

Instrukcja doradcza

nr 2/RD/2020

**Funkcjonowanie systemów
recyrkulacyjnych (RAS) w kontekście
produkcji materiału zarybieniowego
szczupaka (*Esox lucius*)**

Projekt pt.: Program Doradztwa Rybackiego „Rozradzanie, wylęgarnictwo, podchów ryb i zarybianie”;
ETAP I; Akronim „DORADZTWO”; Nr Umowy: **00002-6521.2-OR1400003/18/20** z dnia **16.01.2020 r.**

Instrukcja doradcza

Funkcjonowanie systemów recyrkulacyjnych (RAS) w kontekście produkcji materiału zarybieniowego szczupaka (*Esox lucius*)

Autorzy:

prof. dr hab. inż. Zdzisław Zakęś

dr inż. Sławomir Krejszeff

mgr inż. Maciej Rożyński

mgr inż. Marek Hopko

Zakład Akwakultury, Instytut Rybactwa Śródlądowego im. Stanisława Sakowicza w
Olsztynie

Projekt pt.: Program Doradztwa Rybackiego „Rozradzanie, wylęgarnictwo, podchów ryb i zarybianie”;
ETAP I; Akronim „DORADZTWO”; Nr Umowy: **00002-6521.2-OR1400003/18/20** z dnia **16.01.2020 r.**

Spis treści

1. Wstęp.....	4
2. Czynniki ograniczające produkcję ryb w RAS mezotroficznych	6
3. Nitryfikacja w systemach RAS	9
4. Uruchamianie biofiltra – wspomaganie procesu nitryfikacji.....	14
5. Obsadzanie basenów podchowowych RAS wylęgiem szczupaka.....	16
6. Żywienie szczupaka w RAS	18
7. Inne zabiegi/manipulacje w czasie podchowu szczupaka w RAS	20
8. Zakładane efekty podchowu materiału zarybieniowego szczupaka w RAS	22
9. Literatura	22

1. Wstęp

Stosowana w akwakulturze technologia recyrkulacji wody, systemów recyrkulacyjnych (RAS), liczy już kilkadziesiąt lat, ale o jej dynamicznym rozwoju, zarówno w kontekście ilościowym, jak i jakościowym możemy mówić dopiero w obecnym millenium. Technologia ta ma szereg zalet, szczególnie w kontekście jej walorów prośrodowiskowych. Czynniki ograniczającymi powszechniejsze stosowanie RAS są jednak wysokie koszty konstrukcji tego typu urządzeń oraz brak ich standaryzacji (Badiola i in. 2012).

Obecnie w RAS produkowane są zarówno organizmy morskie, jak i słodkowodne. Stąd podstawowym kryterium klasyfikacji RAS jest zasolenie wody. Wyróżnia się zatem systemy słonowodne (morskie) i słodkowodne. Drugim czynnikiem klasyfikującym RAS jest temperatura wody. Morskie i słodkowodne RAS dzielą się na ciepłowodne i zimnowodne. Wyróżnia się zatem RAS przeznaczone do hodowli gatunków ciepłolubnych (temperatura wody $> 15^{\circ}\text{C}$) i zimnolubnych (temperatura wody $< 15^{\circ}\text{C}$) (Zakęś i Partyka 2013). Trzecie kryterium podziału RAS oparte jest na ich poziomie troficznym. Podobnie jak w klasyfikacji troficznej jezior wyróżnia się RAS oligo-, mezo- i eutroficzne (Malone i DeLosReyes 1997; tab. 1). *De facto* o trofii RAS decyduje intensywność żywienia podchowiwanych organizmów. Systemy oligotroficzne (najczęściej przeznaczone do przetrzymywania tarlaków i przeprowadzenia ich rozrodu) cechują się wysokiej jakości wodą. W mezotroficznych RAS prowadzona jest produkcja materiału obsadowego lub zarybieniowego. Stosowane są wysokie zagęszczenia obsad (do kilkudziesięciu kg w m^3). Eutroficzne RAS to urządzenia wykorzystywane do tuczu tolerancyjnych środowiskowo gatunków, w których zagęszczenia obsad sięgają kilkuset kg w m^3 .

