu wody tlenem zaledwie 30%. W tej sytuacji zdecydowano, aby ryby zostały odłowione ze stawu.

Zdecydowanie lepiej te trudne warunki znosiły pstrągi obsadzone w basenach SwS. Dzięki temu, że przepływ w nich wody był wymuszany przez pompę mamut, mieszającą wodę z powietrzem, nasycenie wody w basenach na dopływie wynosiło w tym czasie 68-75%, czyli było dwukrotnie wyższe, aniżeli w stawie. Ryby, co prawda były dokarmiane na poziomie 40-50% normalnej dla nich dawki pokarmowej, niemniej jednak nie zdradzały wyraźnych oznak pogorszenia kondycji. W okresie 7-15 sierpnia temperatura dobową wody osiągnęła niemal 25°C i również w basenach SwS pojawiły się liczne śnięcia obsady. W tym czasie nasycenie wody tlenem w basenach nadal było stosunkowo wysokie (55-65%), ale warunki termiczne były skrajnie niekorzystne. Dlatego też zdecydowano o odłowieniu ryb również z basenów SwS, zaledwie po dziesięciu dniach od ich obsadzenia.

Powtórnej obsady basenów i stawu ziemnego pstrągami tęczowymi dokonano w dniu 1 września 2020 r., gdy średnia dobową temperatura wody spadła poniżej 20°C. Podchów ryb trwał do końca października, czyli równo 60 dni,. Temperatura wody utrzymywała się w tym okresie na poziomie 12-15°C, a nasycenie tlenem wody dopływającej do stawów wynosiło 80-90%. Dlatego też uzyskane w tym okresie wyniki (tab. 6) można uznać za spełniające założenia

badawcze projektu. W ciągu 60 dni jesiennego wychowu nie stwierdzono trudności w podchowcie pstrągów tęczowych.

Można zaryzykować twierdzenie, że w obiektach stawowych typu nizinnego, w których warunki termiczne wody będą zbliżone do tych panujących w RZD Żabieniec, w okresie letnim prowadzenie całorocznego chowu pstrągów tęczowych w basenach SwS może nie być możliwe. Być może konieczne będzie przerywanie cyklu produkcji w okresie letnim, gdy występują najwyższe temperatury wody oraz insolacja. Niemniej jednak, przez pozostałe dziewięć miesięcy chów taki wydaje się być możliwy. Czynnikiem, który w istotny sposób mógłby poprawić warunki tuczu byłoby natlenianie wody czystym tlenem.

Tabela 6. Wyniki produkcji pstrągów tęczowych w stawie ziemnym oraz basenie SwS w RZD Żabieniec w 2020 r.

Miejsce wychowu	Parametry hodowlano-produkcyjne		
	Przeżywalność (%)	Tempo wzrostu (g/szt./d)	Wsp. pokarmowy paszy
staw ziemny	75,3	6,0	0,9
basen SwS	67,8	7,9	0,85

Dane te w pełni potwierdzają, że wychów pstrągów tęczowych w basenach technologii SwS w warunkach stawów karpowych, jak i samych stawach, w okresach sprzyjających wymogów środowiskowych, jest możliwy.

Wyższe dzienne przyrosty odnotowano w basenach technologii SwS. Były one niemal o 25% wyższe niż w stawie ziemnym. Wyniki te, potwierdzają, że technologia SwS ma duży potencjał w chowie pstrągów tęczowych w obiektach karpowych.

Kolejne lata doświadczeń 2021, 2022 oraz 2023 ukazały nam słabe strony technologii SwS: w warunkach wysokich temperatur karmienie musiało być ograniczone, a ryby trzeba było przenosić do głębszych zbiorników. Od lipca do początku września, podchów pstrąga tęczowego w basenach typu SwS jest wysoce ryzykowny, gdyż temperatura wody w tym czasie jest o wiele wyższa w basenach, aniżeli w stawie. Podchów ma sens od września, gdy

temperatura wody spadnie poniżej 20°C. W każdym sezonie produkcyjnym w lecie występowały masowe śnięcia. (fot. 4).

Określenie możliwości chowu sandaczy konsumpcyjnych w polikulturze z karpem

W 2021 roku rozpoczęto doświadczenie polegające na chowie sandaczy w trzech stawach doświadczalnych wraz z karpem.

Obsada karpi o średniej masie jednostkowej 220 g wyniosła 850 szt./ha. Obsada sandaczy wyniosła w zależności od dostępności materiału:

Staw nr 4 - palczaki z tradycyjnego chowu stawowego, podchowane w pierwszym roku życia w polikulturze z karpami: 50 szt./ha

Staw nr 6 - palczaki wychowane od wylęgu w warunkach kontrolowanych w systemach RAS: 50 szt./ha

Staw E - palczaki wyhodowane innowacyjną metodą SwS: 58 szt./ha.

Wyniki produkcyjne zamieszczono w tabeli 7. Masa jednostkowa sandacza przy odłowieniu była zróżnicowana, nie uzyskano oczekiwanego wyniku jakim był wychów sandaczy handlowych. Ryby nie osiągnęły masy ciała uznawanej w Polsce za wielkość konsumpcyjną. Przeżywalność ryb była niska, najniższa w grupie pochodzącej z RAS. Spowodowane to było gorszym ich przystosowaniem do warunków środowiska stawowego.

Tabela 7. Parametry produkcyjne chowu sandacza konsumpcyjnego uzyskane w 2021.

Parametr	Staw nr 4 + sandacz RAS	Staw nr 6 + sandacz stawowy	Staw E + sandacz SwS
Przeżywalność (%)	17	30	20
Masa jednostkowa (g/szt.)	270	200	160
Dodatkowa produkcja sandaczy (kg/ha)	2,3	3,0	1,85
Produkcja karpi (kg/ha)	527,9	428,4	646,0
Współczynnik pokarmowy paszy dla karpia	5,33	8,91	11,54

Wyniki produkcyjne uzyskane w stawie nr 4 określić można, jako dobre. Produkcja karpia utrzymała się na wysokim poziomie, współczynnik pokarmowy uzyskany w żywieniu karpia był najniższy ze wszystkich trzech grup.

W stawie nr. 6 obsadzonym sandaczem stawowym jego produkcja była największa w wynosiła 3 kg/ha. Produkcja karpia w przeliczeniu na hektar była w tym stawie jednak najmniejsza, a oszacowany współczynnik pokarmowy paszy był bardzo wysoki – 8,91.

Sandacze pochodzące z technologii SwS obsadzone w stawie E miały najmniejszą średnią masę jednostkową (10 g/szt.). Wykazały także najmniejszą masę jednostkową przy odłowieniu (160 g/szt.). W stawie tym, mimo najwyższej produkcji karpia, stwierdzono najwyższy współczynnik pokarmowy w żywieniu tego gatunku – 11,54.

Pierwszy rok doświadczenia wykazał obiecujący potencjał sandacza pochodzącego z RAS, jako materiału obsadowego w chowie stawowym.

Podsumowanie

Uzyskane wyniki świadczą, że technologia „stawu w stawie” (SwS) nie sprawdziła się w chowie szczególnie wymagającego gatunku, jakim jest sandacz. Nawet nieznaczne wahania parametrów jakości wody mogą bowiem spowodować ogromne straty w obsadzie tej ryby. Niska przeżywalność sandacza w systemach SwS spowodowana była także kanibalizmem. Ze względu na podane wyżej argumenty, chów sandacza niezależnie od jego sortymentu w basenach systemu SwS nie jest zalecany, ze względu na zagrożenie wysoką śmiertelnością, słabe przyrosty ryb oraz ich słabą kondycję.

Podchów jesiotra syberyjskiego okazuje się być najbardziej obiecujący ze wszystkich badanych gatunków ryb. Jesiotry syberyjskie bardzo dobrze przyrastają w warunkach produkcyjnych w systemie SwS, wykazując wysoką przeżywalność. Można uznać, że jest to gatunek perspektywiczny w hodowli intensywnej na stawach karpionych. Należy rozważyć zastosowanie niewielkiej modyfikacji w projekcie SwS dla tego gatunku, uwzględniającej dolne położenie otworu gębowego cechującą jesiotry. Zmiana półokrągłego profilu koryta na prostokątny ułatwiłaby rybom pobieranie pokarmu, co prawdopodobnie miałoby pozytywny wpływ na poprawienie i tak korzystnego współczynnika pokarmowego, który w większości przypadków kształtował się na poziomie 1,3-1,4.

Technologia SwS jest również obiecująca w chowie pstrągów tęczowych w obiektach karpionych. Jej słabością jest konieczność przeniesienia ryb na kilka miesięcy poza system, gdy temperatura wody przekracza 20°C. Same przyrosty pstrągów można jednak uznać za zadowalające. Efektywność ekonomiczna chowu pstrągów tęczowych w systemach SwS jest tematem przyszłościowym. Jako celowe należy z pewnością uznać uzupełnienie konstrukcji o system schładzania wody w basenach, co stworzyłoby właściwe warunki tuczu pstrągów. Być może systemy SwS będą lepiej sprawdzać się w przypadku zainstalowania w głębszych stawach karpionych o stabilnej głębokości, zasilanych wodą o niższej temperaturze. Z pewnością są to zagadnienia zasługujące na dalsze badania.

Wadą technologii SwS jest z pewnością wysoki koszt, wynikający z konieczności stosowania energii elektrycznej do napędzania pompy mamut. Należy jednak pamiętać, że w trakcie prowadzonych doświadczeń uzyskano małą ilość ryb, niemal dziesięciokrotnie mniej, aniżeli teoretyczny limit określony dla tej technologii. Tym samym, przy wyższej produkcji, koszt energii rozłoży się na większą liczbę jednostek produkcji i będzie znacząco mniejszy. Największymi problemami okazały się te techniczno-technologiczne – awarie i niedomagania pomp, agregatów, systemu natleniania, które skutkowały dużymi śnięciami ryb. Warto byłoby wzbogacić tę instalację o system powiadamiania i ostrzegania przed zmianami parametrów fizyko-chemicznych wody.

Literatura

Antychowicz J., Pękala A. (2015). Stres i zależne od stresu bakteryjne choroby ryb. *Życie Wet.* 90, s. 450-460.

Assefa A., Abunna F. (2018). Maintenance of fish health in aqua-culture: Review of epidemiological approaches for prevention and control of infectious disease of fish. *Vet. Med. Int.* <https://doi.org/10.1155/2018/5432497>

Bovenkerk B., Meijboom F.L.B.(2012). The moral status of fish. The importance and limitations of a fundamental discussion for practical ethical questions in fish farming. *J. Agric. Environ. Ethics* 25, s. 843-860.

Gormley T.R.(2006). Fish as a functional food. *Food Sci. Technol.* 20, s.25-28.

Hoque M.Z., Alam M.N. 2020. Consumers' knowledge discrepancy and confusion in intent to purchase farmed fish. *Brit. Food J.* 122, 11, s. 3567-3583.

Hoque M.Z., Sultana N., Haque A., Mahmud Foisal M. T.(2022). Personal and socioeconomic factors affecting perceived knowledge of farmed fish. *J. Agric. Food Res.* 8, p.100310.

Naghashyan, H.Z., Hakobyan A. R., Martirosyan A.A. (2018). A new disease in fish farms of Armenia. *Ann. Agrar. Sci.* 16, s. 410-412.

Pulcini D., Franceschini S., Buttazzoni L., Giannetti C., Capoccioni F. (2020). Consumer preferences for farmed seafood: an Italian case study. *J. Aquat. Food Prod. Technol.* 29, s. 445-460.

Schulte P.M.(2014). What is environment stress? Insight from fish living in variable environment. *J. Exp. Biol.* 1, s. 23-34.

Śnieszko S.(1974). The effects of environmental stress on out-breaks of infectious diseases of fishes. *J. Fish Biol.* 6, s. 197-208.

Rozdział 4. Wykorzystanie alternatywnych surowców białkowych w paszach dla ryb.

Adrian Szczepański

*Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego Samodzielny Zakład Ichtiologii i Biotechnologii
w Akwakulturze*

Wstęp

Produkcja w akwakulturze, podobnie jak w przypadku innych gałęzi produkcji zwierzęcej, zależy w dużym stopniu od odpowiednio zbilansowanych pasz (Glencross i in. 2020). Jednakże właściwości jakimi muszą charakteryzować się pasze wykorzystywane w środowisku wodnym różnią się od tych stosowanych w innych sektorach produkcji ze względu na właściwości środowiska w jakim są podawane (Fry i in. 2018). Zdolność hodowanych gatunków do pobierania określonych form pokarmu, gęstość, stabilność czy szybkość opadania na dno to tylko niektóre z wielu aspektów, na które producenci zwracają uwagę podczas formułowania pasz dla organizmów wodnych (Hodar i in. 2020).

