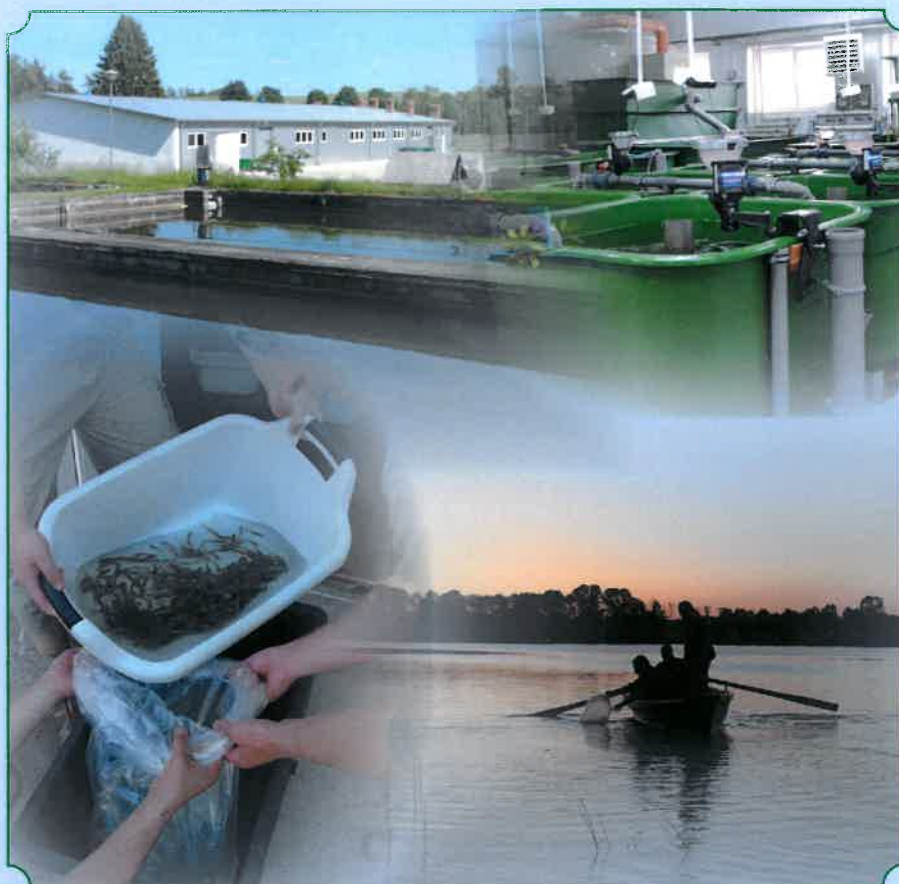


# Wylęgarnictwo i środowisko



# Wylęgarnictwo i środowisko

pod redakcją:  
Zdzisława Zakęsia  
Krystyny Demskiej-Zakęś



Olsztyn 2023

Recenzenci: prof. dr hab. Arkadiusz Wołos  
dr hab. Iwona Gołaś, prof. UWM

Redakcja techniczna: Henryk Chmielewski

Projekt okładki: Henryk Chmielewski

Skład, łamanie, grafika: Jarmila Grzegorzczak, Henryk Chmielewski

Wydanie monografii współfinansowane przez Unię Europejską ze środków finansowych Europejskiego Funduszu Morskiego i Rybackiego w ramach Programu Operacyjnego „Rybacko i Morze” na lata 2014-2020; operacja „Promowanie kapitału ludzkiego i tworzenie sieci kontaktów w zakresie wylęgarnictwa i podchowu organizmów wodnych – Wylęgarnia 2023 (etap I). Promowanie wiedzy o akwakulturze wspierającej hodowców i rybackich użytkowników wód śródlądowych (etap II)” (Umowa nr 00002-6521.6-OR1400001/23)

© Copyright by  
Instytut Rybactwa Śródlądowego – PIB  
Olsztyn 2023

**ISBN 978-83-66805-13-2**

Wydawnictwo  
Instytutu Rybactwa Śródlądowego im. Stanisława Sakowicza – PIB  
10-719 Olsztyn-Kortowo, ul. Oczapowskiego 10  
tel. 89 524 01 71  
E-mail: wydawnictwo@infish.com.pl

Druk: Centrum Poligrafii Sp. z o. o., ul. Michała Spisaka 37, 02-495 Warszawa-Ursus

## Wylęgarnictwo i środowisko

Autorzy (w kolejności alfabetycznej):

Jan BANASZAK, Elżbieta BOGACKA-KAPUSTA, Małgorzata BONISŁAWSKA,  
Agata A. CEJKO, Beata I. CEJKO, Krystyna DEMSKA-ZAKĘŚ, Arkadiusz DUDA,  
Krzysztof FLORCZYK, Piotr GOMUŁKA, Rafał GRABOWSKI, Joanna GRUDNIEWSKA,  
Natalia JĘDROSZKA, Dariusz KACZMARCZYK, Maciej KAMASZEWSKI, Rafał KAMIŃSKI,  
Andrzej KAPUSTA, Robert KASPRZAK, Barbara KAZUŃ, Krzysztof KAZUŃ,  
Michał KOZŁOWSKI, Sławomir KREJSZEFF, Roman KUJAWA, Dominika ŁYPKA,  
Joanna MAŁACZEWSKA, Jan MAZURKIEWICZ, Arkadiusz MIERZEJEWSKI,  
Anna NITKIEWICZ, Iwona PIOTROWSKA, Mateusz RAWSKI, Maciej ROŻYŃSKI,  
Rafał ROŻYŃSKI, Justyna SIKORSKA, Paweł SZOSTAK, Piotr TRACZUK, Marek TRELLA,  
Grzegorz WISZNIEWSKI, Marcin WIŚNIEWSKI, Jacek WOLNICKI,  
Joanna ŻYLIŃSKA-URBAN, Zdzisław ZAKĘŚ

## Spis treści

Wstęp .....	9
Agata A. Cejko – Status rodzimych gatunków ryb i strategie ich ochrony .....	11
Maciej Rożyński, Zdzisław Zakęś – Stan wiedzy na temat kontrolowanego rozrodu wybranych gatunków ryb rzadkich i chronionych w Polsce .....	23
Roman Kujawa – Wybrane elementy biologii oraz podchów larw piskorza ( <i>Misgurnus fossilis</i> ) w warunkach kontrolowanych .....	37
Andrzej Kapusta, Arkadiusz Duda, Joanna Grudniewska, Arkadiusz Mierzejewski, Iwona Piotrowska, Grzegorz Wiszniewski, Elżbieta Bogacka-Kapusta – Przegląd działań <i>ex situ</i> w celu odbudowy i ochrony jesiotra bałtyckiego ( <i>Acipenser oxyrinchus</i> ) w Polsce .....	53
Dariusz Kaczmarczyk, Anna Nitkiewicz – Znaczenie doboru osobników do rozrodu w zachowaniu zmienności genetycznej populacji ryb zależnych od człowieka, zagrożenia i możliwości ich unikania .....	65
Marek Trella, Maciej Rożyński – Wielkość odłowów tarlaków z wód otwartych i produkcji materiału zarybieniowego .....	81
Jan Mazurkiewicz, Marcin Wiśniewski, Mateusz Rawski, Krzysztof Florczyk, Jan Banaszak – Określenie wpływu wielopoziomowej modyfikacji środowiska o charakterze abiotycznym i biotycznym na efektywność wychowu stadiów młodocianych jesiotrów .....	93
Jan Mazurkiewicz, Marcin Wiśniewski, Mateusz Rawski, Krzysztof Florczyk, Jan Banaszak – Biologicznie efektywna i niskoemisyjna akwakultura zachowawcza karpiowatych ryb reofilnych – utrzymanie tarlaków, rozród i wychów stadiów młodocianych .....	109
Stawomir Krejszeff – Produkcja materiału zarybieniowego brzany ( <i>Barbus barbus</i> ) i certy ( <i>Vimba vimba</i> ) w recykulacyjnych systemach akwakulturowych .....	123
Rafał Kamiński, Barbara Kazuń, Joanna Małaczewska, Justyna Sikorska, Rafał Grabowski, Natalia Jędroszka, Jacek Wolnicki – Żywienie paszą z dodatkiem kwasu solnego wzmacnia odporność młodocianej certy ( <i>Vimba vimba</i> ) na infekcje bakteryjne .....	137
Rafał Ireneusz Grabowski, Jacek Wolnicki – Podchów młodocianego lina ( <i>Tinca tinca</i> ) w warunkach kontrolowanych – przegląd literatury .....	145
Justyna Sikorska, Robert Kasprzak, Jacek Wolnicki, Rafał Kamiński, Maciej Kamaszewski, Dominika Łypka – Wpływ zakwaszenia paszy komercyjnej kwasem solnym oraz jego częściowej neutralizacji nieorganicznymi zasadami na wyniki intensywnego podchowu lina ( <i>Tinca tinca</i> ) w RAS .....	155
Michał Kozłowski, Iwona Piotrowska, Piotr Traczuk – Wpływ sortowania na parametry wzrostu szczupaka ( <i>Esox lucius</i> ) w systemie recykulacyjnym .....	165
Beata I. Cejko – Hormonalna stymulacja samców szczupaka ( <i>Esox lucius</i> ) – stan wiedzy oraz możliwości aplikacyjne w rozrodzie ryb drapieżnych .....	183

Beata I. Cejko, Sławomir Krejszeff, Paweł Szostak – Potencjał rozrodczy samców szczupaka ( <i>Esox lucius</i> ) w cyklu tarłowym – wartość biologiczna oraz możliwości wykorzystania nasienia w praktyce hodowlanej.....	197
Krystyna Demska-Zakęś, Zdzisław Zakęś – Fitoestrogeny – potencjalne znaczenie w akwakulturze .....	213
Barbara Kazuń, Krzysztof Kazuń, Joanna Żylińska-Urban, Joanna Małaczewska – Charakterystyka trzech szczepów bakterii kwasu mlekowego wyizolowanych z przewodu pokarmowego karpia ( <i>Cyprinus carpio</i> ) oraz ocena ich potencjalnego wpływu na układ immunologiczny ryb .....	233
Małgorzata Bonisławska – Wpływ podwyższonej mineralizacji wody na rozwój zarodkowy wybranych gatunków ryb.....	245
Zdzisław Zakęś, Krystyna Demska-Zakęś, Maciej Rożyński, Piotr Gomułka, Rafał Rożyński – Wpływ dootrzewnowej implantacji PIT na stan kondycyjny i status zdrowotny młodocianego pstrąga potokowego ( <i>Salmo trutta</i> ) .....	267

# Określenie wpływu wielopoziomowej modyfikacji środowiska o charakterze abiotycznym i biotycznym na efektywność wychowu stadiów młodocianych jesiotrów

Jan Mazurkiewicz<sup>1,2</sup>, Marcin Wiśniewski<sup>3</sup>, Mateusz Rawski<sup>1,2</sup>,  
Krzysztof Florczyk<sup>1,2</sup>, Jan Banaszak<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Zakład Doświadczalny Technologii Produkcji Pasz i Akwakultury w Muchocinie, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