Systemy RAS przeznaczone do produkcji materiału zarybieniowego szczupaka można zaliczyć do RAS słodkowodnych (I kryterium), przeznaczonych do podchowu organizmów ciepłolubnych (II kryterium), w których woda posiada parametry charakterystyczne dla RAS mezotroficznych (III kryterium; tab. 1).

Projekt pt.: Program Doradztwa Rybackiego „Rozradzanie, wylęgarnictwo, podchów ryb i zarybianie”; ETAP I; Akronim „DORADZTWO”; Nr Umowy: **00002-6521.2-OR1400003/18/20** z dnia **16.01.2020 r.**

Tabela 1. Troficzna klasyfikacja systemów recyrkulacyjnych (RAS) (za Malone i DeLosReyes 1997, Zakęś i Partyka 2013)

Wskaźnik jakości wody	Typ troficzny RAS			Uwagi
	oligotroficzny	mezotroficzny	eutroficzny	
Koncentracja tlenu (mg O ₂ l ⁻¹)	> 6,0	> 5,0	> 4,0	niski poziom implikuje stres, redukuje wzrost ryb, zwiększa śmiertelność
Dwutlenek węgla (mg CO ₂ l ⁻¹)	< 1,0	< 5,0	< 25,0	wysoka koncentracja wpływa na procesy respiracyjne, obniża pH do poziomu hamującego rozwój bakterii nitryfikacyjnych
Całkowity azot amonowy (mg CAA l ⁻¹)	< 0,3	< 1,0	< 2,0	toksyczny (forma niezdisocjowana (NH ₃ -N)) w wysokich koncentracjach obniża tempo wzrostu ryb, działa stresotwórczo, skutkuje podwyższoną śmiertelnością
Azotyny (mg NO ₂ -N l ⁻¹)	< 0,3	< 1,0	< 2,0	toksyczne, powoduje stres respiracyjny (methemoglobinemia), skutkuje podwyższoną śmiertelnością
Azotany (mg NO ₃ -N l ⁻¹)	< 50	< 200	< 500	toksyczny dla niektórych morskich gatunków
Zawiesina ogólna (mg l ⁻¹)	< 5,0	< 15,0	< 25,0	może powodować dysfunkcje skrzeli
Mętność (NTU)	< 1,0	< 10,0	< 100	wysoka mętność może utrudniać profilaktykę chorób, może być symptomem złej pracy filtra mechanicznego i hamować proces nitryfikacji w biofiltrach RAS
Odczyn wody pH	> 7,0	> 7,0	> 7,0	niskie pH może działać hamująco na rozwój bakterii nitryfikacyjnych
Alkaliczność (mg CaCO ₃ l ⁻¹)	> 80,0	> 80,0	> 80,0	niska alkaliczność może hamować rozwój bakterii nitryfikacyjnych w biofiltrze

2. Czynniki ograniczające produkcję ryb w RAS mezotroficznych

Wśród czynników ograniczających produkcję ryb w systemach RAS jako pierwszy należy wymienić poziomy tlenu. Podchowywane ryby zużywają go bowiem na procesy metaboliczne (anaboliczne i kataboliczne). Do konsumentów tlenu należą też bakterie nitryfikacyjne, które zużywają go na procesy utleniania amoniaku do azotanów. Poziom tlenu w RAS redukowany jest więc przez ryby (baseny podchowowe), a następnie w filtrze biologicznym przez bakterie nitryfikacyjne. Nasycenie tlenu w wodzie po przejściu przez baseny z rybami i przez biofiltr ulega obniżeniu do 60%, a często nawet poniżej. Należy jednak mieć na względzie, że bezpieczny poziom tlenu, warunkujący prawidłowy przebieg procesów metabolicznych ryb, ich wzrost, kondycję i status zdrowotny, w RAS mezotroficznych nie powinien spadać poniżej 5 mg l⁻¹ (50-60% nasycenia – w zależności od temperatury wody; tab. 1, 2).