Białka pochodzenia zwierzęcego w paszach dla ryb

Kluczową kwestią w procesie komponowania mieszanek paszowych jest dobór odpowiedniego źródła białka (Rawles i in. 2011). Mączka rybna była najczęściej wykorzystywanym źródłem białka w akwakulturze, ponieważ charakteryzuje się wysoką wartością odżywczą i smakowością, jednakże gwałtowny rozwój tego sektora produkcyjnego doprowadził do poważnych problemów z jej dostępnością oraz wpłynął na wzrost cen tego surowca (Rawles i in. 2011). Co więcej, intensywne pozyskiwanie

surowców do produkcji mączki rybnej ma swoje konsekwencje ekologiczne przejawiające się w przełowieniach naturalnych łowisk, a w konsekwencji do zaburzeń w ekosystemach wodnych (Olsen i Hasan, 2012). Biorąc pod uwagę fakt, że połowy ryb i owoców morza ustabilizowały się, a większość głównych obszarów połowowych osiągnęła już swój maksymalny potencjał (FAO, 2021) utrzymanie dostaw mączki rybnej z rybołówstwa nie zaspokoi rosnącego globalnego popytu na ten surowiec wykorzystywany również do produkcji w pasz dedykowanych akwakulturze (Béné i in. 2016). Kwestie te skłoniły do szeroko zakrojonych poszukiwań roślinnych lub innych niekonwencjonalnych źródeł białka, które mogłyby być z powodzeniem stosowane w akwakulturze, takich jak przykładowo produkty uboczne przetwórstwa drobiu, czy "mączka z biofloków" uzyskiwana z glonów, cyjanobakterii, pierwotniaków, nicieni i widłonogów oraz martwej materii organicznej (Dantas i in. 2016; Emerenciano i in. 2013; Rawles i in. 2011). Wykazano w szczególności, że mięso, krew, kości i pióra kurcząt mogą być cenną alternatywą dla mączki rybnej, ale istnieją poważne obawy społeczne dotyczące bezpieczeństwa stosowania takich składników pasz (Davies i Gouveia, 2010). Innym godnym uwagi rozwiązaniem jest wykorzystanie mieszaniny białek zwanej kazeiną-żelatyną, chociaż zwykle wymagane jest uzupełnienie jej niezbędnymi aminokwasami (Kamaszewski i Ostaszewska, 2013).

Ciekawą propozycją uważaną jest za jedną z perspektywicznych technologii w tym obszarze jest pozyskiwanie białka z owadów. W badaniu Chemello i in. (2020) oceniono możliwość zastąpienia mączki rybnej częściowo odtłuszczoną mączką z mącznika młynarka (*Tenebrio molitor*) w diecie pstrąga tęczowego. Zaobserwowano, że całkowite zastąpienie mączki rybnej mączką z owadów jest wykonalne i nie ma negatywnego wpływu na wzrost ryb ani na strawność większości składników odżywczych. Włączenie mączki owadziej do diety nie miało negatywnego wpływu na aktywność enzymatyczną w obszarze układu pokarmowego. Otrzymane wyniki pozwalają na przypuszczenie, że mączka z mącznika młynarka może być dobrą alternatywą dla mączki rybnej w żywieniu pstrągów tęczowych przy inkluzji na poziomie nawet od 25% do 100% (Chemello i in. 2020; Hodar i in. 2020).

Alternatywne źródła białka w paszach

Jednakże najbardziej popularną alternatywą do mączki rybnej są białka roślinne. Do tej pory głównym alternatywnym roślinnym źródłem białka w akwakulturze była śruta sojowa, która charakteryzuje się wysoką zawartością białka i korzystnym profilem

aminokwasowym (Abraham i in. 2019). Jednak stale rosnące wykorzystanie upraw soi zarówno do produkcji żywności dla ludzi, jak i zwierząt gospodarskich, spowodowała wyraźny wzrost cen tego surowca w ciągu ostatnich 20 lat (World Bank, 2020). Znaczenie soi jako surowca paszowego jest niezaprzeczalne jednak coraz głośniejszemu artykułowanemu jest negatywny ekologiczny aspekt jej upraw. Gwałtowny wzrost produkcji soi przyczynił się między innymi do wylesiania znacznych obszarów pierwotnych lasów w krajach tropikalnych i subtropikalnych (Byerlee i in. 2014).

Należy podkreślić, że pasze oparte na śrucie sojowej jako głównym składniku białkowym nie pokrywają w pełni wymagań żywieniowych ryb ze względu na obecność czynników antyodżywczych. Najbardziej szkodliwe z tych substancji to: błonnik, kwas fitynowy, hemaglutyniny, inhibitory enzymów, saponiny, fitoestrogeny, fitosterole, oligosacharydy i lektyny (Sharma 2021). W związku z tym nadal poszukuje się alternatywnych źródeł białka pochodzenia roślinnego do stosowania w żywieniu zwierząt wodnych. W produkcji pasz dla akwakultury stosuje się szereg składników roślinnych, w tym zboża (pszenica, kukurydza itp.), nasiona oleiste (soja, słonecznik, rzepak, nasiona bawełny itp.), śruty poekstrakcyjne z tych nasion oraz rośliny strączkowe (fasola, łubin, groch itp.). Wśród surowców, które zostały już wykorzystane w licznych badaniach, są: kukurydziana mączka glutenowa (Potki i in. 2018), gluten pszenny (Tusche i in. 2012; Kamaszewski i in. 2013), jęczmień (Zaretabar i in. 2020), rzepak (Dossou i in. 2018), łubin (Glencross i in. 2010; Anwar i in. 2020). Inną obiecującą możliwością jest wykorzystanie mikro- i makroalg, zwłaszcza do hodowli roślinożernych bezkręgowców (Pakravan i in. 2017).

Wszystkie rośliny wytwarzają fitochemikalia do ochrony przed konsumentami. Dlatego też stosowanie składników roślinnych w paszach dla ryb bez odpowiedniej obróbki może wywoływać u nich problemy zdrowotne. Czynniki antyodżywcze mają inny sposób działania, ale mogą mieć niekorzystny wpływ na spożycie paszy i strawność składników odżywczych u różnych gatunków ryb. Niepożądane substancje zawarte w produktach roślinnych można neutralizować lub zminimalizować ich zawartość poprzez zastosowanie różnych technologii. Obróbkę zarówno labilnych termicznie, jak i stabilnych termicznie związków antyodżywczych można osiągnąć odpowiednio poprzez wyłaczanie, obróbkę cieplną i frakcjonowanie surowców roślinnych. Proces frakcjonowania roślinnych

składników paszowych obejmuje proste metody, takie jak obłuskiwanie roślin i bardziej zaawansowane metody, takie jak oczyszczanie rozpuszczalnikiem. Enzymatyczna obróbka składników roślinnych (np. usuwanie fitynianów przez fitazę) poprawia jakość odżywczą pasz roślinnych. Ryby karmione tymi produktami wykazały lepsze spożycie paszy, wyższy wzrost, zwiększoną strawność fosforu i białka surowego (Bandara 2018).

Oleje roślinne są szeroko stosowane w akwakulturze ze względu na ich niższy koszt i większą dostępność. Olej sojowy, palmowy, rzepakowy i słonecznikowy to głównie wykorzystywane oleje roślinne. Jako częściowy substytut oleju rybnego, olej sojowy, olej lniany i olej palmowy wykazały pozytywne wyniki. Olej sojowy i rzepakowy zawierają większą ilość PUFA (wielonienasyconych kwasów tłuszczowych) (kwas oleinowy i linolowy), które są wymagane w diecie ryb. Uprawa tych roślin na szeroką skalę może być prowadzona w regionach półpustynnych i suchych przy minimalnym zapotrzebowaniu na wodę. Ponadto, zwiększona produkcja biopaliw/etanolu z tych roślin stanowi źródło wielu produktów ubocznych, które mogą być wykorzystywane po wcześniejszym przetworzeniu. Co istotne, niektóre z nich (np. suszone ziarno gorzelnicze) nie zawierają czynników antyodżywczych (Bandara 2018).

Wykorzystanie mikroorganizmów jako źródła substancji pokarmowych w akwakulturze cieszy się coraz większym zainteresowaniem. Składniki mikrobiologiczne obejmują przede wszystkim bakterie, mikroalgi i drożdże. Większość z nich może być wytwarzana w procesie przetwórstwa odpadów lub uzyskiwana jako produkt uboczny procesów rafineryjnych. Bakterie metanotroficzne mogą być hodowane w większych ilościach przy minimalnym zużyciu gleby i wody (Øverland i in. 2010). Co ważne mączka bakteryjna ma podobną zawartość białka i lipidów w porównaniu do mączki rybnej. Badania przeprowadzone w ostatnich latach wykazały obiecujące wyniki stosowania bakterii metanotroficznych jako zamiennika mączki rybnej. W przeprowadzonych eksperymentach obserwowano poprawę wzrostu, współczynnika konwersji paszy i pozytywny wpływ mączki bakteryjnej na funkcjonowanie przewodu pokarmowego u łososia atlantyckiego i pstrąga tęczowego. Stwierdzono, że mączka bakteryjna może być pomocna w leczeniu zapalenia jelit ryb łososiowatych, wywołanego przez substancje antyodżywcze znajdujące się w mące sojowej. Co więcej, wpływa na zmniejszenie ekspresji genów związanych z odpowiedzią zapalną w jelicie dystalnym ryb (Øverland i in. 2010).

Drożdże to jednokomórkowe organizmy, szeroko stosowane w różnych gałęziach przemysłu, w tym w browarnictwie i piekarnictwie. Mogą wpływać pozytywnie na jelita ryb jako probiotyk. Zawartość białka surowego w drożdżach waha się między 42-55%. Drożdże mogą również działać jako środek immunostymulujący i łagodzący skutki zapalenia jelit wywołanego przez mączkę sojową, co stwierdził (Tacon 2014) u łososia atlantyckiego.

Mikroalgi jako potencjalny składnik paszowy w akwakulturze wykazują podobny profil odżywczy co mączki rybne. Dlatego różne gatunki tych organizmów (np. *Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp., *Spirulina* sp., *Dunaliella* sp.) są wykorzystywane w akwakulturze. Skład odżywczy mikroalg może różnić się w zależności od gatunku jednakże nie ma znaczących różnic w ich profilu aminokwasowym. Potencjalne korzyści ze stosowania produktów z mikroalg zostały odnotowane w przypadku różnych gatunków ryb. Obejmują one wpływ na wzrost ryb (w zależności od poziomu inkluzji), wpływ na pigmentację skóry, poprawę jakości tuszy czy tolerancji na choroby i stres (Brown i in. 1997).

Jak już wspomniano w badaniach nad wykorzystaniem alternatywnych źródeł białek w paszach dla ryb i innych organizmów wodnych testuje się produkty uzyskiwane ze zbóż. W badaniu Potki i in. (2018) sprawdzono możliwość wykorzystania kukurydzianej mączki glutenowej (CGM) w żywieniu młodych karpia (*Cyprinus carpio*). Sformułowano diety kontrolne, gdzie mączkę rybną (FM) zastąpiono CGM na różnych poziomach inkluzji wynoszących 20,40,60,80 i 100%. Wyniki odnoszono do paszy kontrolnej niezawierającej CGM. Eksperyment żywieniowy trwał 8 tygodni i pod koniec okresu karmienia oceniono: wskaźniki wzrostu, skład proksymalny ciała oraz parametry hematologiczne i biochemiczne. Masa końcowa i długość całkowita były znacząco wyższe u ryb karmionych 100% CGM ($27,8 \pm 1,2$ g i $11,9 \pm 0,3$ cm) niż u ryb karmionych dietą kontrolną ($22,7 \pm 1,4$ g i $10,9 \pm 0,5$ cm) lub 20% CGM ($22,3 \pm 1,2$ g i $11 \pm 0,4$ cm). Zastąpienie FM przez CGM nie miało wpływu na współczynnik kondycji czy wskaźnik hepatosomatyczny ($P > 0,05$). Zauważono różnice w składzie ciała, w parametrach takich jak procent białka i popiołu, natomiast nie zaobserwowano istotnych różnic w procentowej wilgotności ciała i zawartości tłuszczu. Najwyższe wartości białka ($15,6 \pm 0,24\%$) i popiołu ($3,01 \pm 0,26\%$) odnotowano u ryb karmionych 40% CGM. W przypadku parametrów hematologicznych najwyższą liczbę białych krwinek ($4,1 \pm 0,1 \times 10^3 \text{ mm}^{-3}$) zaobserwowano u ryb karmionych 100% CGM ($P < 0,05$). Ponadto, najwyższy hematokryt ($42,1 \pm 0,7\%$) i zawartość trójglicerydów (294,11

$\pm 23,82 \text{ mg dl}^{-1}$) zaobserwowano u ryb karmionych dietą zawierającą 40% CGM, podczas gdy u ryb żywionych dietą z 80% CGM zaobserwowano najwyższy poziom cholesterolu ($204,44 \pm 9,0 \text{ mg dl}^{-1}$; $P < 0,05$). W konkluzji stwierdzono, że zastąpienie w paszy mączki rybnej przez glutenową mączkę z kukurydzy nie miało negatywnego wpływu na wzrost i parametry fizjologiczne młodocianych osobników, co sugeruje możliwość wykorzystania tego alternatywnego surowca w żywieniu młodych karpia.