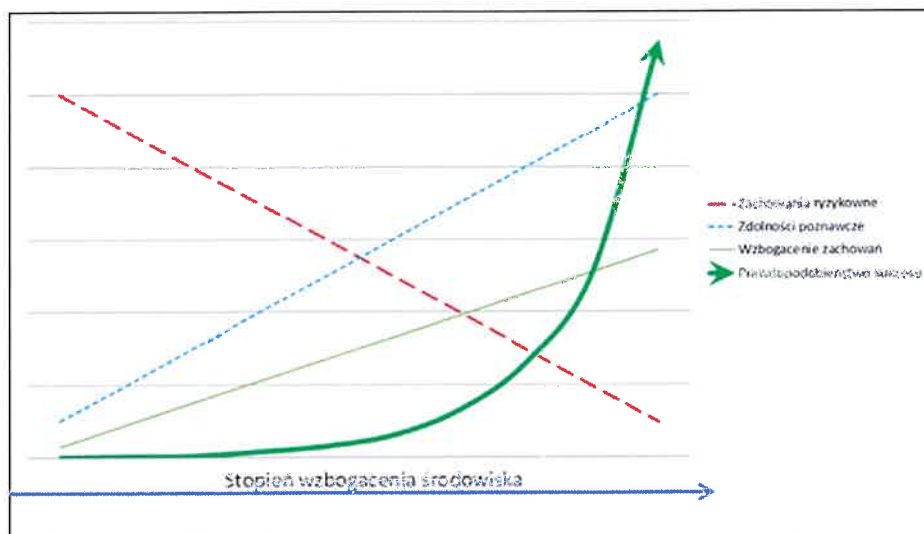
<sup>2</sup>Pracownia Rybactwa Śródlądowego i Akwakultury, Katedra Zoologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

<sup>3</sup>Polski Związek Wędkarski Okręg w Poznaniu

## Wstęp

Najczęściej analizowanym parametrem w zakresie dobrostanu ryb jest możliwość optymalizacji produkcji ich biomasy poprzez modyfikację zagęszczenia obsady. Jednak w aspekcie zachowań ryb istnieje wiele innych rodzajów możliwości ich stymulacji behawioralnej poprzez wprowadzanie biotycznych i abiotycznych elementów środowiska. U ryb jesiotrowatych pomimo wysokiej odporności na warunki środowiskowe – co jest dobrze zbadane w szczególności w przypadku jesiotra syberyjskiego (*Acipenser baerii*) (Eslamloo i Falahatkar 2014, Pourgholam i in. 2019, Aidos i in. 2020) nieodpowiedni dobór czynników środowiskowych może prowadzić do obniżenia wyników produkcyjnych ryb i zaburzenia rozwoju płciowego (Bayunova i in. 2002). Sugeruje to potrzebę prowadzenia badań nad dywersyfikacją i optymalizacją środowiska bytowania ryb w sposób umożliwiający zachowanie wysokiej produktywności przy jednoczesnym uwzględnieniu celowości ich wprowadzenia w aspekcie destynacji ryb.

Wzbogacenie środowiskowe jest jedną z podstawowych metod poprawy dobrostanu w chowie i hodowli zwierząt. Jest ono również narzędziem służącym zwiększeniu stopnia adaptacji do środowiska seminaturalnego lub naturalnego. Ma na celu przede



Rys. 1. Schemat oddziaływania wychowu wzbogaconego o behavior ryb i prawdopodobieństwo sukcesu zarybienia.

wszystkim zwiększenie gamy zachowań i wywołanie zmian budżetu czasowego, który w warunkach typowej akwakultury ulega znacznemu zubożeniu, poprzez m.in. ograniczenie interakcji między zwierzętami tego samego i innych gatunków, zmniejszenie czasu żerowania (Stevens i in. 2017, Toni i in. 2019). Jak wykazują badania wzbogacenie, a nawet stres środowiskowy w odpowiednim wymiarze działają pozytywnie na zdolności poznawcze i dywersyfikację behawioru zwierząt, zmniejszając tym samym występowanie zachowań ryzykownych i zwiększając prawdopodobieństwo przeżycia i rozrodu w habitacie, do którego wsiedlane są ryby w procesie zarybień stanowisk naturalnych i seminaturalnych (rys. 1).

Należy podkreślić, że o sukcesie wychowu poza szerokim spektrum warunków środowiskowych dla ryb jesiotrowatych, a szczególnie stadiów młodocianych, decyduje dobór odpowiednio zbilansowanych pasz odpowiadających ich specyficznym wymaganiom pokarmowym, a równocześnie charakteryzujących się wysoką jakością technologiczną ich wytworzenia. Jak wykazały wyniki przeprowadzonych badań, poszczególne gatunki z rodziny jesiotrowatych charakteryzują się swoistymi wymaganiami pokarmowymi, związanymi nie tylko ze składem diety, ale także behawioryzmem pokarmowym. W ramach przeprowadzonego cyklu badań na narybku uwzględniono specyfikę ryb jesiotrowatych. W czasie niniejszych prac badawczych zastosowano jesiotra syberyjskiego jako gatunek modelowy – w celu wypracowania metod skutecznego wzbogacenia środowiskowego o wysokich walorach aplikacyjnych. W następnej kolejności przeprowadzono testy na narybku jesiotra ostronosego (*Acipenser oxyrinchus*) – gatunku



docelowego dla opracowanych innowacji procesowych w wychowie młodocianych stadiów ryb. W celu zwiększenia replikowalności wyników i ograniczenia działania czynników pozadoświadczalnych, każdy z eksperymentów z rybami przeprowadzano następczo w warunkach kontrolowanych. Zachowanie tych samych procedur obsługi i interwałów oceny wyników prowadzonych prac pozwoliło na uzyskiwanie wyników o wysokiej jakości pod kątem możliwości ich aplikacji w akwakulturze.

## Metodyka badawcza

Spośród młodocianych jesiotrów syberyjskich lub ostronosych utrzymywanych w jednakowych warunkach środowiskowych do poszczególnych zadań badawczych selekcionowane były osobniki o zbliżonej masie ciała i dobrej kondycji. Następnie w sposób losowy przydzielano je do grup doświadczalnych. Każda z nich składała się z powtórzeń – zbiorników obsadzonych taką samą biomasą ryb – dzięki czemu w czasie jednego doświadczenia możliwe było przeprowadzenie wielokrotnionych obserwacji oraz analiza statystyczna wyników. W trakcie trwania doświadczeń zachowywano stały cykl świetlny (14 h światła i 10 h ciemności). Testy wzrostowe prowadzone były w eksperymentalnych systemach zwrotnego obiegu wody (eRAS) w celu wyeliminowania czynników pozadoświadczalnych (fot. 1).



Fot. 1. Eksperymentalny system zwrotnego obiegu wody (eRAS) (fot. J. Mazurkiewicz).

Dla zwiększenia powtarzalności uzyskiwanych wyników wszystkie czynności w czasie badań były wykonywane z zachowaniem ustalonych wcześniej procedur, jak również interwałów czasowych. W przypadkach, kiedy wpływ na wyniki wykonywanej czynności mogły mieć czynniki, takie jak doświadczenie i zdolności eksperymentatora za każdym razem były one wykonywane przez tę samą osobę ściśle według przedstawionego poniżej schematu.

Rutynowe czynności wykonywane dwa razy na dobę:

- kontrola przepływu wody oraz jej parametrów: pomiar koncentracji tlenu rozpuszczonego w wodzie oraz temperatury wody za pomocą tlenomierza z termometrem;
- wizualna kontrola kondycji ryb w każdym zbiorniku;
- kontrola działania osprzętu i wyżerowania paszy.

Rutynowe czynności wykonywane każdego dnia doświadczenia:

- ustalanie dziennych dawek paszy, na podstawie biomasy ryb oraz temperatury wody zgodnie z zaleceniami Hung (1993).

Czynności wykonywane co 14 dni:

- grupowe pomiary masy ryb w każdym zbiorniku mające na celu kolekcję danych do obliczenia parametrów wzrostu ryb oraz wykorzystania paszy.

Na podstawie danych uzyskanych podczas kontrolnego ważenia ryb w każdym zbiorniku, kontroli pobrania paszy i znajomości jej wartości odżywczych wykonane zostały obliczenia mające na celu analizę parametrów produkcyjnych ryb wg Hardy i Barrows (2002). Obejmowały one określenie: masy jednostkowej ryb (BW), jednostkowego przyrostu biomasy ryb (BWG), procentowego przyrostu biomasy ryb (PWG) i pobrania paszy (FI), względnego dobowego współczynnika wzrostu ryb (SGR), współczynnika wykorzystania paszy (FCR) oraz wskaźnika wydajności wzrostowej białka pasz (PER). Wskaźniki te obliczano z użyciem następujących wzorów:

$BW (g) = \text{masa ryb w jednym powtórzeniu (g)} \times \text{liczba osobników w jednym powtórzeniu}^{-1}$   
(osob.)

$BWG (g) = \text{końcowa masa jednostkowa ryb (g)} - \text{początkowa masa jednostkowa ryb (g)}$

$PWG (\%) = 100 \times (\text{jednostkowy przyrost masy ciała (g)} \times \text{początkowa masa jednostkowa ryb}^{-1} (g))$

$FI (g) = \text{masa paszy zadanej na jedno powtórzenie (g)} \times \text{liczba osobników w jednym powtórzeniu}^{-1}$  (osob.)

$SGR (\% d^{-1}) = 100 \times (\ln \text{końcowa masa jednostkowa ryb (g)} - \ln \text{początkowa masa jednostkowa ryb}) \times \text{liczba dni karmienia}^{-1}$

$FCR = \text{jednostkowe pobranie paszy (g)} \times \text{jednostkowy przyrost biomasy ryb}^{-1} (g)$

$PER = \text{jednostkowy przyrost biomasy ryb (g)} \times (\text{pobranie paszy (g)} \times \text{poziom białka w paszy (\%)})^{-1}$

W celu oceny wpływu czynników doświadczalnych na narządy wewnętrzne i kondycję ryb obliczono następujące parametry somatyczne: wskaźnik kondycji (CF), indeks trzewnosomatyczny (VSI), indeks hepatosomatyczny (HSI) oraz względną długość przewodu pokarmowego (RGL). W celu określenia względnych długości płetw obliczono następujące indeksy: względną długość płetwy piersiowej (PI), względną długość płetwy grzbietowej (DI) oraz względną długość płetw brzusznych. Wskaźniki te obliczano z użyciem następujących wzorów:

$$CF = (\text{masa ryby (g)} \times \text{długość całkowita ryby}^{-3} \text{ (cm)}) \times 100$$

$$VSI (\%) = (\text{masa wnętrzości (g)} \times \text{masa ryby}^{-1} \text{ (g)}) \times 100$$

$$HSI (\%) = (\text{masa wątroby (g)} \times \text{masa ryby}^{-1} \text{ (g)}) \times 100$$

$$RGL (\%) = (\text{długość całkowita przewodu pokarmowego (mm)} \times \text{długość całkowita ryby}^{-1} \text{ (mm)}) \times 100$$

$$PI (\%) = (\text{długość płetwy piersiowej (mm)} \times \text{długość całkowita ryby}^{-1} \text{ (mm)}) \times 100$$

$$DI (\%) = (\text{długość płetwy grzbietowej (mm)} \times \text{długość całkowita ryby}^{-1} \text{ (mm)}) \times 100$$

$$VI (\%) = (\text{długość płetwy brzusznej (mm)} \times \text{długość całkowita ryby}^{-1} \text{ (mm)}) \times 100$$

## Testy wzrostowe

Prezentowany cykl badawczy składał się z sześciu testów wzrostowych, w czterech z nich wykorzystano narybek jesiotra syberyjskiego, w dwóch jesiotra ostronosego. Dla zachowania przejrzystości prezentowanych danych w przypadku każdego z doświadczeń zaprezentowano opis układu doświadczalnego i zastosowanych czynników. Czynniki pozadoświadczalne ograniczono do minimum zgodnie z przyjętymi założeniami. Całość danych została poddana analizie statystycznej z użyciem jedno- lub wieloczynnikowego modelu analizy wariancji z zachowaniem wartości P dla określenia różnic statystycznie istotne na poziomie mniejszym lub równym 0,05.

### Test 1: gatunek modelowy – jesioł syberyjski

Celem doświadczenia było określenie wpływu programu żywienia ekstrudowaną paszą zawierającą mączkę z owadów oraz systemu racjonowania paszy w czasie na efektywność wychowu młodocianego jesiotra syberyjskiego.