Tabela 2. Koncentracja tlenu w wodzie słodkiej przy 100% nasyceniu (uwzględnione temperatury wody stosowane w czasie podchowu szczupaka)

Temperatura wody (°C)	Koncentracja tlenu (mg O ₂ l ⁻¹)
15,0	10,15
16,0	9,95
17,0	9,74
18,0	9,54
19,0	9,35
20,0	9,17
21,0	8,99
22,0	8,83
23,0	8,68
24,0	8,53

Dla hodowcy istotna jest wartość tlenu dyspozycyjnego (O₂dysp), którą otrzymujemy odejmując od koncentracji tlenu odnotowanej w wodzie na dopływie do basenów z rybami wartość odpowiadającą np. 50% nasyceniu wody tlenem w danej temperaturze. Przykładowo, w temperaturze wody 20°C, wartość O₂dysp wyniesie 4,58 mg l⁻¹, zakładając 100% nasycenie wody na wejściu.

$$4,58 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1} = 9,17 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1} (100\% \text{ nasycenie}) - 4,59 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1} (50\% \text{ nasycenie})$$

Poziom tlenu w basenach podchowowych regulujemy zmieniając wielkość dopływu wody do basenów podchowowych, czyli częstotliwość jej wymiany w danej jednostce czasu (min lub h). Należy, też pamiętać, że ilość tlenu dyspozycyjnego maleje wraz ze wzrostem temperatury wody (obniża się jego rozpuszczalność). Dodatkowo, wraz ze wzrostem temperatury zwiększa się metabolizm ryb, co skutkuje wzrostem ich zapotrzebowania tlenowego (np. Zakęś 1999, 2017, Zakęś i Karpiński 1999). Warto też pamiętać, że konsumpcja tlenu ryb karmionych jest zazwyczaj dwukrotnie wyższa niż ryb głodzonych (Zakęś i in. 2007) i obniża się (w przeliczeniu na jednostkę masy ciała) ona wraz ze wzrostem ryb (Zakęś 2017).

W RAS mezotroficznych wskazane jest utrzymywanie 100% nasycenia wody tlenem na wejściu do basenów podchowowych. Czasami zalecane jest niewielkie przesycenie wody tlenem, tj. do 120% nasycenia. Konieczne jest więc wzbogacenie wody potehnologicznej (po przejściu przez baseny podchowowe) w tlen. Można to uzyskiwać stosując jej napowietrzanie, np. przez aeratory. Jednak w takim przypadku zazwyczaj uzyskujemy ok. 90% nasycenia wody tlenem. Chcąc uzyskać wyższą saturację (100-120%) konieczne jest dodawanie do wody czystego tlenu. Może być on dostarczany do RAS w formie ciekłej (z butli) lub wytwarzany w wytwornicy tlenu (urządzenie peryferyjne RAS). Uzyskiwanie przesycenia wody tlenem wymaga mieszania wody i tlenu pod ciśnieniem. Używa się do tego celu np. tzw. stożków tlenowych. Uzdatnianie wody potehnologicznej w RAS nie jest zadaniem trudnym, ważne jest prowadzenie bieżącego monitoringu nasycenia tlenem w różnych częściach RAS (np. na dopływie i odpływie z basenów podchowowych, przed wyjściem i na wyjściu z biofiltra).

Drugim czynnikiem ograniczającym produkcję ryb w RAS są związki azotu. W przypadku RAS mezotroficznych są to całkowity azot amonowy ($\text{CAA} = \text{NH}_4^+ - \text{N} + \text{NH}_3 - \text{N}$) i azotyny ($\text{NO}_2 - \text{N}$). Dalsza intensyfikacja produkcji, poprzez dodatkowe natlenianie wody, ograniczona jest bowiem w pewnym momencie wzrostem koncentracji metabolitów, szczególnie CAA. Ryby słodkowodne należą do organizmów amonotelicznych, co oznacza, że azot amonowy jest głównym produktem metabolizmu

białek przez nie wydalany. Składa się z on formy niezdisocjowanej ($\text{NH}_3\text{-N}$) i zdysocjowanej ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), która jest 300 - 400 razy mniej toksyczna od formy pierwszej. Udział $\text{NH}_3\text{-N}$ w CAA zależy od odczynu wody pH i jej temperatury (tab. 3). Toksyczność amoniaku zależy też od koncentracji tlenu w wodzie (Timmons i in. 2002, Park i in. 2007).