Możliwość wykorzystania paszy z dodatkiem glutenu pszennego (WG) uzupełnionego dipeptydami lub wolnymi aminokwasami na strukturę i rozwój mięśni szkieletowych karpia było badane przez Kamaszewskiego i in. (2013). Młode osobniki (w wieku 1 miesiąca) o średniej masie $0,7 \pm 0,2 \text{ g}$ i długości całkowitej $17,79 \pm 1,79 \text{ mm}$ karmiono dietami wykorzystującymi gluten pszenno uzupełniony dipeptydem Lys-Gly (PP), wolną lizyną i glicyną (AA), dietą kontrolną bez dodatku lizyny (CON) oraz dwiema innymi dietami: dietą restrykcyjną - mrożonym zooplanktonem (Z) i dietą komercyjną Aglo Norse (AN). Po 28 dniach eksperymentalnego karmienia zaobserwowano statystycznie istotnie wyższą przeżywalność wśród ryb karmionych dietami AN i Z ($99,5 \pm 1,0\%$; $P \leq 0,05$). Karmienie dietą AN miało również pozytywny wpływ na masę ciała i tempo wzrostu, a także na rozwój i wzrost mięśni szkieletowych. Co więcej, karpie karmione dietą AN miały największą powierzchnię czerwonych i białych mięśni w porównaniu z innymi grupami żywieniowymi, a różnice były statystycznie istotne ($P \leq 0,05$). Wzrost liczby komórek proliferujących (proliferating cell nuclear antigen) zaobserwowano w ostatnim dniu eksperymentu wśród karpia karmionych PP, AA i CON. Co więcej, ryby karmione PP miały istotnie największą liczbę jąder MyoD- i miogenino-dodatnich ($P \leq 0,05$). Spośród eksperymentalnych diet opartych na glutenie pszennym, pozytywny wpływ na strukturę i rozwój mięśni zaobserwowano u ryb żywionych dietą PP.

Obok glutenu pszennego obiecującym, alternatywnym źródłem białka w paszy dla ryb mogą być produkty uzyskiwane z ziemniaków. Potwierdzeniem tej tezy są wyniki eksperymentu żywieniowego (Tusche i in. 2012) przeprowadzonego w celu oceny wpływu różnych kombinacji glutenu pszennego (WG) i koncentratu białka ziemniaczanego (PPC) w żywieniu pstrąga tęczowego (*Oncorhynchus mykiss*). Sformułowano siedem izonitrogennych ($459 \pm 6 \text{ g CP kg}^{-1}$) i izoenergetycznych ($21,4 \pm 0,1 \text{ MJ kg}^{-1}$) diet, które zawierały różne poziomy inkluzji glutenu pszennego i koncentratu białka ziemniaczanego: 6/27; 9/24; 11/21;

14/19; 17/16; 19/13 jako proporcja WG/PPC w % diety. Zastąpienie mączki rybnej daną mieszanką utrzymywało się na stałym poziomie i wynosiło 56%. Kontrolę stanowiła pasza zawierająca mączkę rybną jako główne źródło białka bez dodatku WG/PPC. Czas trwania doświadczenia żywieniowego wynosił 56 dni. Parametry wzrostowe nie wykazały znaczących różnic między wszystkimi grupami żywieniowymi pod koniec okresu doświadczenia. Nie zaobserwowano także wpływu żywienia na skład ciała i parametry krwi badanych ryb. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że pasza z dodatkiem WG/PPC może być stosowana jako alternatywa do paszy wykorzystującej mączkę rybną w żywieniu pstrągów tęczowych.

Pasza z dodatkiem białka jęczmienia może być także z powodzeniem stosowana w żywieniu pstrągów co zaobserwował Zaretabar i in.(2020). Nawet 50% poziom inkluzji jęczmiennego koncentratu białkowego (BPC) nie wpływał negatywnie na parametry wzrostowe ryb. Przy wyższych poziomach inkluzji obserwowano jednak zaburzenia w strawności paszy oraz obniżenie aktywności enzymów takich jak trypsyna i pepsyna.

Możliwość wykorzystania rzepaku w mieszankach paszowych dla organizmów wodnych badał zespół Dossou i in. (2018). W przeprowadzonym badaniu wykazano, że mączką z rzepaku można zastąpić nawet 56,25% mączki rybnej w formułowanej paszy bez negatywnego wpływu na parametry wzrostowe, strawność paszy czy parametry biochemiczne we krwi, a przy inkluzji do 37,5% zaobserwowano pozytywny wpływ paszy na zdolności antyoksydacyjne organizmu.

Mączka z łubinu jest szeroko wykorzystywana w mieszankach paszowych dla organizmów wodnych. U ryb łososiowatych czy karpowatych inkluzja tego surowca może wynosić nawet do 50% bez negatywnego wpływu na kondycję czy zdrowie ryb (Glencross i in. 2010). Anwar i in. (2020) wykorzystali mączkę z łubinu białego w żywieniu karpia wykazując, że dodatek tego surowca do mieszanki paszowej pozytywnie wpłynął na parametry hodowlane i gospodarkę enzymatyczną badanych ryb.

Komercyjne pasze przeznaczone do podchowu jesiotra są często oparte na śrucie sojowej jako głównym źródle białka. Jak już wspomniano, pomimo wysokiej zawartości białka i korzystnego profilu aminokwasowego, śruta sojowa zawiera wiele czynników antyodżywczych, w tym co w chowie jesiotrów odgrywa podstawowe znaczenie, fitoestrogeny zaburzające determinację płci i stymulujące rozwój gonad interseksualnych

(Fajkowska i in.2020). W tym kontekście rośliny z rodzaju *Lupinus* mogą stanowić interesującą alternatywę jako surowiec paszowy. Charakteryzują się one równie korzystnym profilem aminokwasowym, ale zawierają stosunkowo niewielką liczbę czynników antyodżywczych, które dodatkowo można eliminować poprzez przetwarzanie nasion (Enneking i Wink, 2000; Pieper i in. 2016). W szerszym kontekście istotne jest również to, że łąbiny są roślinami o szerokim zakresie występowania, wysokiej odporności na czynniki biotyczne i abiotyczne i mogą być z powodzeniem uprawiane na mniej żyznych glebach (Abraham i in., 2019). Możliwość wykorzystania mączki łąbinowej była szeroko badana na wielu gatunkach ryb i innych organizmów wodnych jednak w żywieniu ryb z rodziny Acipenseridae to zagadnienie nie było jeszcze badane (Szczepański i in. 2022.) W związku z tym, w ramach projektu STAWPROPLUS przeprowadzono badania dotyczące wykorzystanie mączki z łąbinu białego w żywieniu ryb jesiotrowatych, na przykładzie jesiotra syberyjskiego (*Acipenser baerii*). W projekcie wytypowano cztery grupy żywieniowe, grupę referencyjną R, żywioną paszą komercyjną (Aller Aqua, Polska), grupę kontrolną L0, gdzie głównym źródłem białka była mączka rybna oraz dwie grupy eksperymentalne L5 i L10 z inkluzją mączki z łąbinu białego na poziomie 5 i 10%. Eksperyment żywieniowy trwał 600 dni, a podczas jego trwania przeprowadzono trzy pobory materiału w 125, 250 i 600 dniu żywienia. Masa ciała, długość całkowita i standardowa jak i stopień wyjadania paszy były stale kontrolowane. Pasze eksperymentalne były chętnie pobierane przez ryby, nie odnotowano także upadków w grupach doświadczalnych. W przygotowaniu są publikacje naukowe, w których przedstawione zostaną uzyskane wyniki oraz ocena możliwości wykorzystania mączki z łąbinu białego w żywieniu jesiotrów syberyjskich.

Podsumowanie

W nowoczesnej akwakulturze wykorzystuje się wiele alternatywnych surowców białkowych. W przypadku ich zastosowania należy zwrócić uwagę nie tylko na ich wpływ na parametry hodowlane badanych gatunków, ale także na histologiczne i enzymatyczne markery rozwoju i homeostazy przewodu pokarmowego. Trwają ciągle badania mające na celu wyjaśnienie, w jakich proporcjach w optymalnym stopniu można wykorzystywać dany surowiec by jak najlepiej odpowiadał wymogom żywieniowym zwierząt. Nie można jednoznacznie odpowiedzieć, która z alternatyw jest najlepsza ze względu na to, że dany

surowiec może odmiennie oddziaływać na organizmy zwierząt, dlatego też badania naukowe w tym obszarze są niezbędne i w najbliższym czasie z pewnością będą rozwijane.

Literatura

Abraham E. M., Ganopoulos I., Madesis P., Mavromatis A., Mylona P., Nianiou-Obeidat I., Parissi Z., Polidoros A., Tani E., Vlachostergios D. (2019). The use of lupin as a source of protein in animal feeding: Genomic tools and breeding approaches. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(4), s. 851. <https://doi.org/10.3390/ijms20040851>

Anwar A., Wan A. H., Omar S., El-Haroun E., Davies S. J. (2020). The potential of a solid-state fermentation supplement to augment white lupin (*Lupinus albus*) meal incorporation in diets for farmed common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture Reports*, 17(March), 100348. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100348>

Bandara, T. (2018). Alternative feed ingredients in aquaculture: Opportunities and challenges. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(2), 3087-3094.

Béné C., Arthur R., Norbury H., Allison E. H., Beveridge M., Bush S., Campling L., Leschen W., Little D., Squires D., Thilsted S. H., Troell M., Williams M. (2016). Contribution of Fisheries and Aquaculture to Food Security and Poverty Reduction: Assessing the Current Evidence. *World Development*, 79, s. 177–196. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.11.007>

Brown MR, Jeffrey SW, Volkman JK, Dunstan GA. (1997). Nutritional properties of microalgae for mariculture. *Aquaculture*, 151 (1-4), s. 315-331.