Testowane czynniki:

- czynnik I – program żywienia. Obydwa testowane warianty paszy, tj. pasza kontrolna (z mączką rybną jako głównym źródłem białka zwierzęcego) i pasza doświadczalna (zawierająca mączkę z owadów) były izobiałkowe i izoenergetyczne oraz spełniały zapotrzebowanie pokarmowe młodocianych jesiotrów. Pasze zostały wytworzone metodą ekstruzji w Zakładzie Doświadczalnym Tech-

nologii Produkcji Pasz i Akwakultury w Muchocinie, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,

- czynnik II – system zadawania paszy. Testowano dwa warianty racjonowania paszy w czasie: wariant A (ciągłe podawanie paszy z karmników taśmowych od godziny 8.00 do 18.00), wariant B (żywienie z ręki: ryby karmiono cztery razy dziennie o stałych porach: 8.00, 11.00, 15.00 i 18.00. Każda porcja paszy odpowiadała jednej czwartej dziennej dawki).

Grupy doświadczalne:

- KR: żywienie ekstrudowaną paszą kontrolną, system zadawania paszy z ręki,
- OR: żywienie ekstrudowaną paszą zawierającą mączkę z owadów, system zadawania paszy z ręki,
- KK: żywienie ekstrudowaną paszą kontrolną, z wykorzystaniem automatycznych karmników taśmowych,
- OK: żywienie ekstrudowaną paszą zawierającą mączkę z owadów, z wykorzystaniem automatycznych karmników taśmowych.

### **Test 2: gatunek modelowy – jesiotr syberyjski**

Celem doświadczenia było określenie wpływu biotycznego wzbogacenia środowiska – obecności gatunku niedrapieżnego lub drapieżnego na efektywność wychowu stadium młodocianego jesiota syberyjskiego.

Testowane czynniki:

- czynnik I – obecność dodatkowego gatunku niedrapieżnego (brzana (*Barbus barbus*) i certa (*Vimba vimba*)): wariant A (brak obecności gatunku dodatkowego niedrapieżnego), wariant B (obecność gatunku dodatkowego niedrapieżnego),
- czynnik II – obecność dodatkowego gatunku drapieżnego (sum europejski (*Silurus glanis*)): wariant A (brak obecności gatunku dodatkowego drapieżnego), wariant B (obecność gatunku dodatkowego drapieżnego).

Grupy doświadczalne:

- K: brak obecności ryb niedrapieżnych, brak obecności ryb drapieżnych,
- N: obecność ryb niedrapieżnych, brak obecności ryb drapieżnych,
- D: brak obecności ryb niedrapieżnych, obecność ryb drapieżnych,
- ND: obecność ryb niedrapieżnych, obecność ryb drapieżnych.

### **Test 3: gatunek modelowy – jesiotr syberyjski**

Celem doświadczenia było określenie wpływu modyfikacji środowiska w postaci obecności schronień oraz ryb drapieżnych na efektywność wychowu stadium młodocianego jesiota syberyjskiego.

Testowane czynniki:

- czynnik I – zastosowanie schronień (rury drenażowe o długości 30 cm i średnicy wewnętrznej 6 cm); wariant A (brak zastosowania schronień), wariant B (zastosowanie schronień ),
- czynnik II – obecność dodatkowego gatunku drapieżnego (sum europejski): wariant A (brak obecności gatunku dodatkowego drapieżnego), wariant B (obecność gatunku dodatkowego drapieżnego).

Grupy doświadczalne:

- SNDN: brak obecności schronień, brak obecności ryb drapieżnych,
- STDN: obecność schronień, brak obecności ryb drapieżnych,
- SNDT: brak obecności schronień, obecność ryb drapieżnych,
- STDT: obecność schronień, obecność ryb drapieżnych.

#### **Test 4: gatunek modelowy – jesiotr syberyjski**

Celem doświadczenia było określenie wpływu modyfikacji środowiska w postaci substratu mineralnego oraz roślinności naturalnej na efektywność wychowu stadium młodocianego jesiotra syberyjskiego (fot. 2).

Testowane czynniki:

- czynnik I – zastosowanie substratu mineralnego: wariant A (brak zastosowania substratu mineralnego), wariant B (zastosowanie substratu mineralnego),



Fot. 2. Zastosowanie wzbogacenia o charakterze biotycznym – roślinność naturalna (fot. J. Mazurkiewicz).

- czynnik II – zastosowanie roślinności naturalnej: wariant A (brak zastosowania roślinności naturalnej), wariant B (zastosowanie roślinności naturalnej).

Grupy doświadczalne:

- K: brak obecności substratu mineralnego, brak zastosowania roślinności naturalnej,
- SM: obecność substratu mineralnego, brak zastosowania roślinności naturalnej,
- RN: brak obecności substratu mineralnego, zastosowanie roślinności naturalnej,
- SMRN: obecność substratu mineralnego, zastosowanie roślinności naturalnej.

### **Test 5: gatunek docelowy – jesiotr ostronosy**

Celem doświadczenia było określenie wpływu żywienia ekstrudowanymi paszami zawierającymi mączkę z owadów na efektywność wychowu stadium młodocianego jesiotra ostronosego.

Testowanym czynnikiem był rodzaj paszy: wariant A (ekstrudowana pasza kontrolna), wariant B (ekstrudowana pasza zawierająca 15% mączki z owadów), wariant C (ekstrudowana pasza zawierająca 30% mączki z owadów).

Grupy doświadczalne:

- K: żywienie ekstrudowaną paszą kontrolną,
- O15: żywienie ekstrudowaną paszą zawierającą 15% mączki z owadów,
- O30: żywienie ekstrudowaną paszą zawierającą 30% mączki z owadów.

### **Test 6: gatunek docelowy – jesiotr ostronosy**

Celem doświadczenia było określenie wpływu zastosowania wielostopniowej modyfikacji warunków środowiskowych, z użyciem czynników abiotycznych i biotycznych, na efektywność wychowu stadium młodocianego jesiotra ostronosego. Testowane warianty wychowu jesiotrów ostronosych charakteryzowały się zwiększaniem stopnia wzbogacenia środowiskowego w obecności ryb należących do gatunku drapieżnego. Jest to wielopoziomowe testowanie jednego czynnika odznaczające się wyposażaniem zbiorników przygotowanych dla kolejnych grup doświadczalnych o następczo wprowadzane elementy, tzw. enrichmentu, tj. schronienia strukturalne, wzbogacenie abiotyczne (substrat naturalny) i wzbogacenie biotyczne (roślinność naturalna).

Grupy doświadczalne:

- KD: grupa kontrolna, w której młodociane jesiotry ostronose utrzymywane były w obecności drapieżnego gatunku ryb (sum europejski) w standardowych warunkach środowiskowych,
- DS: grupa, w której młodociane jesiotry ostronose utrzymywane były w obecności drapieżnego gatunku ryb (sum europejski) w zbiornikach wyposażonych w schronienia strukturalne,



Fot. 3. Zastosowanie wzbogacenia o charakterze abiotycznym – substrat naturalny (fot. J. Mazurkiewicz).

- DSA: grupa, w której młodociane jesiotry ostronose utrzymywane były w obecności drapieżnego gatunku ryb (sum europejski) w zbiornikach wyposażonych w schronienia strukturalne i wzbogacenie środowiska abiotyczne (fot. 3),
- DSAB: grupa, w której młodociane jesiotry ostronose utrzymywane były w obecności drapieżnego gatunku ryb (sum europejski) w zbiornikach wyposażonych w schronienia strukturalne oraz wzbogacenie środowiska abiotyczne i biotyczne.

## Wyniki

### Test 1

W całym okresie doświadczenia nie zaobserwowano różnic między grupami w jednostkowej masie ciała ryb. Procentowy przyrost masy ciała (PWG) nie różnił się istotnie pomiędzy grupami. Najwyższe wartości względnego dobowego współczynnika wzrostu wykazywała grupa OK ( $3,02\% d^{-1}$ ), wartość pośrednią grupa OR ( $3,03\% d^{-1}$ ), a wartości najniższe grupy KR ( $3,11\% d^{-1}$ ) oraz KK ( $3,04\% d^{-1}$ ). Pobranie paszy oraz współczynnik wykorzystania paszy (FCR) nie różniły się pomiędzy grupami, podobnie jak wskaźnik wzrostowej wydajności paszy, którego wartości wynosiły od 3,63 do 3,70. Spośród analizowanych parametrów somatycznych nie zaobserwowano różnic między grupami we

wskaźniku kondycji, który zawierał się w przedziale 0,33-0,36 oraz w indeksie trzewno-somatycznym. Natomiast istotne różnice między grupami doświadczalnymi zaobserwowano w indeksie hepatosomatycznym. Najwyższą wartością tego parametru charakteryzowała się grupa KK, istotnie niższą grupa OK, następnie grupy KR oraz OR. Najdłuższą względną długość przewodu pokarmowego wykazała grupa KK. Pozostałe grupy wykazywały tendencję do niższych wyników. Nie zaobserwowano różnic między grupami w wartościach opisujących indeks płetw piersiowych. Natomiast grupa OR charakteryzowała się najwyższym indeksem płetwy grzbietowej. Wartości pośrednie tego parametru reprezentowały grupy KR oraz KK, a wartość najniższą zaobserwowano w grupie OK. Wartość indeksu płetw brzusznych była istotnie wyższa w grupie OR, w porównaniu do pozostałych grup.

## Test 2

Przeprowadzony test wzrostowy wykazał brak różnic w zakresie: jednostkowej masy ciała ryb, jednostkowego przyrostu masy ciała, względnego współczynnika wzrostu oraz procentowego przyrostu masy ciała ryb. Najwyższą masą ciała charakteryzowały się ryby z grupy N (52,08 g), najniższą z grupy ND (50,6 g). Najwyższą wartość przyrostu masy ciała osiągnęły ryby z grupy N (33,5 g), najniższą w grupie ND (32,0 g). W ten sam sposób kształtowały się wartości dla względnego dobowego współczynnika wzrostu ryb (od 2,00 do 2,06%  $d^{-1}$ ) oraz procentowego przyrostu masy ciała ryb (od 172,2 do 180,1%). Nie odnotowano statystycznie istotnych efektów głównych czynników doświadczalnych ani interakcji pomiędzy czynnikami. Jednak wartości te były niższe przy zwiększonej presji drapieżniczej. Współczynnik wykorzystania paszy i wskaźnik wydajności wzrostowej białka paszowego nie różniły się w sposób istotny statystycznie pomiędzy grupami. Najwyższą wartość współczynnika wykorzystania paszy odnotowano w grupie ND (0,89), najniższą w N (0,85), a dla wskaźnika wydajności wzrostowej białka paszowego było to 2,39 w grupie ND i 2,50 w grupie N. Nie odnotowano interakcji i istotnych efektów głównych czynników doświadczalnych.

## Test 3

W czasie testu wzrostowego nie odnotowano różnic statystycznie istotnych w zakresie jednostkowej masy ciała ryb, której najwyższą wartość uzyskano w grupie SNDN, najniższą w STDT. Jednostkowy przyrost masy ryb charakteryzował się podobną dynamiką w grupie SNDN – odnotowano wartość 37,2 g, podczas gdy w STDT 34,5 g. Względny dobowy współczynnik wzrostu ryb wynosił od 1,72%  $d^{-1}$  w grupach SNDT i STDT do 1,88%  $d^{-1}$  w grupie SNDN. Przyrosty ryb wyrażone w procentowej skali względnej wynosiły od 137,9% w grupie STDT do 156,6% w grupie SNDN. Najniższy (nie różniący się statystycznie istotnie) współczynnik wykorzystania paszy (0,62) odnotowa-



no w grupie STDT, podczas gdy najwyższy w grupie SNTD (0,89). Najniższy wskaźnik wydajności wzrostowej białka paszowego odnotowano w grupie SNTD (2,13), podczas gdy najwyższy w grupie STDT (2,31). Nie odnotowano interakcji pomiędzy czynnikami doświadczalnymi. Pomimo braku różnic w obrębie efektów głównych wyniki pozwalają na stwierdzenie, że obecność gatunku drapieżnego obniżała tempo wzrostu ryb i stopień wykorzystania paszy na wzrost. Nie odnotowano statystycznie istotnego wpływu testowanych czynników na rozwój narządów wewnętrznych młodocianych jesiotrów.