Tabela 3. Procentowy udział niezdisocjowanej formy amoniaku w zależności od pH i temperatury wody

pH	Temperatura wody (°C)	
	15	20
7,0	0,27	0,40
7,2	0,43	0,63
7,4	0,68	0,99
7,6	1,07	1,56
7,8	1,69	2,45
8,0	2,65	3,83
8,2	4,14	5,94
8,4	6,41	9,09

Ryby w RAS żywione są wysokoenergetycznymi i wysokobiałkowymi paszami komponowanymi. Wydalają więcej CAA niż w przypadku pobierania pokarmu naturalnego. W RAS mezotroficznym stosunkowo szybko obserwowany jest istotny wzrost koncentracji CAA w wodzie, co stresuje ryby. Może też skutkować zmianami chorobotwórczymi (np. martwica skrzeli [branchionekroza] i/lub zmiany patologiczne w narządach wewnętrznych), powodować obniżenie tempa wzrostu, a w ostateczności śnięcia.

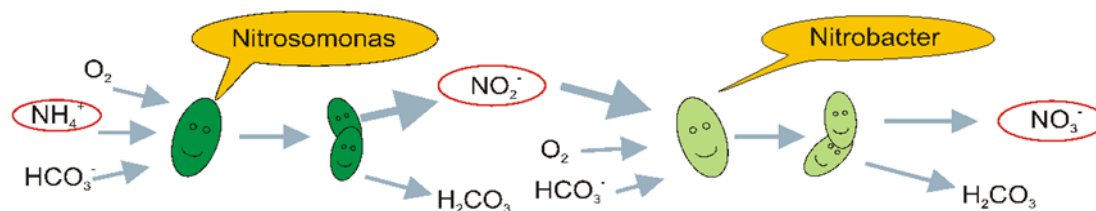
Niebezpieczne dla ryb są również azotyny ($\text{NO}_2\text{-N}$), które powstają w wyniku biologicznego utleniania amoniaku (tab. 1). Niebezpieczne dla ryb koncentracje azotynów występują głównie w RAS (Antychowicz 2007). Choroba przez nie

powodowana nazywana jest methemoglobinemią. Hemoglobina (Hb) jest utleniana przez $\text{NO}_2\text{-N}$ do methemoglobiny (MHb). Przyczynia się to do utraty zdolności hemoglobiny do przyłączania i przenoszenia tlenu przez krew. Możliwości transportu tlenu przez krew do tkanek organizmu są ograniczone i występują śnięcia ryb. Co istotne, kompleks MHb jest chemicznie trwały i nie ulega biokonwersji. Objawy kliniczne tej choroby to zmiana zabarwienia skrzelii na kolor ciemnoczerwony. Najbardziej rzucającym się w oczy objawem methemoglobinemii jest jednak ciemnienie powłok ciała ryb. Do usuwania CAA i $\text{NO}_2\text{-N}$ w RAS wykorzystywane są złoża biologiczne/biofiltry, w których zachodzi zjawisko biofiltracji (patrz rozdział niżej).

Trzecim w kolejności czynnikiem ograniczającym produkcję ryb w RAS jest dwutlenek węgla (CO_2), wydalany głównie przez ryby i bakterie zasiedlające biofiltr. W RAS mezotroficznych poziom CO_2 nie przekracza wartości krytycznych, ponieważ efektywność jego usuwania z wody pot technologicznej, np. w efekcie jej napowietrzania, jest wystarczająca. Turbulencje między pęcherzykami powietrza i cząsteczkami wody pozwalają na odprowadzenie gazów z wody. W przypadku RAS eutroficznych (tab. 1) niezbędne jest zainstalowanie tzw. komór/filtrów odgazowujących, których zadaniem jest usuwanie CO_2 i wolnego azotu N_2 .