Byerlee D., Stevenson J., Villoria N. (2014). Does intensification slow crop land expansion or encourage deforestation? *Global Food Security* 3, 2, s. 92–98. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2014.04.001>

Chemello G., Renna M., Caimi C., Guerreiro I., Oliva-Teles A., Enes P., Biasato I., Schiavone A., Gai F., Gasco L. (2020). Partially Defatted *Tenebrio molitor* Larva Meal in Diets for Grow-Out Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum): Effects on Growth Performance, Diet Digestibility and Metabolic Responses. *Animals* 2020, 10(2), 229. <https://doi.org/10.3390/ANI10020229>

Dantas E. M., Valle B. C. S., Brito C. M. S., Calazans N. K. F., Peixoto S. R. M., Soares R. B.(2016). Partial replacement of fishmeal with biofloc meal in the diet of postlarvae of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*, 22(2), s. 335–342. <https://doi.org/10.1111/anu.12249>

Davies S. J., Gouveia A. (2010). Response of common carp fry fed diets containing a pea seed meal (*Pisum sativum*) subjected to different thermal processing methods. *Aquaculture*, 305(1–4), s. 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.04.021>

Dossou S., Koshio S., Ishikawa M., Yokoyama S., Dawood M. A. O., El Basuini M. F., El-Hais A. M., Olivier A. (2018). Effect of partial replacement of fish meal by fermented rapeseed meal on growth, immune response and oxidative condition of red sea bream juvenile, *Pagrus major*. *Aquaculture*, 490, s. 228–235. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2018.02.010>

Emerenciano M., Cuzon G., Paredes A., Gaxiola G.(2013). Evaluation of biofloc technology in pink shrimp *Farfantepenaeus duorarum* culture: Growth performance, water quality, microorganisms profile and proximate analysis of biofloc. *Aquaculture International*, 21(6), s. 1381–1394. <https://doi.org/10.1007/s10499-013-9640-y>

Enneking D, Wink M.(2000). Towards elimination of anti-nutritional factors in grain legumes. In: Knight R (ed) *Linking research and marketing opportunities for pulses in the 21st century*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, s. 671–683. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4385-1_65

Fajkowska M., Adamek-Urbańska D., Ostaszewska T., Szczepkowski M., Rzepkowska M.(2020). Effect of genistein, daidzein and coumestrol on sex-related genes expression in Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*). *Aquaculture* 530 (2021) 735872. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735872>

FAO (2021). *FAO Yearbook. Fishery and Aquaculture Statistics 2019/FAO* <https://doi.org/10.4060/CB7874T>

Fry J. P., Mailloux N. A., Love D. C., Milli M. C., Cao L. (2018). Feed conversion efficiency in aquaculture: Do we measure it correctly? *Environmental Research Letters*, 13(2), 024017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaa273>

Glencross B. D., Baily J., Berntssen M. H. G., Hardy R., MacKenzie S., Tocher D. R. (2020). Risk assessment of the use of alternative animal and plant raw material resources in aquaculture feeds. *Reviews in Aquaculture*, 12(2), s. 703–758. <https://doi.org/10.1111/raq.12347>

Glencross B., Hawkins W., Maas R., Karopoulos M., Hauler R. (2010). Evaluation of the influence of different species and cultivars of lupin kernel meal on the extrusion process, pellet properties and viscosity parameters of salmonid feeds. *Aquaculture Nutrition*, 16(1), s. 13–24. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2008.00636.x>

Hodar A. R., Vasava R., Joshi N. H., Mahavadiya D. R. (2020). Fish meal and fish oil replacement for alternative sources: a review. *Journal of Experimental Zoology India*, 23(January), s. 13–21.

Jones S. W., Karpol A., Friedman S., Maru B. T., Tracy B. P. (2020). Recent advances in single cell protein use as a feed ingredient in aquaculture. *Current Opinion in Biotechnology*, 61, s. 189–197. <https://doi.org/10.1016/J.COPBIO.2019.12.026>

Kamaszewski M., Ostaszewska T. (2013). The effect of feeding on morphological changes in intestine of pike-perch (*Sander lucioperca* L.). *Aquaculture International* 2013 22:1, 22(1), s. 245–258. <https://doi.org/10.1007/S10499-013-9693-Y>

Kamaszewski M., Prasek M., Ostaszewska T., Dabrowski K. (2013). The influence of feeding diets containing wheat gluten supplemented with dipeptides or free amino acids on structure and development of the skeletal muscle of carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture International* 2013 22:1, 22(1), s. 259–271. <https://doi.org/10.1007/S10499-013-9683-0>

Olsen R.L., Hasan M. R. (2012). A limited supply of fishmeal: Impact on future increases in global aquaculture production, 27 *Trends in Food Science and Technology*, 27, s.120 - 128. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.003>

Øverland M, Tauson AH, Shearer K, Skrede A. (2010). Evaluation of methane-utilising bacteria products as feed ingredients for monogastric animals. *Archives of Animal Nutrition*. 64(3) s.171-89.

Pakravan S., Akbarzadeh A., Sajjadi M. M., Hajimoradloo A., Noori F. (2017). Partial and total replacement of fish meal by marine microalga *Spirulina platensis* in the diet of Pacific

white shrimp *Litopenaeus vannamei*: Growth, digestive enzyme activities, fatty acid composition and responses to ammonia and hypoxia stress. *Aquaculture Research*, 48(11), s. 5576–5586. <https://doi.org/10.1111/ARE.13379>

Pieper R., Taciak M., Pieper L., Święch E., Tuśnio A., Barszcz M., Vahjen W., Skomiał J., Zentek J. (2016). Comparison of the nutritional value of diets containing differentially processed blue sweet lupin seeds or soybean meal for growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 221, s. 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.08.026>

Potki N., Falahatkar B., Alizadeh A. (2018). Growth, hematological and biochemical indices of common carp *Cyprinus carpio* fed diets containing corn gluten meal. *Aquaculture International* 26(6), s. 1573–1586. <https://doi.org/10.1007/S10499-018-0304-9>

Rawles S. D., Thompson K. R., Brady Y. J., Metts L. S., Aksoy M. Y., Gannam A. L., Twibell R. G., Ostrand S., Webster C. D. (2011). Effects of replacing fish meal with poultry by-product meal and soybean meal and reduced protein level on the performance and immune status of pond-grown sunshine bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*). *Aquaculture Nutrition*, 17(3), s. 708–721. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2010.00831.x>

Sharma A. (2021). A review on traditional technology and safety challenges with regard to antinutrients in legume foods, *Journal of Food Science and Technology*. 58(8), s. 2863-2883. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04883-8>

Szczepański A., Adamek-Urbańska D., Kasprzak R., Szudrowicz H., Śliwiński J., Kamaszewski M. (2022). Lupin: A promising alternative protein source for aquaculture feeds? *Aquaculture Report*. 26. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101281>

Tacon P. (2014). Understanding yeast, in *Aquafeed*. *Aqua Feed International*, United Kingdom. s. 13-16.

Tusche K., Arning S., Wuertz S., Susenbeth A., Schulz C. (2012). Wheat gluten and potato protein concentrate — Promising protein sources for organic farming of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 344–349, 120–125. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2012.03.009>

World Bank Commodities Price Data (The Pink Sheet). (2020). World Bank, Accessed: August 2020. <http://pubdocs.worldbank.org/en/935161596562812622/CMO-Pink-Sheet-August-2020.pdf>

Zaretabar A., Oraj H., Yegane S., Keramat A. (2020). The effects of replacing fish meal with barley protein concentrate on digestive enzyme activity and hepatic enzymes of Caspian salmon (*Salmo trutta caspius*). Iranian Scientific Fisheries Journal. 28, 6, s. 111 – 121. <https://doi.org/10.22092/ISFJ.2019.120187>

Rozdział 5. Biomarkery jako narzędzie oceny wpływu stosowanych technologii chowu na organizm ryb.

Dobrochna Adamek-Urbańska

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego Samodzielny Zakład Ichtiologii i Biotechnologii w Akwakulturze

Rafał Wild

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego Samodzielny Zakład Ichtiologii i Biotechnologii w Akwakulturze

Wstęp

Rozwój akwakultury w ostatnich dziesięcioleciach jest znaczący, a systematycznie wprowadzane rozwiązania technologiczne wpływają istotnie na uzyskiwane z niej produkty nie tylko w zakresie efektywności, ale również jakości i ekonomii chowu. Niemniej w przypadku akwakultury śródlądowej, która dominuje w rejonie Europy Centralnej i Wschodniej, nadal obserwuje się intensywnie prowadzone badania nad doskonaleniem chowu i hodowli poszczególnych gatunków zwierząt, w szczególności w ostatnich latach, kiedy coraz silniej odczuwalne są zmiany klimatyczne istotnie wpływające na zdrowie i przeżywalność ryb, co przekłada się na zyski producentów. Wprowadzanie nowych rozwiązań niejednokrotnie związane jest z koniecznością weryfikacji oddziaływania danego czynnika lub czynników nie tylko na parametry wzrostowe, ale również na efektywność produkcji ocenianą na podstawie przeżywalności oraz takich biomarkerów jak przeżywalność, tempo przyrostów, wykorzystania paszy, końcowej masy produktu, niemniej nie wyjaśniają one czy i w jaki sposób badane parametry oddziaływały na zdrowotność organizmów. Wiedza w jaki sposób badane rozwiązania technologiczne wpływają na organizmy pozwala nie tylko określić sposób działania, ale także dostarcza cennych informacji w jaki sposób można je dalej doskonalić.

Biomarkery i ich wykorzystanie

Akwakultura podobnie jak każda inna gałąź produkcji zwierzęcej stara się dążyć do podnoszenia jakości hodowli, wprowadzania zmian korzystnych z punktu widzenia dobrostanu zwierząt oraz wprowadzania nowych rozwiązań technologicznych, które pozwalają przewidywać wystąpienie niekorzystnych zjawisk. Biomarkery odgrywają ważną rolę w ocenie zdrowia ryb hodowanych w akwakulturach. Są one szeroko wykorzystywane w badaniach wpływu zanieczyszczonego środowiska na zdrowie kręgowców wodnych, zapobiegania i wczesnego rozpoznawania chorób, oddziaływania różnego rodzaju stresorów, z którymi ryby mogą mieć styczność. Wśród powszechnie stosowanych wskaźników pozwalających na ewaluację występujących w populacjach ryb hodowlanych zmian mogą posłużyć biomarkery molekularne, biochemiczne i fizjologiczne. W ostatnich latach coraz częściej, także u ryb, testuje się również możliwość wykorzystania biomarkerów epigenetycznych, które mogą mieć potencjalne zastosowanie w monitorowaniu dobrostanu zwierząt i stanu ekosystemów wodnych (Anastasiadi i Beemelmans 2023).

Zazwyczaj biomarkery wykorzystuje się wtedy, gdy w stadzie lub hodowli zaczynają pojawiać się niepożądane, niekorzystne dla zwierząt lub ekonomii produkcji zjawiska. Pogorszenie dobrostanu charakteryzuje się niejednokrotnie występowaniem kilku istotnych zjawisk, które są dobrze znane każdemu hodowcy ryb. Do najtrudniejszych należą kanibalizm, zróżnicowanie tempa wzrostu, zwiększenie zapadalności na choroby oraz wzrost śmiertelności, które mogą występować niezależnie od siebie lub być ze sobą powiązane. Wszystkie wymienione parametry są wynikiem stresu w jakim znajduje się organizm. Stres generalnie jest zjawiskiem pożądanym, pomagającym w krótkoterminowym korzystnym oddziaływaniu na stan zdrowia, jednakże przedłużający się stres może znacząco, negatywnie oddziaływać na wiele sposobów na organizm ryb. Do krótkotrwale oddziaływujących na ryby stresorów należą te związane z samą produkcją – odłowy, sortowanie, transport czy handling (Portz i in. 2006). Jednakże występowanie stresu długoterminowego, chronicznego, generuje dodatkowe koszty dla organizmu wymuszając wykorzystywanie pobieranej paszy na kompensację pogarszających się warunków środowiskowych (Schreck i Tort 2016).

Wśród czynników stresujących chronicznie najczęściej wymieniane są czynniki chorobotwórcze, wysoka gęstość obsady, nieprawidłowe żywienie (zarówno jego częstotliwość jak i skład paszy), warunki środowiskowe - zanieczyszczenie wody, zmiana ich parametrów, w szczególności temperatury i odczynu (Martos-Sittha i in. 2020). W przypadku występowania

chronicznego stresu dochodzi często do załamania działania układu immunologicznego (Petitjean i wsp. 2019; Martos-Sitcha i in. 2020). Jego nieprawidłowa praca objawia się pojawieniem ogólnych zmian w zachowaniu i wyglądzie ryb – większą lub mniejszą płochliwość, zmianą częstotliwości pracy pokryw skrzelowych, dziubkowaniem, czy też pojawieniem zmian fenotypowych takich jak zmiany skórne o zróżnicowanym nasileniu. W takiej sytuacji najczęściej dochodzi do dalszego pogarszania stanu zdrowia aż do wystąpienia śmierci pojedynczych ryb lub w skrajnych przypadkach nawet całego stada. Z tego względu świadomość występowania chronicznego stresu oraz jego przyczyn w produkcji przyczynia się znacząco do minimalizowania i/lub zapobiegania występowaniu niepożądanych skutków. Minimalizowanie stresu u zwierząt przyczynia się korzystnie do ich ogólnej kondycji oraz wzrostu opłacalności hodowli, dlatego też badania prowadzone w akwakulturach dotyczą nie tylko ogólnych zagadnień związanych z żywieniem czy rozrodem zwierząt, ale również wprowadzaniem nowych technologii pozwalających na poprawę dobrostanu ryb a tym samym zwiększenie opłacalności produkcji.