#### Test 4

Przeprowadzony test wzrostowy wykazał brak różnic w zakresie: jednostkowej masy ciała ryb, jednostkowego przyrostu masy ciała ryb, względnego współczynnika wzrostu ryb oraz procentowego przyrostu masy ciała ryb. Najwyższą masą ciała charakteryzowały się ryby z grupy RN (46,55 g), natomiast najniższą z grupy K (45,80 g). Najwyższą wartość przyrostu masy ciała osiągnęły ryby z grupy RN (30,75 g), najniższą w grupie K (30,0 g). W ten sam sposób kształtowały się wartości liczbowe dla względnego dobowego współczynnika wzrostu ryb (od 2,13%  $d^{-1}$  w grupie K do 2,16%  $d^{-1}$  w grupie RN oraz procentowego przyrostu masy ciała ryb (od 189,9% w grupie K do 194,6% w grupie RN)). Nie odnotowano statystycznie istotnych efektów głównych czynników doświadczalnych ani interakcji pomiędzy czynnikami. Jednak wartości te były wyższe przy zastosowaniu roślinności naturalnej. Współczynnik wykorzystania paszy i wskaźnik wydajności wzrostowej białka paszy nie różniły się w sposób istotny statystycznie pomiędzy grupami. Najwyższą wartość współczynnika wykorzystania paszy odnotowano w grupie SM (0,91), najniższą w RN (0,78), dla wskaźnika wydajności wzrostowej białka paszowego było to 2,63 w grupie SM i 2,73 w grupie RN.

#### Test 5

W trakcie doświadczenia żywieniowego nie odnotowano strat ryb. W dniu zakończenia testu wzrostowego, jak również w jego punktach pomiarowych nie odnotowano różnic pomiędzy grupami w jednostkowej masie ciała ryb. Końcowa jednostkowa masa ciała narybku jesiotra ostronosego wyniosła około 43,0 g, a przyrost jednostkowej masy ciała wyniósł od 30,5 do 31,6 g. Procentowy przyrost masy ciała (PWG) był najwyższy w grupie kontrolnej (ponad 260%), nieco niższy w grupach ryb żywionych paszami z udziałem mączki z owadów (250 i 253%), przy braku istotnych statystycznie różnic międzygrupowych. Względny dobowy współczynnik wzrostu ryb (SGR) osiągnął bardzo zbliżone wartości we wszystkich grupach doświadczalnych i mieścił się w zakresie od 2,09 do 2,15%  $d^{-1}$ . Współczynnik wykorzystania paszy (FCR) był bardzo wyrównany we wszystkich wariantach doświadczalnych (0,82-0,83), podobnie jak wskaźnik wydajności wzrostowej białka paszowego (PER). W całym okresie doświadczenia nie zaobserwo-

wano różnic międzygrupowych w wartościach tego parametru, które wynosiły od 3,0 do 3,07. Spośród analizowanych parametrów somatycznych nie zaobserwowano różnic między grupami we wskaźniku kondycji (CF), który zawierał się w przedziale 0,27-0,28 oraz w indeksie trzewnosomatycznym (VSI), który wynosił od 4,15 do 4,46%. Natomiast istotne różnice między grupami doświadczalnymi odnotowano w indeksie hepatosomatycznym (HIS). Najwyższą wartością tego parametru charakteryzowała się grupa O15 (2,41%), istotnie niższą grupa O30 (2,21%), a pośrednią grupa kontrolna. Nie odnotowano różnic w zakresie względnej długości przewodu pokarmowego (RGL). Wskaźnik ten wahał się od 66,7 do 68,4%. Nie zaobserwowano różnic pomiędzy grupami doświadczalnymi w wartościach opisujących indeks płetw piersiowych (PI), które utrzymywały się w zakresie 9,10-10,24%. Nie zaobserwowano różnic pomiędzy grupami doświadczalnymi w wartościach opisujących indeks płetwy grzbietowej (DI), które utrzymywały się w zakresie 6,98-7,47%. Wartość indeksu płetw brzusznych również nie różniła się pomiędzy grupami przyjmując wartości od 7,64 do 7,94%.

## Test 6

W trakcie doświadczenia żywieniowego nie odnotowano strat ryb (przeżywalność na poziomie 100%). W dniu zakończenia testu wzrostowego, jak również w jego punktach pomiarowych nie odnotowano różnic statystycznie istotnych pomiędzy grupami w jednostkowej masie ciała ryb. Końcowa jednostkowa masa ciała narybku jesiotra ostronosiego wyniosła średnio od 47,82 do 48,47 g, a przyrost jednostkowej masy ciała wyniósł od 34,32 do 34,97 g. Procentowy przyrost masy ciała (PWG) był najwyższy w grupie DS (259,0%), nieco niższy w grupach KD i DSAB (ok. 257%), najniższy w grupie DSA (254,2%), przy braku istotnych statystycznie różnic międzygrupowych. Względny dobowy współczynnik wzrostu ryb (SGR) osiągnął bardzo zbliżone wartości we wszystkich grupach doświadczalnych i mieścił się w zakresie od 2,54 do 2,56%  $d^{-1}$ . Współczynnik wykorzystania paszy (FCR) był bardzo wyrównany we wszystkich wariantach doświadczalnych (0,89-0,91), podobnie jak wskaźnik wydajności wzrostowej białka paszowego (PER). W całym okresie doświadczenia nie zaobserwowano różnic międzygrupowych w wartościach tego parametru, które wynosiły od 2,34 do 2,39. Spośród analizowanych parametrów somatycznych jesiotrów ostronosych nie zaobserwowano różnic pomiędzy grupami we wskaźniku kondycji (CF), który wynosił 0,3 dla wszystkich grup doświadczalnych oraz w indeksie trzewnosomatycznym (VSI), który wynosił od 4,96 do 5,02%. Nie zaobserwowano istotnych różnic w indeksie hepatosomatycznym (HIS), wahał się on od 2,48 do 2,51%, co stanowi wysoce wyrównany wynik. Podobnie jak w przypadku względnej długości przewodu pokarmowego (RGL) wynoszącego od 70,36 do 71,32%, nie zaobserwowano różnic w wartościach opisujących indeks płetw piersiowych (PI), które utrzymywały się w zakresie od 9,76 do 9,82%. Nie zaobserwowano różnic pomiędzy grupami doświadczal-

nymi w wartościach opisujących indeks płetwy grzbietowej (DI), które utrzymywały się w zakresie od 7,15 do 7,21%. Wartości indeksu płetw brzusznych również nie różniły się pomiędzy grupami mieszcząc się w przedziale od 7,96 do 8,01%.

## Dyskusja

W trakcie prowadzonych badań zastosowano dwuetapową weryfikację hipotez mającą na celu zarówno bezpośrednie wypracowanie rozwiązań docelowych, jak również ocenę możliwości zastosowania rozwiązań przetestowanych wcześniej na gatunku modelowym – jesiotrze syberyjskim w wychowie stadiów młodocianych gatunku docelowego, jakim był jesiotr ostronosy. W sposób doświadczalny dowiedziono możliwości ekstrapolacji uzyskanych wyników. Jednakże ze względu na specyfikę każdego gatunku przed wprowadzeniem do produkcji akwakultury metod działania wypracowanych na gatunkach modelowych konieczne są badania wariantów najbardziej obiecujących na reprezentatywnej próbie gatunku docelowego. Równocześnie jednak zastosowanie gatunku modelowego pozwala na wstępną eliminację wariantów mniej korzystnych. Ma to szczególne znaczenie w przypadku pracy na gatunkach cennych gospodarczo i przyrodniczo, gdzie wprowadzenie do produkcji czy badań rozwiązań nietestowanych wcześniej na modelach biologicznych mogłoby przynieść negatywne skutki. Jednocześnie dotychczasowe badania wskazują, że działania wzbogacające w okresie przedwielonowym są wysoce wskazane w przypadku ryb jesiotrowatych ze względu na czas transycji alimentarnej i behawioralnej (Cámara-Ruiz i in. 2019).

W pierwszym z testów wykazano, że podawanie pokarmu zarówno z użyciem karmników automatycznych, jak i karmienie ręczne jest dobrze akceptowane przez młodociane jesiotry. Obydwa sposoby zadawania paszy można rozpatrywać jako adekwatne w produkcji ryb, jednakże w przypadku materiału zarybieniowego korzystniejszy pod kątem behawioralnym wydaje się drugi wariant, gdzie ryby nie otrzymują paszy przez cały czas, a karmienie odbywa się w interwałach czasowych. Wzmaga to funkcje poznawcze i zachowania żerowiskowe, zwiększa częstotliwość penetracji różnych części zbiornika, co docelowo może przełożyć się na zwiększenie zdolności ryb do poszukiwania pokarmu naturalnego (Arechavala-Lopez i in. 2020). Pomimo braku statystycznie istotnych różnic w zakresie parametrów wzrostu ryb i wykorzystania paszy na uwagę zasługują tendencje w niższej wartości indeksu wiscerosomatycznego w grupach żywionych ręcznie, co prawdopodobnie ma odzwierciedlenie w zmianach fizjologicznych na poziomie metabolizmu wątroby i może być związane z interwałowym podawaniem pokarmu i zmiennym obciążeniem organów układu trawiennego. Podobnie w przypadku względnej długości przewodu pokarmowego, która najwyższą wartość osiągnęła w grupie KK (ryby żywione paszą kontrolną z użyciem karmników taśmowych) – gdzie na skutek podawania karmy w sposób