3. Nitryfikacja w systemach RAS

W technologii RAS do usuwania amoniaku z wody pot technologicznej, a właściwie jego biochemicznego przekształcenia do mniej toksycznych form azotu (azotanów) wykorzystuje się proces nitryfikacji. Odpowiedzialne za niego są bakterie nitryfikacyjne (*Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp. i *Nitrospira* sp.). Wyróżnia się dwa etapy nitryfikacji. W I etapie namnażające się *Nitrosomonas* sp. przekształcają toksyczny CAA do również toksycznych azotynów ($\text{NO}_2\text{-N}$). Kiedy wyprodukują one wystarczającą ilość pokarmu dla bakterii II etapu nitryfikacji, czyli azotynów, zaczynają rozwijać się *Nitrobacter* sp. i *Nitrospira* sp., które toksyczne azotyny utleniają do mniej toksycznych azotanów (rys. 1) (Zakęś i in. 2015a).

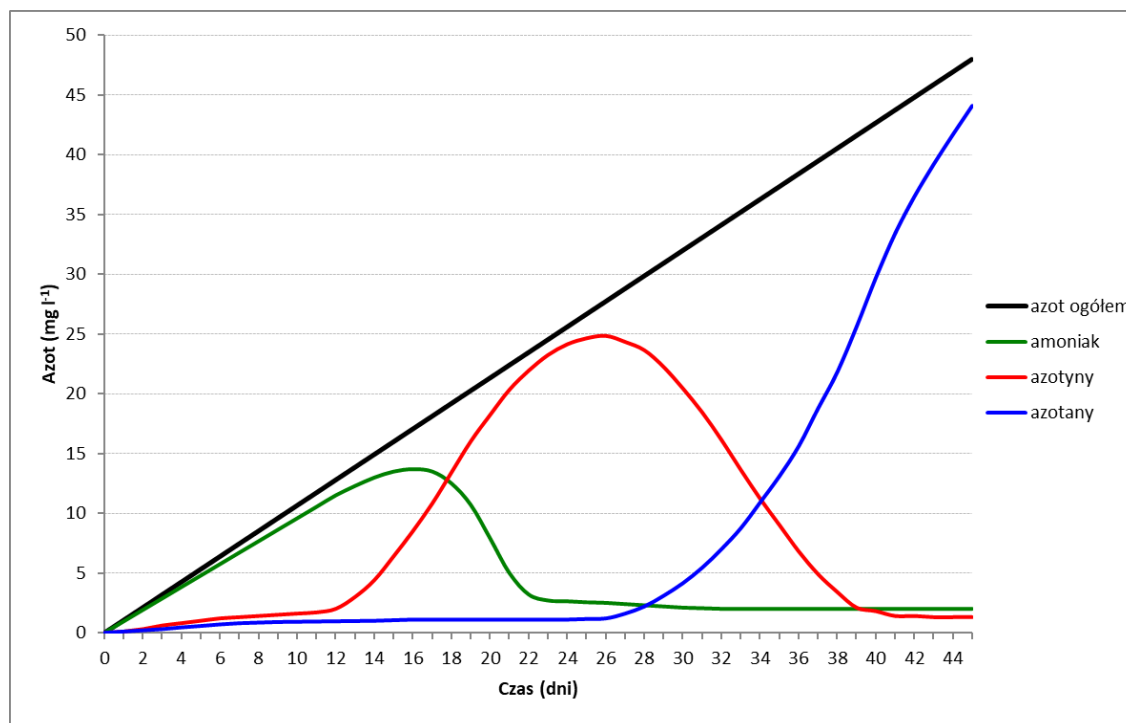


Rys. 1. Schemat procesu nitryfikacji zachodzącego w złożu biologicznym RAS (źródło: Akwarystyczne FAQ.pl)

Proces nitryfikacji wymaga znaczących ilości tlenu. Na utlenienie 1 mola CAA do azotanów potrzeba trzech moli tlenu, czyli na transformację 1 mg CAA do azotanów zużywane jest 4,6 mg tlenu. Wydalane jest ponad 5 mg dwutlenku węgla. Bakterie nitryfikacyjne są więc znaczącym konsumentem tlenu i wydają do wody istotne ilości CO_2 . Przy projektowaniu RAS trzeba więc brać pod uwagę nie tylko zapotrzebowanie tlenowe ryb i wydane przez nie metabolity, ale również efekty bytowania w RAS bakterii, które decydują o prawidłowym funkcjonowaniu całego systemu (Zakęś i Partyka 2013).