Opracowanie nowych technologii czy alternatywnych rozwiązań wzmacniających silne strony produkcji ryb w akwakulturze słodkowodnej wymaga posiadania podstawowych informacji na temat hodowanych gatunków ryb oraz ich biologii. Wiedza z zakresu rozrodu, chowu i hodowli od momentu zapłodnienia do kolejnego cyklu rozrodczego jest kluczowa dla sukcesu akwakultury. Dotychczasowe badania dostarczyły wiele cennych obserwacji na temat wpływu zróżnicowanych czynników na rozwój ikry oraz wzrost i przeżywalność larw. Często to same warunki inkubacji czy rozwoju ikry pozwalają na długoterminowe oddziaływanie na późniejsze stadia rozwojowe (Carral i in. 2006; Sapkalei in. 2011; Korwin-Kossakowski 2012; Kaemingk i in. 2014; Ługowska i Witeska 2018). W okresie postembrionalnym, przed metamorfozą, w czasie intensywnego formowania i dojrzewania narządów, zwłaszcza przewodu pokarmowego, istnieje możliwość dostosowania sposobu żywienia i utrzymania ryb w tym wieku na podstawie znajomości anatomii, morfologii i fizjologii (Ostaszewska i in. 2003, 2005, 2011, 2018; Kamaszewski i in. 2014; Kolman i in. 2018; Kasprzak i in. 2019). Taki zabieg może istotnie zwiększyć ilość dobrego jakościowo narybku, przydatnego do dalszej hodowli. Ponadto również w późniejszym okresie, znajomość wymienionych wcześniej cech ryb jest kluczowa dla efektywnego zwiększenia wydajności produkcji. Znajomość funkcjonowania organizmów hodowanych ryb zapewnia znacznie więcej możliwości optymalizacji ich hodowli w porównaniu do działań bez tej wiedzy, często kończących się nie

tylko nie uzyskaniem satysfakcjonujących przyrostów, ale również wzrostem śmiertelności, rzutując na wartość ekonomiczną prowadzonej produkcji. W znaczącej większości obecnie testuje się nowe dodatki lub komponenty paszowe oraz strategie żywieniowe, zarówno w celu dostarczenia odpowiednich wartości odżywczych utrzymywanym zwierzętom, jak i opracowanie pasz przeznaczonych do szybkiego wzrostu ryb (Tacon 2020; Alfico i in. 2022; van Riel i in. 2023). Przygotowane w ten sposób mieszanki paszowe mogą również wspierać lokalną gospodarkę, poprzez wykorzystanie roślin wysokobiałkowych uprawianych regionalnie, minimalizując koszty transportu międzynarodowego (Roy i Mraz 2021; Szczepański i in. 2022).

W prowadzonych badaniach nad doskonaleniem sposobu żywienia ryb wykorzystuje się liczne metody badawcze takie jak analizy aktywności enzymów trawiennych, analizy histologiczne wycinków lub całych przewodów pokarmowych, oraz analizy sposobu działania genów związanych z funkcjonowaniem i pracą przewodu pokarmowego. Techniki te są relatywnie proste w wykonaniu, umożliwiają stosunkowo szybkie uzyskanie wyników, które można wielokrotnie porównywać w kolejnych etapach prac badawczych, nie są również bardzo kosztowne, jak niektóre badania przesiewowe.

Biomarkery histologiczne

Jednym ze sposobów, z wspomnianych metod analitycznych, oceny wpływu stosowanych czynników żywieniowych na układ pokarmowy jest analiza histologiczna fragmentów tego układu (lub całych ryb w przypadku osobników do ok. 5 cm długości całkowitej ciała). Histologia jest nauką o tkankach, może dotyczyć zarówno zwierząt jak i roślin. W akwakulturze jest często wykorzystywana jako narzędzie pomagające ocenić stopień zaawansowania i etiologię niektórych niekorzystnych zjawisk mogących znacząco obniżyć potencjalne zyski z hodowli (Good i in. 2010; Raskovic i in. 2016; Adamek i in. 2017). Stosowana jest nie tylko w przypadku występowania drobnoustrojów patogennych, ale również w trakcie prowadzonych prac badawczych. Najczęściej analizowanymi narządami są przewody pokarmowe oraz towarzyszące im narządy wydzielnicze – wątroba i trzustka. Obie mogą występować jako oddzielne lub jeden narząd, mogą być zwarte (występować jako pojedyncze płacikowate struktury) lub w formie rozproszonej, przy czym ta ostatnia forma dotyczy głównie trzustki. Najczęstszym przedmiotem badań jednak są jelita stanowiące główny narząd odpowiedzialny za trawienie i wchłanianie substancji odżywczych pobieranych z pokarmu.

Budowa jelit ryb jest zbliżona do tej obserwowanej u ludzi jednak stopień jej złożoności u nich jest znacznie wyższy. U ryb nie występują kosmki jelitowe, a jedynie fałdy jelitowe, choć również jak u ssaków na powierzchni śluzówki, najbardziej wewnętrznej warstwy, występują mikrokosmki – niewielkie palczaste wypustki, które pozwalają na zwiększenie powierzchni chłonnej jelit i lepszego wykorzystywania zadawanej paszy. Fałdy jelitowe pokryte śluzówką zbudowaną z komórek nabłonka jednowarstwowego cylindrycznego zawierają u ryb również inne typy komórek niezbędne do prawidłowego funkcjonowania przewodu pokarmowego. Są to przede wszystkim komórki śluzowe otwierające się do światła jelita, aby produkowany śluz mógł mieć bezpośrednią styczność ze znajdującym się w jelicie pokarmem, komórki odpornościowe, które odpowiadają za zwalczanie drobnoustrojów, które dostają się wraz z pokarmem do przewodu pokarmowego oraz komórki neuroendokrynowe stanowiące centrum zarządzania procesami fizjologicznymi w przewodzie pokarmowym.

Analiza histologiczna przewodu pokarmowego jest niezwykle ważnym narzędziem badawczym, w którym możemy zastosować liczne biomarkery zdrowotności układu pokarmowego, którego praca przekłada się bezpośrednio nie tylko na ogólne parametry hodowlane takie jak masa ciała czy długość całkowita, ale również zdrowotność. W przewodach pokarmowych ryb występują liczne mechanizmy odpornościowe, które mają za zadanie zabezpieczać organizm przed działaniem niepożądanych czynników chorobotwórczych takich jak bakterie, wirusy i grzyby. Niemniej, w przypadku, w którym zadawana pasza nie jest dostosowana do potrzeb danego gatunku ryb, może ona niszczyć naturalną barierę jaką jest wspomniany nabłonek wyściełający przewody pokarmowe (Kamaszewski i Ostaszewska 2014; Wiszniewski i in. 2022). Taki efekt może zostać zaobserwowany przy niewłaściwych kompozycjach paszowych, które będą zmieniać pH śluzu w jelitach, a przez to wpływać negatywnie na wchłanianie pokarmu. Ponadto mogą one również wywoływać stan zapalny, który początkowo będzie występował w niewielkim stopniu, jedynie miejscowo, a następnie będzie rozszerzał się na kolejne fragmenty jelit (Adamek-Urbańska i in. 2020). Stan zapalny jelit jest niebezpieczny dla zdrowia ryb, ponieważ wpływa na ogólną zdrowotność organizmu. Może przez to prowadzić do nie tylko spadku przyswajalności paszy, ale również pojawienia się apatii, utraty apetytu a przez to dalej do kacheksji i śmierci ryb.

Badania przewodu pokarmowego są więc jednym z kluczowych elementów weryfikowania wpływu opracowywanych, nowych kompozycji paszowych oraz testowania

innowacyjnych komponentów. W przypadku analiz histologicznych przewodu pokarmowego można wykorzystać liczne biomarkery pozwalające na możliwie obiektywną ocenę wprowadzonych zmian. Analizy ilościowe pozwalają więc na możliwie obiektywną ocenę przeprowadzonego eksperymentu, a wspomagane analizami statystycznymi umożliwiają wnioskowanie o jego wynikach i wpływie stosowanej paszy lub dodatku paszowego na przewód pokarmowy.

Wykorzystanie biomarkerów histologicznych wymaga pobrania materiału do badań – w formie wycinków przewodu pokarmowego lub całej larw/ryb w zależności od ich wielkości. Zabezpieczanie materiału badawczego do analiz histologicznych jest niezwykle proste, ale obwarowane kilkoma kluczowymi zasadami:

1. Przewód pokarmowy ryb powinien być opróżniony – bez zalegającej paszy, dlatego zaleca się pobieranie go od ryb poddanych głodówce.
2. Pobranie fragmentów przewodu pokarmowego powinno zostać wykonane ostrożnie – nie należy go wyrywać, jak często robi się w trakcie hurtowego patroszenia ryb, a ostrożnie odciąć od strony przełyku i odbytu.
3. Materiał do analiz histologicznych powinien zostać umieszczony w pojemniku z utrwalcaczem chemicznym tak szybko jak to możliwe. Przewód pokarmowy zawiera liczne enzymy oraz mikrobiom, które powodują natychmiast po jego wycięciu zmiany autolityczne – poddają elementy przewodu pokarmowego samostrawieniu.
4. Ostatnim i równie ważnym elementem jest umieszczenie odpowiedniej wielkości fragmentu przewodu pokarmowego do pojemnika z utrwalcaczem. Przyjmuje się, że ilość utrwalcza powinna stanowić około 10-krotność objętości umieszczonej w niej tkanki. Takie wytyczne jednak są trudne do oszacowania w praktyce. W związku z tym należy przyjąć by płynu utrwalającego było na tyle dużo by badane tkanki mogły w nim swobodnie pływać a nad nim znajdowało się minimum 2-3 cm płynu.

Wspomniany powyżej utrwalcacz chemiczny (inaczej płyn utrwalający) to substancja chemiczna, która pozwala zachować budowę tkanki zwierzęcej w takim stanie jak za życia (poprzez zahamowanie procesów pośmiertnych), dlatego też tak ważne jest szybkie rozpoczęcie utrwalania po uśmierceniu ryby. Do najczęściej stosowanych płynów utrwalających należą zbuforowana formalina oraz płyn Bouina. Pierwszy z nich jest powszechnie znaną substancją i nadal często stosowaną w nie tylko jako odczynnik chemiczny

w laboratoriach, ale również pomoc terapeutyczna w np. nadpotliwości. Niezwykle ważne jest stosowanie do utrwalania pobranego materiału prawidłowego stężenia formaliny. Łatwo dostępną jej formą jest formaldehyd o stężeniu 35-40%. Taki płyn jest zbyt skoncentrowany i powoduje niszczenie pobranych tkanek. Należy go rozcieńczyć 4-krotnie do stężenia 10% buforem na bazie fosforanów. Obecność związków fosforu jest ważna, ponieważ pozwala zachować pH płynu, które prawidłowo zabezpieczy tkankę. Ich brak, w wyniku np. rozcieńczenia formaldehydu tylko w wodzie, będzie skutkowało uzyskaniem znacznie gorszej jakości preparatów. Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom użytkowników na rynku od kilku lat, również w Polsce, dostępne są próbówki już zawierające odpowiednią objętość formaliny buforowanej – dostępne w różnych pojemnościach. Można również zakupić buforowaną formalinę w kanistrach – jednak jej trwałość jest ograniczona.

Pomiary morfometryczne są ważnym narzędziem pozwalającym na obiektywną analizę materiału badawczego. W przypadku przewodu pokarmowego jednym z najważniejszych biomarkerów jest struktura fałdów jelitowych. Jelita ryb stanowią tubę, wyścielaną silnie pofałdowaną śluzówką. Struktura tego pofałdowania jest zależna od wieku ryb, ich stanu zdrowia, sposobu odżywiania i przyjmowanego pokarmu. Stopień złożoności pofałdowania jest również zróżnicowany w zależności od tego jakiego gatunku zwierzę jest badane (Rašković i in. 2011). Na podstawie rozmiarów i budowy tych fałdów można ocenić np. wpływ stosowanej paszy na stan przewodu pokarmowego i efektywność trawienia. Rozmiar fałdów jelitowych można określać na kilka sposobów, jednakże obecnie w badaniach naukowych dominują dwa główne: pomiary samej wysokości fałdów jelitowych oraz pomiary ich powierzchni określane ze wzoru $(\text{wysokość fałdów jelitowych} \times \text{szerokość fałdów jelitowych}) / (\text{szerokość fałdów jelitowych}/2)^2$ (Hamidian i in. 2018). Oba sposoby są wyjątkowo efektywne szczególnie u larw i młodych ryb, u których budowa fałdów jelitowych jest stosunkowo prosta. U ryb starszych przeprowadzanie pomiarów morfometrycznych może być utrudnione ze względu na wzrost złożoności pofałdowania – u niektórych ryb dochodzi do tworzenia drugorzędowych połączeń pomiędzy fałdami jelitowymi co znacząco utrudnia przeprowadzenie takich pomiarów. Obecnie jednak znacząca większość programów do obsługi kamer mikroskopowych umożliwia prowadzenie różnych analiz ilościowych i jakościowych. W przypadku braku możliwości zmierzenia fałdów jelitowych można obrysować powierzchnię zajmowaną przez fałdy jelitowe ręcznie lub z pomocą programów do analizy preparatów histologicznych. Pozyskane wyniki są

opracowywane statystycznie by obiektywnie wykazać czy przeprowadzone pomiary wykazały różnice pomiędzy badanymi grupami.