ciągły prawdopodobnie doszło do adaptacji fizjologiczno-anatomicznej przewodu pokarmowego do jego długotrwałego wysokiego stopnia wypełnienia. Ciekawym wydaje się fakt najwyższych wyników indeksów płetw grzbietowych i brzusznych w grupie OR (ryby żywione paszą zawierającą białko z owadów, pasza zadawana ręcznie). Obserwacje behawioru ryb wskazują, że może to być efekt braku gromadzenia się osobników żerujących w jednym miejscu – pod karmnikiem, przez co w mniejszym stopniu dochodziło do ocierania się ryb i mechanicznej erozji płetw. Badania te potwierdziły przydatność pasz zawierających materiały paszowe wytworzone z biomasy owadów – w przypadku jesiotrów obecnie dostępna literatura naukowa wskazuje zróżnicowane wyniki w tym temacie. Jednakże doświadczenie autorów prowadzi do wniosku, że w przypadku zastosowania mączek z owadów o wysokiej wartości pokarmowej oraz jakości technologicznej z powodzeniem można uznać je za alternatywę i przynajmniej częściowy substytut dla mączek rybnych, co potwierdzają wcześniejsze badania zespołu (Józefiak i in. 2019, Rawski i in. 2020, 2021). W drugim z doświadczeń dowiedziono możliwości wychowu narybku jesiotra syberyjskiego z gatunkiem drapieżnym (sumem europejskim), jak i niedrapieżnym (brzana i certa). Najwyższe wyniki przyrostów masy ciała w obecności gatunków niedrapieżnych sugerują, że obsada wielogatunkowa nie tworząca presji drapieżniczej może stanowić element presji środowiskowej stymulujący jesiotry do pobierania pokarmu i wzrostu, jednakże jej zwiększenie poprzez obecność ryb drapieżnych lub obu grup ryb może przyczynić się do obniżenia przyrostu. Prawdopodobnie – podobnie jak w przypadku badań dotyczących zagęszczenia jednogatunkowego, po przekroczeniu biologicznie akceptowalnych limitów obsady, przyrosty ryb obniżają się na skutek wzrostu konkurencji o pokarm, habitat, zaburzenia budżetu czasowego i stresu, co znajduje potwierdzenie w wynikach odnoszących się do współczynnika wykorzystania paszy. Trzeci z testów prowadzonych na narybku jesiotra syberyjskiego wskazuje na fakt częściowego zniwelowania efektu presji drapieżniczej poprzez zastosowanie schronień dla ryb, które umożliwiają częściową separację fizyczną obu gatunków, jak również strefy odpoczynku przy równoczesnym zachowaniu stymulującego behawioralnie i sprzyjającego adaptacji do zróżnicowanego środowiska wychowu wraz z gatunkiem drapieżnym. W doświadczeniu czwartym użyto roślinności naturalnej i substratu dennego dla zwiększenia stref stanowiących schronienie dla ryb oraz zapewniających miejsca zacienione o spowolnionym przepływie wody. W tym przypadku można w sposób pozytywny ocenić obecność roślinności naturalnej w zbiornikach – co przyczyniło się do zwiększenia przyrostów masy ciała oraz obniżenia współczynnika wykorzystania paszy. Prawdopodobnie należy upatrywać podstaw tej sytuacji w zmianach behawioru powodowanych przez obecność roślinności (Einfalt i in. 2013). Na uwagę zasługuje fakt pogorszenia wartości współczynników wykorzystania paszy i wydajności wzrostowej białka w grupie SM (obecność substratu mineralnego, brak zastosowania roślinności naturalnej), co sugeruje że zastosowanie substratu dennego w przypadku ryb

jesiotrowatych odżywiających się w dolnej części zbiornika może negatywnie oddziaływać poprzez fizyczne utykanie pomiędzy cząstkami podłoża peletek paszy – brak jej dostępności dla ryb. W dalszej konsekwencji w przypadku obiektów o zwrotnym obiegu wody może to prowadzić do wzrostu zawartości biogenów rozpuszczonych w wodzie oraz utrudnionego utrzymania higieny zbiorników. Celem piątego doświadczenia było potwierdzenie możliwości zastosowania diet zawierających materiały paszowe wytworzone z biomasy owadów w wychowie narybku jesiotra ostronosego. W tym teście dowiedziono wysokiej akceptacji pasz zawierających w swoim składzie mączkę z biomasy larw *Hermetia illucens*, jak również brak jej negatywnego wpływu na parametry podchowu oraz wykorzystanie paszy. Podobnie nie odnotowano różnic w zakresie wskaźników: somatycznych, kondycji oraz indeksach płetw. W doświadczeniu szóstym oceniono możliwość ograniczenia efektu stresu generowanego przez obecność gatunku drapieżnego poprzez zastosowanie szeregu wariantów modyfikacji środowiska o charakterze biotycznym i abiotycznym. Najskuteczniejszą metodą okazały się schronienia strukturalne. W przypadku ich obecności nie obserwowano dalszych pozytywnych efektów wprowadzania kolejnych stopni wzbogacenia o charakterze abiotycznym (substratu naturalnego) oraz biotycznym (roślinności naturalnej).

Przeprowadzony cykl badawczy wskazuje na możliwość zastosowania szeregu metod zwiększających adaptację młodocianych stadiów ryb jesiotrowatych do warunków seminaturalnych i naturalnych, bez uszczerbku dla wyników wychowu narybku. Wskazuje równocześnie na możliwość zastosowania jesiotra syberyjskiego jako gatunku modelowego o wysokim potencjale do wstępnego testowania rozwiązań opracowywanych dla zagrożonych populacji ryb jesiotrowatych.

*Badania zrealizowano w ramach operacji pt.: „Innowacyjna technologia wychowu młodocianych stadiów ryb jesiotrowatych o wysokim stopniu adaptacji do warunków naturalnych lub seminaturalnych”, umowa o dofinansowanie nr 00001-6521.1-OR1500001/20 zawarta w dniu 21 lipca 2021 roku w ramach działania 2.1 „Innowacje” o których mowa w art. 47 rozporządzenia nr 508/2014 w zakresie Priorytetu 2 – Wspieranie akwakultury zrównoważonej środowiskowo, zasobooszczędnej, innowacyjnej, konkurencyjnej i opartej na wiedzy, zawartego w Programie Operacyjnym „Rybnictwo i Morze”.*

## Literatura

- Aidos L., Cafiso A., Serra V., Vasconi M., Bertotto D., Bazzocchi C., Di Giancamillo A. 2020 – How different stocking densities affect growth and stress status of *Acipenser baerii* early stage larvae – *Animals*, 10(8): 1289.
- Aréchavala-Lopez P., Caballero-Froilán J.C., Jiménez-García M., Capó X., Tejada S., Saraiva J.L., Moranta D. 2020 – Enriched environments enhance cognition, exploratory behaviour and brain physiological functions of *Sparus aurata* – *Sci. Rep.*10(1): 1-10.

- Bayunova L., Barannikova I., Semenkova T. 2002 – Sturgeon stress reactions in aquaculture – J. Appl. Ichthyol. 18: 397-404.
- Cámara-Ruiz M., Santo C.E., Gessner J., Wuertz S. 2019 – How to improve foraging efficiency for restocking measures of juvenile Baltic sturgeon (*Acipenser oxyrinchus*) – Aquaculture 502: 12-17.
- Einfalt L.M., Wojcieszak D.B., Wahl D.H. 2013 – Behavior, growth and habitat selection of hatchery esocids reared with artificial vegetation – Trans. Am. Fish. Soc. 142(2): 345-352.
- Eslamloo K., Falahatkar B. 2014 – Variations of some physiological and immunological parameters in Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869) subjected to an acute stressor – J. Appl. Anim. Welf. Sci. 17(1): 29-42.
- Hardy R.W., Barrows F.T. 2002 – Diet formulation and manufacture – W: *Fish Nutrition, 3rd ed.* (Red.) J.E. Halver, R.W. Hardy. Academic Press, San Diego, USA: 506-601.
- Hung S.S.O., Lutes P.B., Shqueir A.A., Conte, F.S. 1993 – Effect of feeding rate and water temperature on growth of juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) – Aquaculture 115: 297-303.
- Józefiak A., Nogales-Mérida S., Rawski M., Kierończyk B., Mazurkiewicz J. 2019 – Effects of insect diets on the gastrointestinal tract health and growth performance of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt, 1869) – BMC Vet. Res. 15(1): 1-11.
- Pourgholam Y., Khara H., Mohdeni M. 2019 – The interaction of vitamin C levels with oxygen and temperature changes on cortisol and glucose in the blood of (*Acipenser baerii*) – J. Aquac. Res. Develop. 13(2): 1-13.
- Rawski M., Mazurkiewicz J., Kierończyk B., Józefiak D. 2020 – Black soldier fly full-fat larvae meal as an alternative to fish meal and fish oil in Siberian sturgeon nutrition: the effects on physical properties of the feed, animal growth performance, and feed acceptance and utilization – Animals 10(11), 2119.
- Rawski, M., Mazurkiewicz, J., Kierończyk, B., Józefiak, D. 2021 – Black soldier fly full-fat larvae meal is more profitable than fish meal and fish oil in Siberian sturgeon farming: the effects on aquaculture sustainability, economy and fish GIT development – Animals 11(3), 604.
- Stevens C.H., Croft D.P., Paull G.C., Tyler C.R. 2017 – Stress and welfare in ornamental fishes: what can be learned from aquaculture? – J. Fish Biol. 91(2): 409-428.
- Toni M., Manciooco A., Angiulli E., Alleva E., Cioni C., Malavasi S. 2019 – Assessing fish welfare in research and aquaculture, with a focus on European directives – Animal 13(1): 161-170.

# **Biologicznie efektywna i niskoemisyjna akwakultura zachowawcza karpiowatych ryb reofilnych – utrzymanie tarlaków, rozród i wychów stadiów młodocianych**

*Jan Mazurkiewicz<sup>1,2</sup>, Marcin Wiśniewski<sup>3</sup>, Mateusz Rawski<sup>1,2</sup>,  
Krzysztof Florczyk<sup>1,2</sup>, Jan Banaszak<sup>1</sup>*

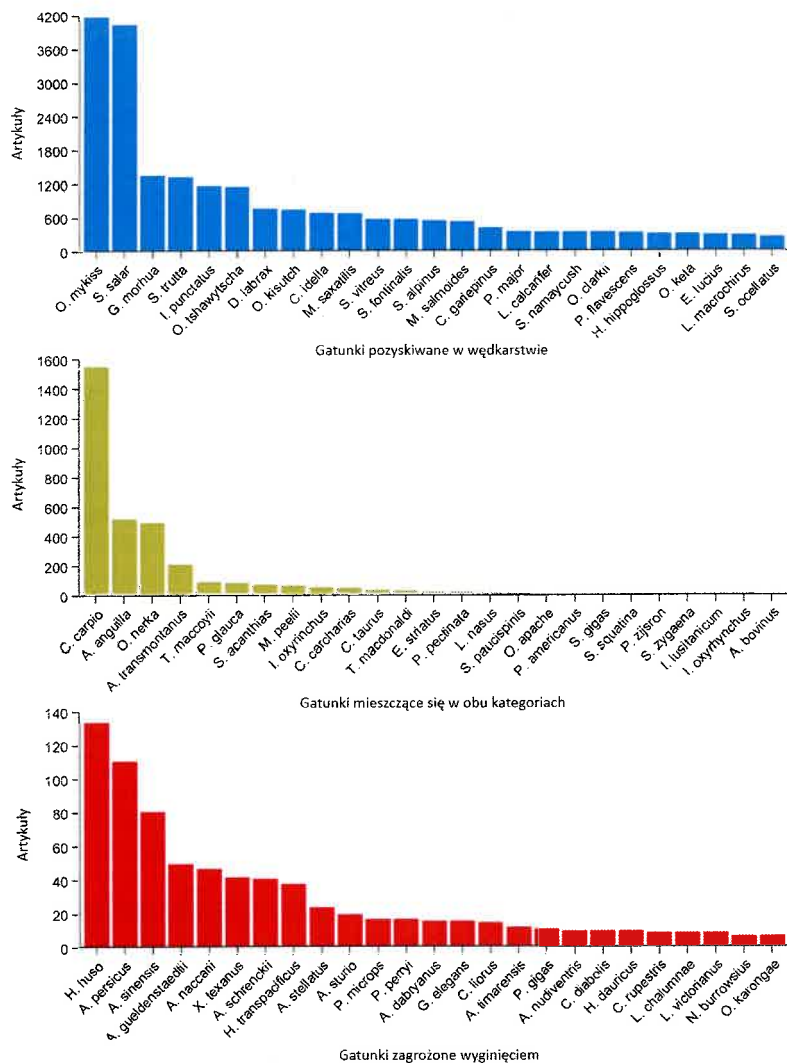
<sup>1</sup>Zakład Doświadczalny Technologii Produkcji Pasz i Akwakultury w Muchocinie, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

<sup>2</sup>Pracownia Rybactwa Śródlądowego i Akwakultury, Katedra Zoologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