Bakterie nitryfikacyjne namnażają się jednak dość wolno. *Nitrosomonas* sp., w warunkach RAS, podwajają swoją liczebność po 26 godzinach, a *Nitrobacter* sp. po 60 godzinach. Przyjmuje się, że zamknięcie pełnego cyklu nitryfikacji w złożach biologicznych/biofiltrach trwa od 40 do 60 dni (rys. 2). Po tym okresie poziomy CAA i $\text{NO}_2\text{-N}$ osiągają wartości bezpieczne dla ryb i dopiero wtedy można obsadzać rybami baseny podchowowe wchodzące w skład RAS. Jak widać na rys. 2 I etap nitryfikacji ($\text{CAA} \rightarrow \text{NO}_2\text{-N}$) kończy się po 20 kilku dniach od rozpoczęcia pracy biofiltra, a II etap ($\text{NO}_2\text{-N} \rightarrow \text{NO}_3\text{-N}$) rozpoczyna się po ok. 14 dniach, a finalizowany jest po ok. 40 dniach.

Projekt pt.: Program Doradztwa Rybackiego „Rozradzanie, wylęgarnictwo, podchów ryb i zarybianie”; ETAP I; Akronim „DORADZTWO”; Nr Umowy: **00002-6521.2-OR1400003/18/20** z dnia **16.01.2020 r.**



Rys. 2. Schemat procesu przemian azotowych w czasie niewspomagane go dojrzewania złoża biologicznego będącego elementem RAS (Zakęś i in. 2015a).

Proces nitryfikacji, namnażanie bakterii nitryfikacyjnych, przebiega właściwie w temperaturze wody 10 - 35°C. Za optymalną temperaturę dla tego procesu uważa się 30°C (Bregnballe 2015). W przypadku rozruchu RAS wskazane jest utrzymywanie temperatury wody na poziomie ok. 20°C (Z. Zakęś, obs. własne). Istotny jest również odczyn wody pH. Niższe pH wpływa negatywnie na proces nitryfikacji. Przyjąć należy, że odczyn wody w RAS powinien się mieścić w przedziale od 7,0 do 8,0. Należy mieć na względzie, że w wyniku procesu nitryfikacji, przekształcania form azotu, wydalanany jest CO₂, który *notabene* produkowany jest również przez podchowywane ryby (rys. 1). Powoduje on zakwaszenie wody, obniżenie pH, co w konsekwencji może w pewnym momencie hamować proces nitryfikacji. Z drugiej strony podwyższone pH zwiększa koncentrację wolnego, toksycznego amoniaku (NH₃-N) (tab. 3). Właściwe pH wody w RAS powinno więc uwzględniać z jednej strony optymalne warunki do procesu

Projekt pt.: Program Doradztwa Rybackiego „Rozradzanie, wylęgarnictwo, podchów ryb i zarybianie”; ETAP I; Akronim „DORADZTWO”; Nr Umowy: **00002-6521.2-OR1400003/18/20** z dnia **16.01.2020 r.**

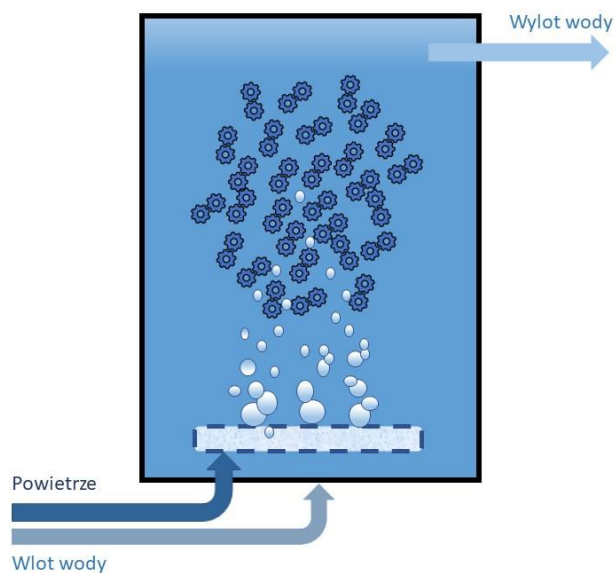
nitryfikacji (pracy biofiltra), a z drugiej bezpieczeństwo podchowrywanych ryb. Rekomendować więc należy utrzymywanie odczynu wody pH w zakresie 7,0-7,5.