Wysokość fałdów jelitowych determinuje możliwości trawienne danej ryby, jednakże również struktura histologiczna pokrywającego go nabłonka jest równie istotna. Im fałdy są one wyższe i liczniejsze, tym więcej komórek jelitowych występuje w przewodzie pokarmowym, dzięki czemu znacząco poprawiają się możliwości trawienia oraz efektywność wykorzystania paszy. Budowa tych komórek również poddawana jest pomiarom: mierzona jest wysokość enterocytów oraz ich struktura oceniana na podstawie ułożenia jądra komórkowego oraz wysokości nadjądrowej. Nie należy poddawać pomiarom komórek, znajdujących się u szczytu fałdów, gdyż uwzględniając jego budowę będą one posiadały kształt odmienny do tych, znajdujących się w środkowym jego odcinku. Przyjmuje się zatem, że pomiary wysokości enterocytów oraz wysokości nadjądrowej wykonuje się od 1/3 do 2/3 wysokości fałdu jelitowego mierząc od blaszki podstawnej do mikrokosmków. Im wyższy jest nabłonek, im wyższa jest część nadjądrowa tym korzystniejszy wpływ stosowanego rozwiązania żywieniowego. Biomarkerem morfometrycznym, pozwalającym również stwierdzić poprawność budowy histologicznej jelit jest szerokość blaszki środkowej. Struktura ta stanowi najbardziej wewnętrzną część fałdu, pełniącą nie tylko formę podporową dla tej struktury, ale także swoistą drogę transportu wchłanianych substancji odżywczych do nasady fałdu ze względu na przebiegające pod nią naczynia krwionośne. Biorąc pod uwagę uzyskane wyniki pomiarów morfometrycznych, a także porównując wyniki grup badanych z wynikami grupy lub grup kontrolnych określić można wpływ badanego czynnika paszowego lub badanej mieszanki paszowej na prawidłowość budowy fałdów jelitowych, a także oddziaływanie danego dodatku paszowego lub nowej kompozycji na ten narząd.

Niemniej informacje pozyskane w tej formie przedstawiają jedynie wpływ danej paszy na budowę i morfologię przewodu pokarmowego, ale niewiele informacji dostarczają na temat wpływu na fizjologię przewodu pokarmowego. Jedną z odgałęzień histotechnologii jest immunohistochemia czyli rodzaj analiz histologicznych prowadzonych na preparatach histologicznych w których znajdują się wyznakowane specyficzne fragmenty tkanek. Reakcja immunohistochemiczna wykorzystuje właściwości tkanek lub komórek do łączenia się z przeciwciałami i wykorzystuje tę właściwość by znakować poszczególne substancje chemiczne w organizmie. Stosować można przeciwciała przeciwno, na przykład, konkretnym typom

komórek odpornościowych lub neuroendokrynych, których liczba wskazuje na pobudzenie lub zastój w działaniu przewodu pokarmowego oraz układu odpornościowego.

Najczęściej jednak w reakcjach immunohistochemicznych w badaniach w akwakulturach ryb wykorzystuje się markery proliferacji i apoptozy, czyli podziałów komórkowych oraz zaprogramowanej śmierci komórkowej. Oba procesy są niezwykle ważne w funkcjonowaniu organizmów wodnych, jednakże w trakcie doświadczeń ich zastosowanie umożliwia ocenę nie tylko ogólnej morfologii, ale również procesów fizjologicznych, które zachodziły w organizmie, z którego pochodzi preparat. Analizy takie przeprowadza się na takich samych preparatach histologicznych co wymienione powyżej analizy histomorfometryczne. Ilość komórek, które namnażają się w poszczególnych odcinkach przewodu pokarmowego czy innych tkankach, w porównaniu do liczby tych komórek w grupach kontrolnych pozwala na wymierne oszacowanie wpływu badanego parametru na wzrost tkanek. W znaczącej większości przypadków im wyższa liczba takich komórek tym lepszy wyniki i bardziej obiecujące rezultaty. W przypadku apoptozy, podobnie jak proliferacji, liczba komórek jej ulegająca pozwala na wymierne i obiektywne wskazanie w jaki sposób badana strategia hodowlana wpływa na zdrowotność organizmu. Im więcej komórek apoptotycznych występuje w badanym odcinku przewodu pokarmowego tym na ogół bardziej negatywny wpływ badanej paszy.

Analiza dynamiki reakcji tkanki w odpowiedzi na czynniki zewnętrzne (czy żywieniowe, czy związane z utrzymaniem ryb) jest oczywiście jedną z wielu możliwości jakie oferuje immunohistochemia. Drugim najczęściej stosowanym w akwakulturze sposobem wykorzystania tej techniki jest zastosowanie markerów komórek odpornościowych. Układ odpornościowy ryb zbudowany jest odmiennie w porównaniu do ssaków. Głównymi narządami krwiotwórczymi są nerka głowowa, śledziona, grasica i skupiska komórek odpornościowych występujących w ścianie przewodu pokarmowego GALT (ang. *gut – associated lymphoid tissue*). Podobnie jak u kręgowców lądowych również u ryb występują komórki odpornościowe pełniące podobne funkcje jak np. u ssaków takie jak limfocyty, makrofagi, mastocyty, komórki dendrytyczne czy inne białe krwinki (Mokhtar i in. 2023). W celu ich odróżnienia od innych elementów morfotycznych krwi, stosuje się swoiste biomarkery, np. marker limfocytów T, CD3 (ang. *cluster of differentiation 3*). Podobnie jak w przypadku ogólnych pomiarów morfometrycznych, również w przypadku stosowania biomarkerów komórek odpornościowych

można przeprowadzić analizę ilościową. Istnieje kilka możliwości przeprowadzenia takich analiz, z czego najczęściej stosowane są dwa. Pierwszy obejmuje przeprowadzenie pomiarów komórek wybarwionych pozytywnie w konkretnym odcinku długości lub powierzchni i technika ta stosowana jest głównie w analizach jelit. Druga technika polega na zliczaniu komórek pozytywnych w stosunku do komórek nie wybarwionych, konkretnego typu. Oba sposoby wymagają jednak w przypadku ich manualnego zliczania w wielu punktach u jednego osobnika i wykorzystanie możliwie dużej ilości pomiarów by móc rzetelnie oszacować realny wpływ badanych czynników. Alternatywnym sposobem analizy wyników reakcji immunohistochemicznych jest zastosowanie programów komputerowych pozwalających na graficzne przekształcenie obrazu preparatu histologicznego (w postaci wykonanego z niego zdjęcia), a następnie przeliczenie uzyskanych wyników w dowolny, ustawiony przez użytkownika sposób. Niemniej, bez względu na rodzaj prowadzonych analiz konieczne jest późniejsze zweryfikowanie pomiarów poprzez analizy statystyczne.

Wśród analiz histologicznych prowadzonych w trakcie badań nad optymalizacją żywienia lub strategii produkcji dominującymi są te dotyczące żywienia ryb. Jednakże w świetle postępujących w ostatnich latach zmian środowiskowych związanych z jego zanieczyszczeniem lub zmieniającymi się temperaturami coraz częściej dotyczą również aspektów związanych z ich zdrowotnością i dobrostaniem. Rutynowo w testach toksyczności wykorzystywane są oczywiście organizmy wodne jako te najbardziej narażone na dany czynnik – ryby przebywają w środowisku, w którym pochłaniają jego zanieczyszczenia przez całą powierzchnię skóry, skrzel, oraz poprzez połykanie wody. W przeciwieństwie do zwierząt lądowych często nie są również w stanie przemieścić się w inny rejon, w którym zanieczyszczenie nie występuje (ze względu na ograniczoną wielkość zbiorników hodowlanych). W przypadku narażenia zwierząt na toksykanty zawarte w wodzie do analiz pobiera się fragmenty skóry, skrzel, nerek, śledziony i wątroby. Ważne jest również zachowanie dokumentacji fotograficznej, ponieważ często dostarcza ona kluczowych informacji dla analityków.

Poza weryfikacją sposobu oddziaływania toksykantów, jako uzupełnienie badań nad wzrostem, szczególnie młodych osobników, prowadzi się analizy tkanki mięśniowej. Analizy takie przeprowadzane są na dwa sposoby – poprzez zastosowanie wcześniej opisanego protokołu dla wycinków przewodu pokarmowego, lub też poprzez zachowanie wycinków

mięśni w formalinie, a następnie ich zamrożenie i skrawanie na mikrotomie mrozeniowym, co pozwoli zachować występujący w tej tkance tłuszcz. W analizach tkanki mięśniowej, weryfikacja sposobu i ilości otłuszczenia kumulowanego w tkance łącznej towarzyszącej tkance mięśniowej oraz we włóknach mięśniowych dostarcza ważnych dla producenta informacji o skuteczności prowadzonej produkcji. Mięśnie ryb rosną bowiem przez całe życie, w stadium młodocianym intensywnie poprzez przyrost liczby włókien mięśniowych (hiperplazja), a im starsze osobniki, tym proces ten ustępuje miejsca wzrostowi wielkości istniejących już włókien (hipertrofia). Ponadto, możliwym jest również przeprowadzenie wspomnianych analiz proliferacji włókien mięśniowych. Dzięki temu można w przybliżeniu przewidywać potencjał wzrostowy ryb w różnych kategoriach wagowych w obrębie kohorty oraz prognozować dalsze możliwości przyrostów.

Biomarkery molekularne

Poza wymienionymi metodami analiz histologicznych, które pozwalają na określenie stanu zdrowotnego ryb, stosować można również analizy molekularne. Pierwsze analizy ekspresji genów przeprowadzono jeszcze w latach 80'. Od tego czasu nastąpił drastyczny, a szczególnie w ciągu ostatnich dziesięciu lat, również dynamiczny rozwój samej technologii i dostępności odczynników. Obecnie możliwa jest analiza zarówno wariantów genów (alleli) posiadanych przez konkretne osobniki w populacji badanej, jak i stopnia ekspresji genów, będących podstawą produkcji białek, enzymów czy innych składników tkanek zwierzęcych. W celu przeprowadzenia analiz genetycznych konieczne jednak jest pobranie próbek materiału od badanych ryb w nieco inny niż opisywany powyżej sposób. Ze względu na dużą podatność materiału genetycznego (DNA i RNA) na działanie czynników środowiskowych (bardzo szybko ulega degradacji) należy wycinać znacznie mniejsze fragmenty narządów. W przypadku pobrania fragmentów tkanek zaleca się stosowanie specjalnych płynów utrwalających, które zachowają DNA lub RNA. Dodatkowo materiał ten powinien być przechowywany w warunkach chłodniczych (-20°C) do czasu przetransportowania do jednostki wykonującej analizy. Transport materiału do laboratorium biologii molekularnej prowadzony jest w warunkach obniżonej temperatury, najczęściej w pojemnikach z suchym lodem (-76°C) lub ciekłym azotem (-196°C), które skutecznie zabezpieczają próby.

Równie kluczowym czynnikiem, będącym nieodzownym elementem analiz genetycznych, jest późniejsza izolacja materiału genetycznego. Proces ten jest o tyle ważny, że ma bezpośrednie przełożenie na uzyskane wyniki. Poprzez izolację DNA rozumie się denaturację (czyli degradację struktury) białek, tworzących błonę komórkową, a także uwolnienie materiału genetycznego z jądra komórek. Uzyskany w ten sposób DNA zbierany jest w postaci rozproszonej w cieczy, a od jego koncentracji, a także jakości (rozumianej jako stopień fragmentacji) zależą późniejsze wyniki prowadzonych analiz. Poprawność izolacji materiału możliwa jest poprzez ocenę z wykorzystaniem spektrofotometrów, które poprzez przepuszczenie wiązki światła o konkretnej długości fali przez badaną próbkę pozwalają ocenić zarówno wspomniane wcześniej parametry, jak i zanieczyszczenie próbki fragmentami białek oraz fenoli i alkoholi, które wykorzystywane są podczas procesu izolacji. Przygotowany w ten sposób materiał genetyczny jest gotowy do przeprowadzenia końcowych analiz ekspresji genów, opierających się na reakcji PCR (ang. *polymerase chain reaction* - łańcuchowa reakcja polimerazy).