<sup>3</sup>Polski Związek Wędkarski Okręg w Poznaniu

## **Wstęp**

Człowiek, gatunek będący elementem przyrody, a równocześnie jedyny mający zdolność jej niemalże nieograniczonego przekształcania, stoi obecnie przed największym globalnym wyzwaniem w swojej historii. Wpływ cywilizacyjny jest na tyle silny, że coraz częściej mówi się o czasach obecnych jako epoce antropocenu i postępującym jako jego konsekwencją szóstym masowym wymieraniu gatunków (Ceballos i in. 2017). Zjawisko to najtrudniej jest oceniać w ekosystemach wodnych ze względu na niewielki stopień ich poznania i trudności techniczne w eksploracji. Jednak w wodach śródlądowych procesy zanikania gatunków przebiegają w sposób najbardziej gwałtowny. Ocenia się, że w ciągu XX wieku w części środowisk wodnych mogły one odznaczać się niemalże 900-krotnie większym stopniem ubytku naturalnych populacji niż w otaczających je ekosystemach lądowych (Burkhead 2012). Równocześnie ostatnie dekady stały się okresem niespotykanej wcześniej produktywności świata nauki – liczba prac naukowych podwaja się obecnie w rekordowo szybkim tempie – co około 15 lat (Fortunato i in. 2018). Aspekt ilościowy nie przekłada się na równomierne zwiększanie wiedzy naukowej, szczególnie w zakresie nauk przyrodniczych i rolniczych, w tym zootechniki



Rys. 1. Liczba publikacji naukowych dotyczących wybranych gatunków ryb pozyskiwanych gospodarczo i zagrożonych wyginięciem (lata 1964-2018) (Guy i in. 2021).

i rybactwa. Jak wskazują analizy literatury naukowej z lat 1968-2018 dominującymi gatunkami reprezentowanymi w publikacjach są: pstrąg tęczowy (*Oncorhynchus mykiss*), łosoś atlantycki (*Salmo salar*), karp (*Cyprinus capio*) oraz jesiotry (*Acipenser* sp.). Sumarycznie stanowią one ponad połowę analizowanych prac (rys. 1). Prowadzi to do sytuacji, w której wiedza dotycząca gatunków szeroko utrzymywanych w akwakulturze towarowej jest detalicznie opisana, natomiast brak jest informacji dotyczących gatunków o wysokim znaczeniu lokalnym, czy uznawanych za kluczowe dla zachowania bioróżnorodności ekosystemów wodnych jako taksony parasolowe.

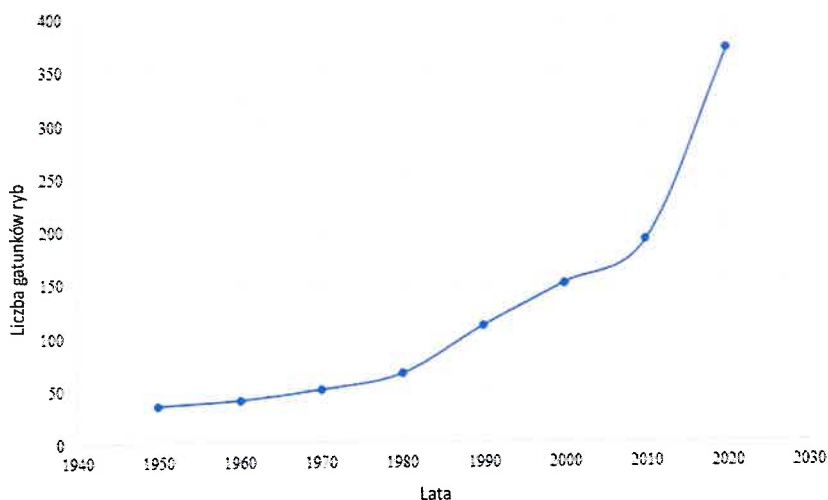


Ten rodzaj luki w wiedzy stwarza istotne utrudnienie względem ochrony aktywnej poprzez rozród, wychów stadiów młodocianych, zarybienia i obsadzenia habitatów seminaturalnych oraz naturalnych. Działania te obecnie są kluczowe dla zachowania liczebności lokalnych populacji ryb, które bywają dobrze zbadane pod kątem ich behawioru, statusu populacji oraz trendów w niej notowanych, a niekiedy również przyczyn zaniku czy historii życia i roli w ekosystemach (ang. *life history and ecology*). Jednakże nawet w przypadku ryb pozornie kompleksowo zbadanych, takich jak reofilne ryby karpowate stopień poznania ich wymagań w akwakulturze zachowawczej jest niewystarczający.

## **Akwakultura zachowawcza reofilnych ryb karpowatych**

Pomimo tego że rozród karpowatych ryb reofilnych w warunkach sztucznych został już dobrze rozpoznany i udokumentowany jest to tylko jeden etap cyklu, który jest potrzebny do uzyskania wysokiej jakości materiału zarybieniowego (Mamcarz i in. 2008). Większość dotychczas prowadzonych badań dowodzi, że najskuteczniejszym pod kątem przeżywalności ryb jest zarybienie materiałem podchowym, ze względu na niższą presję drapieżniczą oraz jego wyższy stopień rozżerowania (Cochran-Biederman i in. 2015). Dlatego koniecznością jest opracowanie nie tylko szczegółowych rozwiązań dla poszczególnych etapów życia gatunku, ale holistycznej i systematycznie rozwijanej strategii utrzymania stad rodzicielskich, rozrodu, podchowu wylęgu i wychowu narybku (Homska i in. 2021, 2022, Mazurkiewicz i in. 2021a, 2021b, 2021c, 2021d).

W związku z powyższym akwakultura zachowawcza staje przed potrzebą wypracowania wysoce aplikacyjnych rozwiązań, obejmujących swoim zakresem pełne spektrum działań. Należy podkreślić, że najczęściej opisywanym aspektem rozwoju akwakultury jest ukazanie jej w sposób ilościowy przedstawiając wolumen produktów dostarczonych na rynek spożywczy (FAO 2020). To podejście o ile ważne z punktu widzenia żywienia rosnącej populacji ludzkiej w sposób zrównoważony nie ukazuje jednak złożoności rozwoju tej branży. Drugą po ilości produkowanych dóbr cechą charakteryzującą wyraźnie stałe zwiększanie się potencjału tej branży jest liczba gatunków, jakie są w niej utrzymywane, dla których „zamknięciu” ulegają cykle produkcyjne, a gospodarowanie zasobami gatunku dzięki działalności człowieka staje się niezależne od jego dzikiej populacji. Warto podkreślić, iż pula taksonów utrzymywanych w akwakulturze zwiększyła się w ostatnim dwudziestoleciu ponad dwukrotnie (rys. 2). Co więcej, akwakultura staje się nie tylko konsumentem dzikich zasobów ryb w postaci materiałów paszowych z nich pozyskiwanych (mączki i oleje rybne), ale również producentem zasilającym je dzięki działaniom zachowawczym, zarybieniowym i reintrodukcyjnym.



Rys. 2. Liczba gatunków ryb utrzymywanych w akwakulturze (lata 1950-2020) (FAO 2020, Sicuro 2021).

Tymczasem krajowa akwakultura ze względu na uwarunkowania geograficzne i klimatyczne odznacza się niewielkim stopniem zróżnicowania gatunkowego produkcji (Sicuro 2021), wskazując wysoką potrzebę rozwoju i dywersyfikacji produkcji materiału zarodkowego i zarybieniowego, co w znaczącym stopniu przełoży się nie tylko na konkurencyjność ekonomiczną branży, ale również na bezpieczeństwo genetyczne natywnych dla terenów Polski zasobów ryb.

Konieczność innowacyjnego spojrzenia na rolę akwakultury ma związek z dualizmem rozwoju produkcji ryb w warunkach seminaturalnych i kontrolowanych. Wytwarzanie żywności cały czas jest najważniejszą funkcją akwakultury towarowej, jednak w obliczu narastającej presji antropogenicznej na ekosystemy wodne i zwiększającej się liczby gatunków ryb uznanych za zagrożone wyginięciem (obecnie wg Międzynarodowej Unii Ochrony Przyrody, ang. *International Union for Conservation of Nature* (IUCN) liczba ta sięga ok. 2000) coraz ważniejsza staje się rola akwakultury zachowawczej (Zakęś i Demska-Zakęś 2021). Zadania tych dwóch gałęzi, pomimo tego że wywodzą się z jednego źródła historycznego i technologicznego różnią się znacznie ze względu na wspomniany wcześniej profil gatunkowy. Podczas gdy na akwakulturę towarową składa się zespół działań mający na celu chów i hodowlę najczęściej jednego gatunku w obiekcie lub gospodarstwie, to w przypadku akwakultury zachowawczej wyzwaniem technologicznym i merytorycznym jest większa liczba gatunków, których rozród prowadzony jest w ciągu znacznie większej części roku – co w warunkach Polski jest spowodowane naturalnymi cyklami biologicznymi i faktem rozrodu oraz wychowu nawet kilkunastu gatunków w obiekcie w sezonie. Dlatego tak istotna jest możliwość opracowania gatunkowo specyficznych warunków i procedur związanych z cyklem hodowlanym, w tym: utrzyma-

niem stad rodzicielskich, efektywną inkubacją ikry i podchowem larw, jak również technologią wychowu narybku.

Jednym z najważniejszych czynników ograniczających rozwój i zrównoważenie środowiskowe nowoczesnych systemów akwakultury jest ich uzależnienie od zewnętrznych źródeł energii elektrycznej. Dlatego największym szans dla rozwoju innowacyjnej akwakultury upatruje się obecnie w rozwiązaniach wspierających samowystarczalność systemów zwrotnego obiegu wody oraz w pozostałych aspektach niskoemisyjności, takich jak zmniejszanie zużycia energii elektrycznej i minimalizacja uwalniania biogenów do środowiska (Badiola i in. 2018). Ma to szczególne znaczenie w obliczu zwiększających się cen nośników energii oraz możliwości zaburzeń łańcuchów dostaw. Działania te mają znaczenie w rozwoju, nie tylko w aspekcie jednostkowym, ale również w perspektywie budowania krajowej niezależności od importowanych źródeł energii. Powyższa analiza wyraźnie wskazuje potrzebę tworzenia rozwiązań o kompleksowym charakterze, tworzących zachowawczą rolę akwakultury poprzez wprowadzanie niskoemisyjnych, nowoczesnych technologii w systemie produkcji wysokiej jakości materiału zarybieniowego w warunkach kontrolowanych.

## **Utrzymanie stad podstawowych i bioasekuracja**

W celu zwiększenia stopnia zabezpieczenia materiału rodzicielskiego w akwakulturze i zmniejszenia jej negatywnego wpływu na dzikie populacje ryb, jednym z kluczowych zabiegów jest utrzymanie stacjonarnych stad zarodowych w warunkach kontrolowanych. Zwiększa to dostępność materiału reprodukcyjnego uniezależniając rozród ryb od warunków środowiskowych i pozwala uniknąć niespodziewanych sytuacji takich jak: późne rozpoczęcie sezonu reprodukcyjnego tarlaków pozyskiwanych ze środowiska w roku 2023, czy katastrofa ekologiczna w dorzeczu Odry w 2022 roku. Ponadto jakość i gotowość tartowa ryb dojrzałych pozyskiwanych ze środowiska naturalnego pogarsza się w ostatnich latach w związku z zanieczyszczeniem wód, w szczególności metabolitami o charakterze hormonalnym, które powodują feminizację samców wielu gatunków.