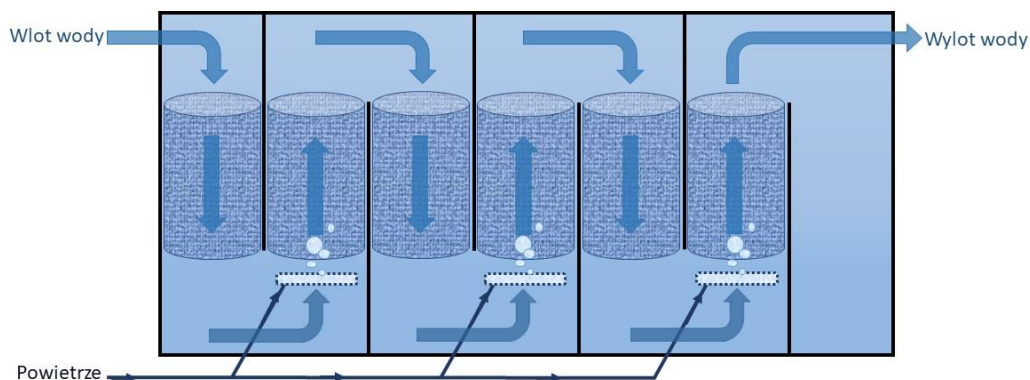
Fot. 1. Przykłady kształtek wykorzystywanych do wypełniania biofiltrów

Celem stworzenia dużej powierzchni do rozwoju bakterii nitryfikacyjnych we wnętrzach biofiltrów umieszcza się złożę, czyli różnego rodzaju kształtki (np. polietylenowe lub polipropylenowe) (fot. 1). W RAS stosowane są złoża ruchome (fluidalne) i nieruchome (rys. 3 i 4). W filtrze fluidalnym plastikowe kształtki poruszają się wewnątrz biofiltra, dzięki systemowi napowietrzania, którego wylot/dysze umieszczone są wewnątrz biofiltra (rys. 3). Filtry te mogą być w większym stopniu wypełnione złożem niż filtry ze złożem nieruchomym, przez które woda przepływa systemem laminarnym (rys. 4). Tym samym charakteryzują się one wyższą wydajnością,

Projekt pt.: Program Doradztwa Rybackiego „Rozradzanie, wylęgarnictwo, podchów ryb i zarybianie”; ETAP I; Akronim „DORADZTWO”; Nr Umowy: 00002-6521.2-OR1400003/18/20 z dnia 16.01.2020 r.



Rys. 3. Schemat biofiltra ze złożem fluidalnym



Rys. 4. Schemat biofiltra ze złożem nieruchomym

w przeliczeniu na m^3 objętości biofiltra. W przypadku kształtek fluidalnych uwagę należy zwrócić na ich ciężar właściwy (pływalność), który powinien wynosić poniżej $1,0 \text{ g cm}^3$. Istotne jest by powierzchnia kształtek w danej jednostce objętości była jak największa

(zalecane kształtki o wskaźniku $>500 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}$). W RAS mezotroficznych stosuje się głównie biofiltry wypełnione złożem fluidalnym. Wynika to chociażby z faktu, że zajmują one mniej powierzchni niż biofiltry ze złożem nieruchomym, co w przypadku RAS funkcjonujących „pod dachem” (hal podchowowych) ma duże znaczenie.