Reakcja PCR polega na wykorzystaniu istniejącego materiału biologicznego, aby na jego podstawie powielić konkretną badaną sekwencję genu np. kodującego hormon wzrostu w wątrobie karpia. Ilość powielonych sekwencji pozwala oszacować, ile hormonu wzrostu występowało w wątrobie u osobników z grupy żywionej paszą eksperymentalną, a ile w grupie kontrolnej. Różnice pomiędzy nimi pomagają zrozumieć w jaki sposób zastosowana pasza wpłynęła nie tylko na ogólne parametry wzrostu ryb, ale również ich biologię na poziomie molekularnym. Hormon wzrostu, oraz inne czynniki genetyczne wpływające na wzrost są częstym przedmiotem analiz genetycznych w badaniach nad doskonaleniem akwakultury (Triantaphyllopoulos i in. 2020; Ndandala i in. 2022; Vazirzadeh i in. 2022) dostarczając cennych informacji o wpływie testowanych czynników, w tym stresorów, na późniejszą efektywność produkcji (Herrera i in. 2021; Zheng i in. 2024;) Poza wykrywaniem materiału genetycznego ryby możliwa jest również do przeprowadzenia detekcja DNA czynników chorobotwórczych, takich jak bakterie i wirusy (Hofsoe-Oppermann i in. 2019; Tanyag i in. 2021; Bell i in. 2022; Abdelsalam i in. 2023; Chanu i Thakuria 2023). Dzięki temu hodowcy mogą mieć możliwość szybkiego reagowania i właściwego doboru sposobu leczenia. Biomarkery mogą również służyć do wczesnej detekcji płci w stadach u ryb, u których sposób jej determinowania został poznany jak np. u karpia (Jiang i in. 2020), pstrąga tęczowego (Bhat i in. 2023), sandacza (Schafer i in. 2021), czy jesiotra (Chen i in. 2016; Degani i in. 2019).

W celu przeprowadzenia reakcji PCR konieczne jest przygotowanie mieszaniny, w której poza materiałem genetycznym ryby, a także odpowiednio dobranym środowiskiem reakcji, znajdzie się mieszanina nukleotydów (podstawowych elementów budujących strukturę DNA) stanowiących materiał budulcowy dla powielanej sekwencji, jak i polimerazy, która będzie tworzyła jej kopie, a także specyficznych starterów – czyli krótkich odcinków sekwencji DNA specyficznych, jak na przykład we wspomnianym przykładzie badania hormonu wzrostu u karpia, dla badanego genu. Polimeraza jest enzymem, której funkcją jest dobudowanie nici DNA komplementarnej (pasującej) do analizowanej nici nukleotydów. Wykorzystywana najczęściej polimeraza Taq pozyskiwana jest z bakterii, które występują w środowisku o wysokiej temperaturze. Startery są koniecznym elementem mieszaniny reakcyjnej, gdyż, jak ich nazwa wskazuje, stanowią miejsce rozpoczęcia reakcji.

Przebieg reakcji PCR jest bardzo charakterystyczny i wymaga specjalnego urządzenia (termocyklera), które pozwala na inkubowanie próbek zawierających wspomnianą mieszaninę w interwałach przy dynamicznie zmienianej temperaturze reakcji. Poprzez początkową inkubację próbek w wysokiej temperaturze ($\sim 96^{\circ}\text{C}$) dochodzi do rozdzielania się nici DNA, umożliwiając przyłączenie się starterów w kolejnym etapie, który odbywa się w znacznie niższej temperaturze ($45\text{-}60^{\circ}\text{C}$). W etapie trzecim reakcji mieszanina jest ponownie ogrzewana (72°C), pozwalając na działanie enzymu polimerazy, która po rozpoznaniu dołączonego do analizowanego materiału genetycznego startera zacznie przyłączać nukleotydy znajdujące się w mieszaninie reakcyjnej, a następnie dobudowywać je do właściwej nici DNA. Cykl tych trzech etapów powtarzany jest około 30-35 razy, pozwalając na zwiększenie ilości wyizolowanego materiału genetycznego niemalże miliard razy. Materiał uzyskany z reakcji PCR charakteryzuje się dużą trwałością i można przechowywać go przez wiele miesięcy w niskich temperaturach.

Późniejsze analizy, z wykorzystaniem powielonego materiału genetycznego, opierać się mogą np. o wykorzystanie enzymów restrykcyjnych. Metoda ta, ze względu na porównywanie długości fragmentów DNA, powielonego w reakcji PCR została nazwana PCR-RFLP (ang. *polymerase chain reaction – random fragment length polymorphism*, łańcuchowa reakcja polimerazy, polimorfizm długości losowych fragmentów). Restryktazy to specjalnie opracowane, pozyskiwane z różnych organizmów (bakterii, grzybów) enzymy, które rozpoznają specyficzne sekwencje nukleotydowe w materiale genetycznym, a następnie

prowadzą do przecięcia nici DNA we wskazanym, danym fragmencie. Otrzymane w ten sposób fragmenty powielonego DNA cechują się różną długością, możliwą do analizy poprzez elektroforezę polegającą na przemieszczaniu cząstek tych odcinków pod wpływem pola elektrycznego. Podczas elektroforezy DNA migruje przez żel agarozowy, "przyciągane" przez ładunek elektryczny do anody (o ładunku dodatnim). W wyniku tego działania możliwa jest wizualizacja rozdzielonych fragmentów różnej długości oraz określenie charakterystycznych dla danego allelu wzorów cięcia. Działanie to pozwala na określenie wzorca genotypowego konkretnych osobników, których hodowla jest prowadzona. Informacje o genotypie ryb mogą później zostać wykorzystane do prac hodowlanych, mających na celu uzyskanie osobników nie tylko rosnących najszybciej, ale również bardziej odpornych na choroby, tak jak ma to miejsce u lądowych zwierząt gospodarskich (Dulić i in. 2019; Cui i in. 2023; Gopikrishna 2023).

Innym rodzajem analiz, możliwych do wykonania z użyciem narzędzi biologii molekularnej jest określenie ekspresji genów w czasie rzeczywistym. Do tego celu opisana powyżej technika PCR została zmodyfikowana poprzez dodanie do polimerazy barwnika fluorescencyjnego, którego ilość rośnie wraz z ilością tworzonych kopii poszukiwanej przez badaczy sekwencji (RT-PCR, ang. *real time – quantitative polymerase chain reaction*, ilościowa łańcuchowa reakcja polimerazy w czasie rzeczywistym). W celu pomiaru oraz określenia intensywności świecenia próbki konieczne jest zastosowanie specjalnej kamery wbudowanej w termocykler, która w trakcie reakcji będzie zapisywać oraz przeliczać intensywność dla danej długości fali światła. Przeprowadzenie reakcji RT-PCR może dostarczyć wartościowych informacji dotyczących ekspresji genów, które odpowiedzialne są za niejako produkcję białek, poprzez stanowiąc zapis kluczej informacji do ich produkcji. Poprzez analizę ilości powielanego materiału genetycznego można określić poziom ekspresji genów, mający przełożenie na ilość produkowanych białek przez organizm ryby. W sposób ten określić można, czy zastosowany czynnik badany, taki jak nowy, alternatywny składnik paszowy, czy też całkowicie nowa mieszanka paszowa miała wpływ na zmianę poziomu ekspresji genów. Produkty paszowe mogą wywierać istotny wpływ na produkcję białek, poprzez oddziaływanie na układ receptorów jelitowych, prowadząc np. do zwiększenia intensywności trawienia. Analizować można również poziom ekspresji genów pod wpływem czynników stresowych, takich jak nieprawidłowo dobrana obsada czy jej zagęszczenie, długo- i krótkookresowe głódówki, zmian poziomu natlenowania wody i wielu innych (Florescu i in. 2019; Zahedi i in. 2019). Pozyskanie tej wiedzy może pozwolić na dokładne opracowanie oraz zaprojektowanie

systemów produkcji, dostosowanych do specyfiki gatunku, pozwalając nie tylko na uzyskanie hodowli prowadzonej w zgodzie z zasadami zapewnienia dobrostanu zwierząt, ale również na generowanie zysków z procesu hodowlanego. Metody RT-PCR można także wykorzystać do detekcji zakażeń, określając jednocześnie jego stopień, co często rzutuje na później podejmowane kroki. Podjęcie leczenia stada ryb może być wymagające oraz kosztowne, stąd jak najszybsze działanie jest kluczowe. Metoda RT-PCR pozwala np. na detekcję materiału genetycznego wirusów, wbudowanego w materiał genetyczny ryb, już po zakażeniu (Hodneland i in. 2011), ale także poziomu ekspresji cytokin, czyli białek biorących czynny udział w odpowiedzi odpornościowej (Kono i in. 2013).

Podsumowanie

Biorąc pod uwagę przedstawione wcześniej metody analityczne, zarówno z dziedziny histologii jak i genetyki, należy uznać, że obecnie dostępna jest szeroka gama biomarkerów, które można zastosować w doskonaleniu akwakultury. Wykorzystując odpowiednio dobrane techniki badawcze, możliwe jest dokładne określenie wpływu stosowanych innowacji w akwakulturze na dobrostan zwierząt oraz prowadzenie hodowli w najbardziej efektywny sposób. Dzięki wykorzystaniu biomarkerów możliwe jest również dobranie odpowiedniego składu paszy pod konkretny hodowany gatunek, zapewniając rybom niezbędne wartości odżywcze, jak i mikro i makro elementy. Dostępne techniki wykorzystujące biomarkery dają nieskończenie wiele możliwości, a ich sprecyzowana analiza, może pozwolić na zoptymalizowanie produkcji i poprawę jej opłacalności.

Literatura

Abdelsalam M., Elgendy M. Y., Elfadadny M. R. Ali, S. S., Sherif A. H., Abolghait S. K. (2023). A review of molecular diagnoses of bacterial fish diseases. *Aquaculture International*, 31(1), s. 417-434. <https://doi.org/10.1007/s10499-022-00983-8>

Adamek D., Rzepkowska M., Panagiotopoulou H., Ostaszewska T., Fajkowska M., Kamaszewski M., Kolman R. (2017). Morphological differences of white muscle fibers and genetic diversity of fast and slow growing Atlantic sturgeons (*Acipenser oxyrinchus*). *Turkish*

Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 17(5), s. 959-966. DOI : 10.4194/1303-2712-v17_5_11.

Adamek-Urbańska D., Jabłońska K., Rzepkowska M., Fajkowska M., Śliwiński J., Ostaszewska T. (2020). Runt sturgeon– the case study of abnormal growth in juveniles. *Fisheries & Aquatic Life*, 28(2), s. 73-76. <https://doi.org/10.2478/aopf-2020-0010>

Alfiko Y., Xie D., Astuti R. T., Wong J., Wang L. (2022). Insects as a feed ingredient for fish culture: Status and trends. *Aquaculture and Fisheries*, 7(2), s. 166-178. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.10.004>

Anastasiadi D., Beemelmans A. (2023). Development of epigenetic biomarkers in Aquatic organisms. *Epigenetics in Aquaculture*, s. 413-438. <https://doi.org/10.1002/9781119821946.ch18>

Bell J. L., Mandel R., Brainard A. S., Altschuld J., Wenning R. J. (2022). Environmental monitoring tools and strategies in salmon net-pen aquaculture. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 18(4), s. 950-963. <https://doi.org/10.1002/ieam.4622>

Bhat I. A., Dubiel M. M., Rodriguez E., Jónsson Z. O. (2023). Insights into Early Ontogenesis of *Salmo salar*: RNA Extraction, Housekeeping Gene Validation and Transcriptional Expression of Important Primordial Germ Cell and Sex-Determination Genes. *Animals*, 13(6), 1094. <https://doi.org/10.3390/ani13061094>

Carral J. M., Celada J. D., Sáez-Royuela M., Rodríguez R., Aguilera A., Melendre P. (2006). Effects of four egg desticking procedures on hatching rate and further survival and growth of larvae in the tench (*Tinca tinca* L.). *Aquaculture Research*, 37(6), s. 632-636. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2006.01473.x>

Chanu K. V., Thakuria D. (2023). Advances in Detection Techniques for Fungus-like Organisms of Aquaculture Importance. [w:] *Fisheries and Aquaculture of the Temperate Himalayas*. P.K. Pandey, N. Pandey, M., S.A. Akhtar (red.) s. 329-340. Singapore: Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-8303-0>

Chen Y., Xia Y., Shao C., Han L., Chen X., Yu M., Sha Z. (2016). Discovery and identification of candidate sex-related genes based on transcriptome sequencing of Russian sturgeon

(*Acipenser gueldenstaedtii*) gonads. *Physiological Genomics*, 48(7), s. 464-476.
<https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00113.2015>

Cui J., Jiang Z., Wang Z., Shao J., Dong C., Wang L., Li X., Du J., Li S., Qiao Z., Zhang M. (2023). Eight single nucleotide polymorphisms and their association with food habit domestication traits and growth traits in largemouth bass fry (*Micropterus salmoides*) based on PCR-RFLP method. *PeerJ*, 11, e14588. <https://doi.org/10.7717/peerj.14588>

Degani G., Hurvitz A., Eliraz Y., Meerson A. (2019). Sex-related gonadal gene expression differences in the Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) grown in stable aquaculture conditions. *Animal reproduction science*, 200, s.75-85.