W związku z powyższym w niektórych przypadkach lokalnego wysokiego stopnia zanieczyszczenia wód zasilających obiekty akwakultury, następuje coraz większa potrzeba izolacji ryb utrzymywanych stacjonarnie od środowiska. W tym celu konieczna jest budowa systemów wydajnej prefiltracji wody dla systemów otwartych – opcjonalnie zawierających złoża filtracyjne o wysokiej chłonności chemicznej, np.: węgiel aktywny czy zeolit. Kolejnym istotnym krokiem w takich sytuacjach jest prowadzenie chowu i hodowli ryb w jeszcze większym stopniu kontroli środowiska poprzez zastosowanie systemów zwrotnego obiegu wody (RAS). Ich wykorzystanie jest szczególnie istotne

w przypadku ryb mających stanowić „rezerwę genetyczną” lub „żywe banki genów” dla dzikich populacji. Utrzymanie ryb w jednogatunkowej obsadzie, systemach izolowanych od środowiska i warunkach kontrolowanych wpływa w sposób pozytywny na ich status zdrowotny ograniczając kontakt z patogenami. Zachowanie wysokiego poziomu zoohigieny powinno obejmować nie tylko fizyczną izolację systemów – ograniczenie uzupełniania wody spoza systemu oraz filtrację z zastosowaniem dezynfekcji promiennikami UV. Ważnym krokiem w tworzeniu jakości materiału zarybieniowego jest bariera bioasekuracyjna następująca w momencie pozyskania produktów płciowych od tarlaków. Całość inkubacji ikry i dalszego podchowu larw oraz wychowu narybku powinna być prowadzona w systemach zwrotnego obiegu wody – niemających bezpośredniego kontaktu ze środowiskiem zewnętrznym.

Istotne jest również wprowadzenie protokołów kwarantanny dla ryb nowo wsiedlonych. Co istotne kwarantanna jest jednym z najskuteczniejszych narzędzi ochrony zdrowia ryb ze względu na wysoki stopień transmisji chorób zakaźnych w środowisku wodnym. Ponadto należy podkreślić, że chroni ona nie tylko obecne już w obiekcie osobniki przed możliwością przeniesienia czynników chorobowych od nowo przybyłych, ale również daje czas tym drugim na dostosowanie mikrobiomu organizmu oraz układu odpornościowego do warunków panujących w docelowym miejscu utrzymania. Największym błędem osób prowadzących hodowlę jest całkowita rezygnacja z jej prowadzenia związana z brakiem fizycznej izolacji zwierząt zadomowionych i nowo przybyłych. Optymalne jest przeznaczenie zbiorników wyłącznie do tego celu lub możliwość wyłączenia części systemu i zapewnienia w nim odrębnego obiegu wody na czas kwarantanny. Wskazana jest również obsługa zwierząt przez osobne zespoły pracowników. Jednakże jeżeli nie jest to możliwe, należy pamiętać o konieczności zachowania kolejności obsługi zwierząt czy osobnego sprzętu służącego do jego obsługi (kasary, rękawice, węże do lewarowania wody, itp.), jak również ubioru roboczego. Zestawienie najczęściej popełnianych błędów w procesie kwarantanny ryb zaprezentowano w tab. 1.

Ponadto koniecznością jest zachowanie prawidłowej kolejności obsługi poszczególnych grup zwierząt w obiekcie akwakultury (rys. 3). W tym zakresie jednym z najczęściej nieprawidłowo wykonywanych elementów jest kontakt z osobnikami chorymi i kwarantannowymi w pierwszej kolejności, dopiero następnie obsługa ryb zaaklimatyzowanych, narybku i ikry. W celu zachowania najwyższych standardów higienicznych codzienne czynności pielęgnacyjne powinny być rozpoczynane od miejsc bytowania stadiów charakteryzujących się najwyższą wrażliwością na patogeny, a równocześnie najniższym prawdopodobieństwem bycia źródłem ich transferu, tj. ikry, wylęgu i narybku, dopiero w dalszej kolejności powinno poddawać się obsłudze zwierzęta dorosłe, chore i kwarantannowane jako ostatnie.

Tabela 1

## Punkty krytyczne kwarantanny w obiektach akwakultury

Punkt krytyczny	Optimum	Minimum	Najczęstsze błędy
Miejsce prowadzenia kwarantanny	osobny budynek	odrębne systemy obiegu wody	brak fizycznej izolacji zwierząt
Personel	przypisany jednostce kwarantanny	zachowujący zasady higieny i kolejności obsługi	brak zasad dotyczących kolejności higieny i obsługi
Ubiór roboczy	jednorazowy lub osobny	dezynfekcja	brak dezynfekcji
Potencjalne drogi kontaminacji	rozdzielenie dróg brudnych i czystych	sanityzacja miejsc krzyżowania się dróg brudnych i czystych	brak dbałości o krzyżowanie się dróg
Systemy sanitarne/wentylacyjne	filtracja/sterylizacja powietrza i wody	osobne obiegi wody i powietrza	system przepływu wody umożliwiający jej wymianę pomiędzy zbiornikami
Badania diagnostyczne i profilaktyczne	szeroki profil oceny zdrowia, badania wirusologiczne, badania parazytologiczne	badania parazytologiczne	brak profilaktyki weterynaryjnej
Dokumentacja weterynaryjna	przed i po transporcie	po transporcie	brak historii zdrowia osobnika



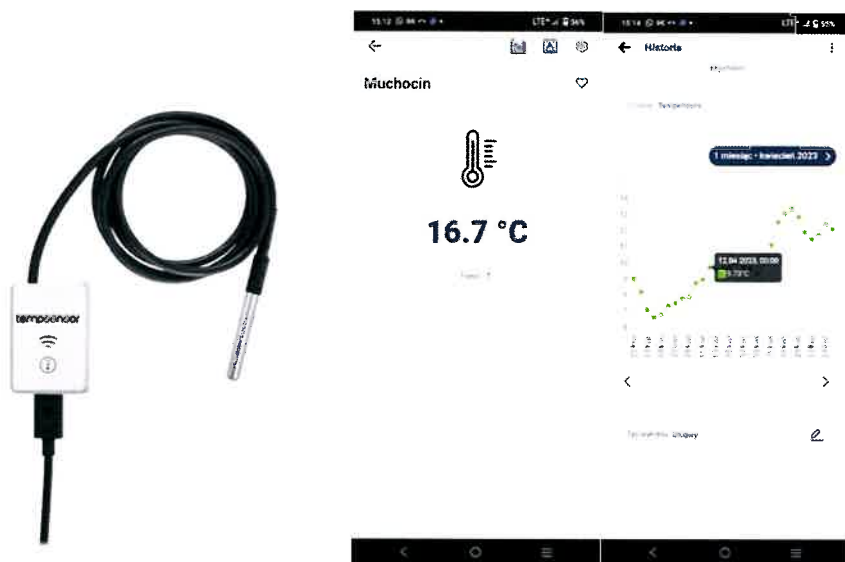
Rys. 3. Kolejność obsługi ryb w akwakulturze uwzględniająca potrzeby bioasekuracji.

## Perspektywy niskoemisyjnej akwakultury

W opisanych wyżej warunkach – wysokim stopniu kontroli nad środowiskiem możliwe jest opracowanie wielostopniowych i komplementarnych procedur, mających na celu zwiększenie efektywności rozrodu osobników dojrziałych, inkubacji ikry oraz wychowu wylęgu i narybku. Dzięki zastosowaniu systemów zwrotnego obiegu wody i utrzymaniu

tarlaków w pomieszczeniach możliwe jest ich stymulowanie środowiskowe poprzez: regulację obsady, czasową izolację płci, kontrolę temperatury, przepływu wody i długości dnia świetlnego. Całość tych zabiegów pozwala na optymalizację procedur rozrodu, jak również zmniejsza potrzebę wykorzystania stymulacji hormonalnej w rozrodzie reofilnych ryb karpiowatych. W ten sposób możliwe jest pozyskanie wylęgu odznaczającego się wysoką jakością biologiczną przy równoczesnym zachowaniu wysokiego stopnia bioasekuracji rozrodu. Pozwala to na ograniczenie transferu patogenów zarówno drogami poziomymi – pomiędzy osobnikami należącymi do tego samego pokolenia, jak również pionowymi – z rodziców na potomstwo. Całość wspomnianych zabiegów przekłada się również na zwiększoną wylęgowość ikry. Dalszy rozwój wylęgu i narybku może być wspomagany dzięki zastosowaniu mikrobiologicznej stymulacji alimentarnej (np. probiotyki), jak i środowiskowej (np. efektywne mikroorganizmy). Te dwa rodzaje bioty wprowadzanej do systemów zwrotnych pozwalają na ich stabilizację zarówno pod kątem mikrobioty przewodu pokarmowego ryb – wspomagając równocześnie rozwój jego mikrostruktur, stymulując układ immunologiczny, zwiększając przyswajalność pasz, przyrosty, jak i poprzez zasiedlenie środowiska złoża filtracyjnych przyczynia się do niższej emisji biogenów. Dzieje się tak dzięki jednemu z najważniejszych procesów kształtowania mikrobiomu organizmu i środowiska, jakim jest kompetencyjne wypieranie przez organizmy pożyteczne i komensalne mikrobów potencjalnie patogennych. Mechanizm tego zjawiska oparty jest na wydzielaniu szeregu substancji, takich jak kwasy organiczne i bakteriocyny, co pozwala efektywnym mikroorganizmom i bakteriom probiotycznym na zasiedlenie niszy i równoczesne zajęcie mikrohabitatu, czyniąc go niedostępnym dla potencjalnych patogenów. Przyczynia się to również do zwiększenia efektywności przejścia na pasze upostaciowane, ich pobrania, a w konsekwencji wyższej przeżywalności narybku. Ponadto, jak wskazują wyniki przeprowadzonych badań wstępnych, w procesach tranżycji alimentarnej wylęgu na odżywianie egzogenne oraz rozpoczęcia pobierania upostaciowionych pasz ekstrudowanych istotną rolę odgrywa optymalizacja warunków środowiskowych, takich jak: temperatura wody, prędkość, ukierunkowanie i sposób przepływu wody, jej parametry fizykochemiczne oraz stymulacja świetlna, w tym częściowe zacienianie i wprowadzanie stref spokojnego przepływu wody w zbiornikach. W tym celu wprowadzane są: odwzorowanie naturalnego i/lub opracowanie modyfikowanego fotoperiodu nie tylko pod względem długości trwania dnia świetlnego, ale również zmienności barwowej i intensywności światła. Kolejną wartą zastosowania modyfikacją jest indywidualne wyposażenie każdego zbiornika w separatory służące do ułatwionego usuwania z wody zanieczyszczeń organicznych. W celu intensyfikacji żerowania ryb, dla których stymulacją behawioru żerowania jest ruch cząsteczek pokarmu pod miejscami ich karmienia, umieszczone mogą być pompy cyrkulacyjne zwiększające ruchliwość cząstek paszy w wodzie w celu pobudzenia narybku

do żerowania. Szereg parametrów środowiskowych – właściwości fizykochemicznych wody obecnie może być monitorowane w trybie online, co umożliwi ich modyfikację w czasie rzeczywistym, jak również szeroko zakrojone gromadzenie danych podczas wychowu materiału zarybieniowego z wykorzystaniem urządzeń mobilnych. Możliwości takie występują nawet bez kosztocłonnego zaplecza – w wielu przypadkach urządzenia monitoringowe znajdujące zastosowanie w innych dziedzinach mogą również zostać użyte w akwakulturze. Rozwiązania umożliwiające zdalny monitoring podstawowych parametrów środowiska wymagają stałego dostępu do Internetu w obiekcie produkcyjnym – co w chwili obecnej jest właściwie standardem. Wodoodporne sensory temperatury o dokładności do  $0,1^{\circ}\text{C}$  przekazujące sygnał bezprzewodowo obecnie stanowią koszt około 150 złotych, a zastosowanie aplikacji mobilnych, jak również opcji przechowywania danych w chmurze pozwala na śledzenie historii zmian tego parametru (rys. 4).



Rys. 4. Przykład systemu zdalnego nadzoru temperatury wody w obiekcie akwakultury.

Kolejnym coraz powszechniejszym rozwiązaniem jest monitoring wizyjny (fot. 1), w tym urządzenia wykorzystujące łącze bezprzewodowe (Wi-Fi), są one również w większości przypadków wyposażone w możliwość przechowywania danych w zewnętrznej pamięci wirtualnej (chmurze), czujniki ruchu oraz szereg bardziej zaawansowanych funkcji, w tym nocny tryb obrazu. Znacznym ułatwieniem w pracy hodowców są również sensory zalania czy inteligentne sterowniki zasilania umożliwiające zdalną kontrolę stanu instalacji, uzupełniającą powszechnie stosowane w systemach RAS moduły GSM odpowiedzialne za informowanie obsługi o awariach np. zanikach zasilania czy aberracjach poziomu wody w zbiornikach wyrównawczych. Powyżej opisane rozwiązania przy-

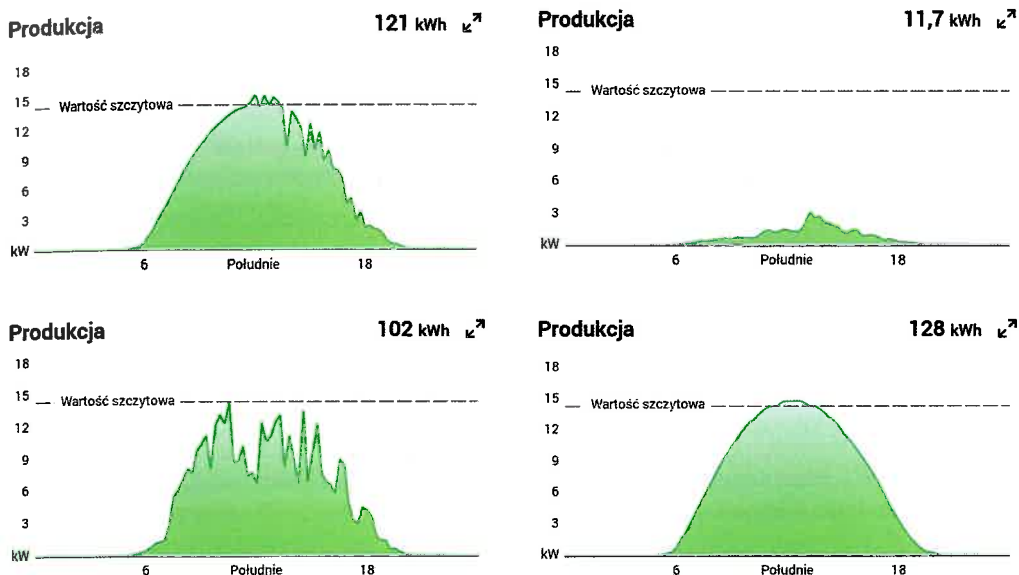


Fot. 1. Przykład zastosowania monitoringu wizyjnego w nadzorze nad produkcją akwakultury (fot. J. Mazurkiewicz).

czynią się do zmniejszenia liczby koniecznych dobowych kontroli działania osprzętu w obiekcie akwakultury, umożliwiając kontrolę szeregu parametrów bez nadmiernego niepokojenia ryb, jak również poprzez możliwość prowadzenia nadzoru z dowolnego miejsca obniżają koszty dojazdów, zmniejszają liczbę roboczogodzin, które obsługa musi przepracować, aby dokonać czynności sprawdzających.

Dla dopełnienia komplementarności działań konieczna jest również holistyczna analiza zrównoważenia środowiskowego, obejmująca zużycie energii i emisję biogenów na jednostkę produkcji ryb, w tym: realny stopień pokrycia zapotrzebowania energetycznego. Obecnie w okresie wzrastających cen nośników energii i równoczesnym stałym zapotrzebowaniu systemów zwrotnych na cele przepompowania, podgrzewania i uzdatniania wody rozwiązaniem zwiększającym niezależność energetyczną produkcji ryb jest wykorzystanie instalacji fotowoltaicznych. Należy pamiętać, że nie jest to rozwiązanie o wydajności pozwalającej pokrywać całość potrzeb w aspekcie rocznym, a wahania produkowanej energii w ciągu doby, jak i pomiędzy poszczególnymi dniami są bardzo znaczne (rys. 5). Jednakże jest to rozwiązanie przyczyniające się do zwiększenia rentowności produkcji i częściowego uniezależnienia jej wyniku ekonomicznego. W ostatnich latach obserwuje się również zmniejszenie energochłonności związane z zastosowaniem innowacyjnych rozwiązań w zakresie oświetlenia, m.in. używanie lamp typu LED, co wraz z obniżeniem emisji biogenów związanej z poprawą wykorzystania paszy i zwiększeniem współczynnika konwersji składników pokarmowych pasz czyni krajową akwakulturę coraz bardziej niskoemisyjną i konkurencyjną na rynku.





Rys. 5. Zróżnicowanie wydajności produkcji energii elektrycznej z ogniw fotowoltaicznych w warunkach zachodniej Polski (kwiecień 2023).

Zastosowanie szeregu rozwiązań opisanych powyżej musi jednak być testowane w cyklu produkcyjnym. Założenia opisane powyżej mające na celu ograniczenie konieczności stymulacji hormonalnej tarlaków, możliwość przeprowadzenia rozrodu w sposób asezonalny – pozwalający na rozszerzenie czasowe aktywności w zakresie podchowu wylęgu i narybku optymalizuje wykorzystanie kolejnych elementów systemu wychowu materiału zarybieniowego. W ramach prowadzonych badań optymalizacyjnych jeden ze wstępnych testów na tarlakach jazia (*Leuciscus idus*) (średnia masa osobników = 420 g) odłowionych ze zbiornika zewnętrznego, w którym utrzymywane jest stacjonarne stado podstawowe tego gatunku, oceniano pod kątem możliwości zastosowania zróżnicowanych wariantów stymulacji do rozrodu (tab. 2). W przypadku ryb pozyska-

**Tabela 2**

Wyniki testu oceniającego stymulację rozrodu jazia poprzez modyfikację środowiska i zastosowanie preparatów hormonalnych

Wariant	Ryba				
	1	2	3	4	5
Brak stymulacji	-	-	-	-	-
Stymulacja środowiskowa	-	-	-	-	-
Stymulacja hormonalna	+	+	-	-	-
Stymulacja środowiskowa i hormonalna	+	+	+	+	+

nych bezpośrednio ze stawu i braku stymulacji nie uzyskano produktów płciowych, równocześnie w drugim wariancie stymulacja środowiskowa polegająca na podniesieniu temperatury i wydłużeniu dnia świetlnego również nie dała rezultatów. Skuteczność na poziomie pozyskania ikry od dwóch z pięciu samic osiągnięto z użyciem stymulacji hormonalnej. Natomiast w wariancie połączenia stymulacji środowiskowej i hormonalnej uzyskano produkty płciowe od wszystkich samic biorących udział w testach. Dowodzi to konieczności dalszego prowadzenia badań w układach wieloczynnikowych testujących zarówno możliwości stymulacji środowiskowej, jak i hormonalnej w celu optymalizacji wyników rozrodu reofilnych ryb karpiowatych w akwakulturze zachowawczej.

*Badania zrealizowano w ramach operacji pt.: „Innowacyjny system rozrodu i wychowu karpiowatych ryb reofilnych w biologicznie efektywnej i niskoemisyjnej akwakulturze zachowawczej”, umowa o dofinansowanie nr 00002-6521.1-OR1500001/22 zawarta w dniu 9 listopada 2022 roku w ramach działania 2.1 „Innowacje”, o których mowa w art. 47 rozporządzenia nr 508/2014 w zakresie Priorytetu 2 – Wspieranie akwakultury zrównoważonej środowiskowo, zasobooszczędnej, innowacyjnej, konkurencyjnej i opartej na wiedzy, zawartego w Programie Operacyjnym „Rybnictwo i Morze”.*

## Literatura

- Badiola M., Basurko O.C., Piedrahita R., Hundley P., Mendiola D. 2018 – Energy use in recirculating aquaculture systems (RAS): a review – *Aquac. Eng.* 81: 57-70.
- Burkhead N.M. 2012 – Extinction rates in North American freshwater fishes, 1900-2010 – *Bioscience* 62: 798-808.
- Ceballos G., Ehrlich P.R., Dirzo R. 2017 – Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines – *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*: 114, e6089-e6096.
- Cochran-Biederman J.L., Wyman K.E., French W.E., Loppnow G.L. 2015 – Identifying correlates of success and failure of native freshwater fish reintroductions – *Conserv. Biol.* 29(1): 175-186.
- FAO 2020 – The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome.
- Fortunato S., Bergstrom C.T., Börner K., Evans J.A., Helbing D., Milojević S., Barabási A.L. 2018 – Science of science – *Science* 359(6379), eaao0185.
- Guy C.S., Cox T.L., Williams J.R., Brown C.D., Eckelbecker R.W., Glassic H.C., Siemiantkowski M.J. 2021 – A paradoxical knowledge gap in science for critically endangered fishes and game fishes during the sixth mass extinction – *Sci. Rep.* 11(1): 1-9.
- Homska N., Kowalska J., Bogucka J., Ziółkowska E., Rawski M., Kierończyk B., Mazurkiewicz J. 2022 – Dietary fish meal replacement with *Hermetia illucens* and *Tenebrio molitor* larval meals improves the growth performance and nutraceutical status of ide (*Leuciscus idus*) juveniles – *Animals* 12(10): 1227.
- Homska N., Kowalska J., Mazurkiewicz J., Rawski M., Wiśniewski M., Kujawa G. 2021 – Zastosowanie mączek z biomasy owadów w dietach dla narybku klenia – Międzynarodowa Konferencja Naukowa połączona z obchodami 20-lecia Czasopisma Acta Scientiarum Polonorum Zootechnica, 14 październik 2021, Szczecin, Polska, s. 41.

- Mamcarz A., Kujawa R., Kucharczyk D., Skrzypczak A., Furgała-Selezniow G., Targońska K., Kurpen K., Turkowski K. 2008 – Larwikultura reofilnych ryb karpiowatych (Red.) A. Mamcarz. Wyd. Mercurius Kaczmarek Andrzej, Olsztyn, 464 s.
- Mazurkiewicz J., Wiśniewski M., Rawski M., Homska N., Kujawa G. 2021a – Innowacyjne komponenty paszowe w żywieniu jazia (*Leuciscus idus*) – W: POTAM-ON, Materiały konferencyjne. Uniwersytet Szczeciński, Szczecin.
- Mazurkiewicz J., Wiśniewski M., Rawski M., Homska N., Kujawa G. 2021b – Insect meals as innovative feed components in juvenile ide *Leuciscus idus* nutrition – Aquaculture Europe 2021. 4-7 październik 2021, Funchal, Madera, Portugalia.
- Mazurkiewicz J., Wiśniewski M., Rawski M., Homska N., Kujawa G., Kowalska J. 2021c – Zastosowanie mączek z owadów w paszach dla młodocianych stadiów reofilnych ryb karpiowatych – W: *Porozmawiajmy o przyszłości karpia* (Red.) J. Śliwiński. Wyd. PTR, Poznań: 153-160.
- Mazurkiewicz J., Wiśniewski M., Rawski M., Homska N., Kujawa G., Kowalska J. 2021d – Perspektywy zastosowania innowacyjnych komponentów paszowych wytworzonych z owadów w podchowcie stadiów młodocianych reofilnych ryb karpiowatych – W: *Akwakultura jako narzędzie ochrony ichtiofauny* (Red.) Z. Zakęś, K. Zakęś-Demska. Wyd. IRS, Olsztyn: 65-75.
- Sicuro B. 2021 – World aquaculture diversity: origins and perspectives – *Rev. Aquac.* 13(3): 1619-1634.
- Zakęś Z., Demska-Zakęś K. (Red.) 2021 – *Akwakultura jako narzędzie ochrony ichtiofauny* – Wyd. IRS, Olsztyn, 328 s.

**ISBN 978-83-66805-13-2**