Radović B. V., Lazić D., Nikšić M. (2019). *Application of Molecular Methods and Raman Microscopy/Spectroscopy in Agricultural Sciences and Food Technology*. Ubiquity Press. <http://www.jstor.org/stable/j.ctvmd85qp> Dostęp 20.11.2023.

Good C., Davidson J., Welsh C., Snekvik K., Summerfelt S. (2010). The effects of carbon dioxide on performance and histopathology of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* in water recirculation aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 42(2), s 51-56.

Gopikrishna G. (2023). Application of molecular markers in aquaculture.[w:] *Frontiers in Aquaculture Biotechnology*. W. S. Lakra, M. Goswami, V.L. Trudeau (red.) s. 47-53. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91240-2.00014-2>

Hamidian G., Zirak K., Sheikhzadeh N., Khani Oushani A., Shabanzadeh S., Divband B. (2018). Intestinal histology and stereology in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) administrated with nanochitosan/zeolite and chitosan/zeolite composites. *Aquaculture Research*, 49(5), s. 1803-1815. <https://doi.org/10.1111/are.13634>

Herrera M., Matias A. C., Soares F., Ribeiro L., Moreira M., Salamanca N., Jerez-Cepa I., Mancera J. M., Astola A. (2021). Effect of amino acid supplementation and stress on expression of molecular markers in meagre (*Argyrosomus regius*). *Aquaculture*, 534, 736238. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736238>

Hodneland K., Garcia R., Balbuena J. A., Zarza C., Fouz B. (2011). Real-time RT-PCR detection of betanodavirus in naturally and experimentally infected fish from Spain. *Journal of fish diseases*, 34(3), s. 189-202. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2010.01227.x>

Hofsoe-Opperman P., Kiełpińska J., Panicz R., Bergmann S. M. (2019). Detection of white sturgeon iridovirus (WSIV) in sturgeons (Actinopterygii: Acipenseriformes: Acipenseridae) from aquaculture facilities located in Poland, Germany and Italy. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 49(3), s. 257-264. DOI: 10.3750/AIEP/02568

Kaemingk M. A., Graeb B. D., Willis D. W. (2014). Temperature, hatch date, and prey availability influence age-0 yellow perch growth and survival. *Transactions of the American Fisheries Society*, 143 (4), s. 845-855. <https://doi.org/10.1080/00028487.2014.886622>

Kamaszewski M., Ostaszewska T. (2014). The effect of feeding on morphological changes in intestine of pike-perch (*Sander lucioperca* L.). *Aquaculture International*, 22, s. 245-258. <https://doi.org/10.1007/s10499-013-9693-y>

Kamaszewsk M., Wójcik M., Ostaszewska T., Kasprzak R., Kolman R., Prusińska M. (2014). Short communication. The effect of essential fatty acid (EFA) enrichment of *Artemia* sp. nauplii on the enzymatic activity of Atlantic sturgeon (*Acipenser oxyrinchus* Mitchell, 1815) larvae—preliminary study. *Journal of Applied Ichthyology*, 30, s. 1256-1258. doi: 10.1111/jai.12561

Kasprzak R., Ostaszewska T., Kamaszewski M. (2019). Effects of feeding commercial diets on the development of juvenile crucian carp *Carassius carassius*: Digestive tract abnormalities. *Aquatic Biology*, 28, s. 159-173. <https://doi.org/10.3354/ab00717>

Kolman R., Khudiyi O., Kushniryk O., Khuda L., Prusinska M., Wiszniewski G. (2018). Influence of temperature and *Artemia* enriched with ω -3 PUFAs on the early ontogenesis of Atlantic sturgeon, *Acipenser oxyrinchus* Mitchell, 1815. *Aquaculture Research*, 49(5),s. 1740-1751. <https://doi.org/10.1111/are.13629>

Kono T., Takayama H., Nagamin R., Korenaga, H., Sakai M. (2013). Establishment of a multiplex RT-PCR assay for the rapid detection of fish cytokines. *Veterinary immunology and immunopathology*, 151(1-2), s. 90-101. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2012.10.012>

Korwin-Kossakowski M. (2012). Fish hatching strategies: a review. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 22(1), s. 225-240. <https://doi.org/10.1007/s11160-011-9233-7>

Ługowska K., Witeska M. (2018). The effect of temperature on early development of barbel *Barbus barbus* (L.). *Aquaculture Research*, 49(7), s. 2495-2502.

- Martos-Sitch J. A., Mancera J. M., Prunet P., Magnoni L. J. (2020). Welfare and stressors in fish: Challenges facing aquaculture. *Frontiers in physiology*, 11, 162. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00162>
- Mokhtar D. M., Zaccone G., Alesci A., Kuciel M., Hussein M. T., Sayed R. K. (2023). Main components of fish immunity: An overview of the fish immune system. *Fishes*, 8(2), 93. <https://doi.org/10.3390/fishes8020093>
- Ndandala C. B., Dai M., Mustaph U. F., Li X., Liu, J., Huan H., L G., Chen H. (2022). Current research and future perspectives of GH and IGFs family genes in somatic growth and reproduction of teleost fish. *Aquaculture Reports*, 26, 101289. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101289>
- Ostaszewska T., Boruta A., Olejniczak M. (2005). The effect of dietary lipid level and composition on growth, survival, and development of the digestive system of larval sneep, *Chondrostoma nasus* (L.). *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 35(2), s. 79-86. doi: 10.3750/AIP2005.35.2.03
- Ostaszewska T., Kamaszewski M., Kolman R., Wiszniewski G., Adamek D., Duda A. (2011). Morphological changes in digestive tract of Atlantic sturgeon *Acipenser oxyrinchus* during organogenesis. *Int. Aquat. Res.* (2011) 3. s.101-105.
- Ostaszewska T., Krajnik K., Adamek-Urbańska D., Kasprzak R., Rzepkowska M., Łuczynski M., Karczewska A. T., Dabrowski K. (2018). Effect of feeding strategy on digestive tract morphology and physiology of lake whitefish (*Coregonus lavaretus*). *Aquaculture*, 497, s. 32-41. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.07.021>
- Ostaszewska T., Wegner A., Węgiel M. (2003). Development of the digestive tract of ide *Leuciscus idus* (L.) during the larval stage. *Fisheries and Aquatic Life*, 11(2), s. 181-195.
- Petitjean Q., Jean S., Gandar A., Côte J., Laffaille P., Jacquin L. (2019). Stress responses in fish: From molecular to evolutionary processes. *Science of the Total Environment*, 684, s. 371-380. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.357>
- Portz D.E., Woodley C.M. Cech J.J. (2006). Stress-associated impacts of short-term holding on fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 16, s. 125–170. <https://doi.org/10.1007/s11160-006-9012-z>

Rašković B., Čičovački S., Ćirić M., Marković Z., Poleksić V. (2016). Integrative approach of histopathology and histomorphometry of common carp (*Cyprinus carpio* L.) organs as a marker of general fish health state in pond culture. *Aquaculture Research*, 47(11), s. 3455-3463. <https://doi.org/10.1111/are.12795>

Rašković B., Stanković M., Marković Z., Poleksić V. (2011). Histological methods in the assessment of different feed effects on liver and intestine of fish. *Journal of Agricultural Sciences (Belgrade)*, 56(1), s. 87-100. DOI: 10.2298/JAS1101087R

Roy K., Mráz J. (2021). Alternative feed components to replace fishmeal and fish oil in carp feed. *Edice Metodik, FROV JU, Vodňany*: 22. ISBN 978-80-7514-123-1.

Sapkale P. H., Singh R. K., Desai A. S. (2011). Optimal water temperature and pH for development of eggs and growth of spawn of common carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Applied Animal Research*, 39(4), s. 339-345. <https://doi.org/10.1080/09712119.2011.620269>

Schäfer N., Kaya Y., Rebl H., Stüeken M., Rebl A., Nguinkal J. A., Franz G.P., Brunner. M., Goldammer T., Grunow B., Verleih M. (2021). Insights into early ontogenesis: characterization of stress and development key genes of pikeperch (*Sander lucioperca*) in vivo and in vitro. *Fish Physiology and Biochemistry*, 47, s. 515-532. <https://doi.org/10.1007/s10695-021-00929-6>

Scribner K. T., Kanefsky J. (2021). Molecular sexing of lake sturgeon. *Journal of Great Lakes Research*, 47(3), s. 934-936. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2021.03.015>

Tacon A. G. (2020). Trends in global aquaculture and aquafeed production: 2000–2017. *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture*, 28(1), s. 43-56. <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1649634>

Tanyag B., Quiambao J. J., Ko A. A., Singh A., Cambia F., Montojo U. (2021). Prevalence of INVA gene of salmonella spp. in fish and fishery resources from Manila Bay Aquaculture Farms using real-time PCR. *Applied Microbiology*, 1(3), s. 510-519. <https://doi.org/10.3390/applmicrobiol1030033>

Triantaphyllopoulos K. A., Cartas D., Miliou H. (2020). Factors influencing GH and IGF-I gene expression on growth in teleost fish: how can aquaculture industry benefit?. *Reviews in Aquaculture*, 12(3), s.1637-1662. <https://doi.org/10.1111/raq.12402>

Van Riel A. J., Nederlof M. A., Chary K., Wiegertjes G. F., de Boer I. J. (2023). Feed-food competition in global aquaculture: Current trends and prospects. *Reviews in Aquaculture*, 15(3), s. 1142-1158. Advance online publication. <https://doi.org/10.1111/raq.12804>

Vazirzadeh A., Marhamati A., Chisti, Y. (2022). Seaweed-based diets lead to normal growth, improved fillet color but a down-regulated expression of somatotropic axis genes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 554, 738183. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738183>

Wiszniewski G., Jarmołowicz S., Hassaan M. S., Kamaszewski M., Szudrowicz H., Terech-Majewska E., Kowalski K., Martynow J., Szczepański A., Siwicki A. K. (2022). Dietary effect of actinidin enzyme on growth, digestive enzymes activity, immunity, liver and intestine histology of juvenile sterlet sturgeon (*Acipenser ruthenus*). *Aquaculture Reports*, 25, 101196. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101196>

Zahedi S., Akbarzadeh A., Mehrzad J., Noori A., Harsij M. (2019). Effect of stocking density on growth performance, plasma biochemistry and muscle gene expression in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 498, s. 271-278.

Zheng J. L., Zhang H. T., Gao L., Chen X., Zhu Q. L., Han T. (2024). Combined effects of crowding stress and low salinity on GH/IGF axis, antioxidant response, and HPI axis in largemouth bass (*Micropterus salmoides*) larvae. *Aquaculture*, 578, 740036. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740036>

Spis treści

Część I. Charakterystyka tradycyjnej akwakultury niskointensywnej

Rozdział 1. Uwarunkowania produkcyjne i aspekty środowiskowe akwakultury niskointensywnej	3
Rozdział 2. Produkcja ryb w tradycyjnych systemach niskointensywnych	14

Część II. Doskonalenie technologii chowu ryb w akwakulturze

Rozdział 1. Intensywne metody chowu ryb	38
Rozdział 2. Innowacyjne metody integrowania intensywnego chowu ryb z tradycyjną akwakulturą niskointensywną	49
Rozdział 3. Innowacyjne metody intensyfikacji chowu cennych gatunków ryb w stawach ziemnych z wykorzystaniem technologii SwS. Wstępne wyniki chowu doświadczalnego	62
Rozdział 4. Wykorzystanie alternatywnych surowców białkowych w paszach dla ryb	78
Rozdział 5. Biomarkery jako narzędzie oceny wpływu stosowanych technologii chowu na organizm ryb	90