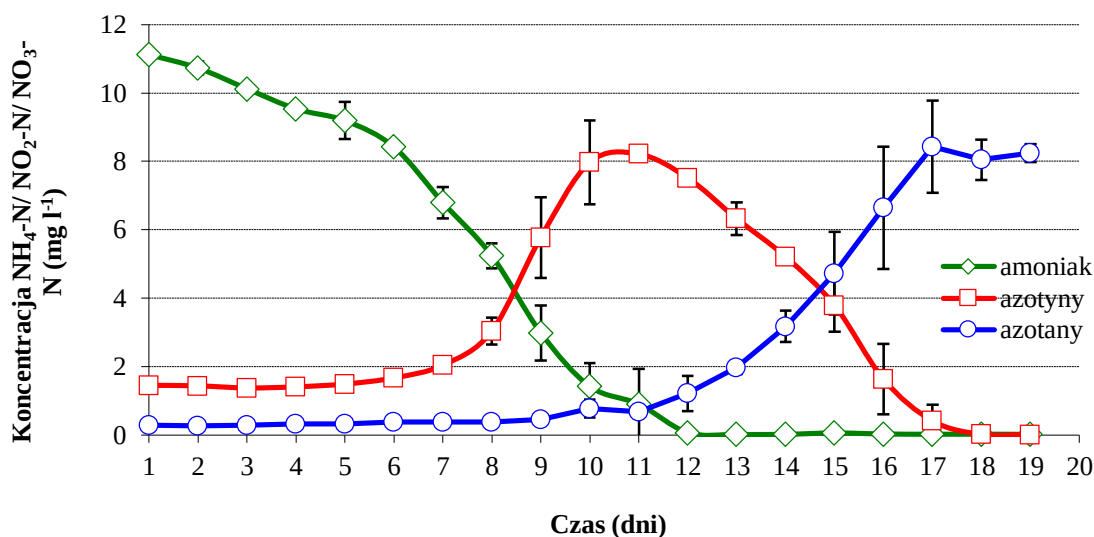
4. Uruchamianie biofiltra – wspomaganie procesu nitryfikacji

W przypadku rozruchu nowoskonstruowanego RAS, czy też urządzeń, które zostały gruntownie zdezynfekowane, jednym z istotniejszych zadań hodowcy jest odpowiednie wpracowanie złoża biologicznego/biofiltra. Czasami procedura ta nazywana jest jego dojrzewaniem. Pokróćce chodzi o to, by efektywność biofiltracji (nitryfikacji) zapewniała utrzymywanie w RAS poziomu CAA i $\text{NO}_2\text{-N}$ w przedziale wartości bezpiecznych dla podchowiwanych ryb (tab. 1). Tradycyjna metoda wpracowywania biofiltra jest długotrwała i zazwyczaj aktywacja pracy złoża trwa 40-60 dni. Celem dostarczenia amoniaku dla rozwijających się bakterii nitryfikacyjnych w basenach podchowowych RAS umieszcza się niewielkie obsady ryb i żywi się je restrykcyjnymi dawkami paszy komponowanej (Karpiński i in. 1999, Zakęś i in. 2015a). W komercyjnych podchowalniach, głównie z uwagi na aspekty ekonomiczne, dąży się do skrócenia czasu rozruchu RAS/złoża biologicznego. Przyspieszenie procesu dojrzewania biofiltra można osiągnąć w dwojaki sposób: (1) można przenieść do niego część złoża/wypełnienia z innego RAS, z już wpracowanym/dojrzałym złożem, (2) uruchamiany RAS można też przez pewien czas, w pewnym zakresie zasilać wodą z innego RAS, z wpracowanym już złożem. Oczywiście rozwiązania takie można stosować w danym obiekcie wyposażonym w kilka RAS. Ze względów sanitarnych, czy też weterynaryjnych nie można rekomendować przenoszenia złoża/wody pochodzącej z innych obiektów hodowlanych.

Za najbardziej bezpieczne można uznać zaszczepienie złoża biologicznego bakteriami nitryfikacyjnymi i jednocześnie dostarczenie do RAS mineralnych związków azotu (Zakęś i in. 2015a). Do zaszczepiania używa się dostępne na rynku preparaty bakteryjne stosowane np. w akwarystyce słono- i słodkowodnej. Istotne by producent deklarował, że zawierają one mikroorganizmy odpowiedzialne za proces nitryfikacji

Projekt pt.: Program Doradztwa Rybackiego „Rozradzanie, wylęgarnictwo, podchów ryb i zarybianie”; ETAP I; Akronim „DORADZTWO”; Nr Umowy: **00002-6521.2-OR1400003/18/20** z dnia **16.01.2020 r.**

(*Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp. i *Nitrospira* sp.). Preparaty te należy podawać do uruchamianego RAS zgodnie z zaleceniami producenta, najlepiej codziennie, aż do zakończenia II etapu nitryfikacji (Zakęś i in. 2015a). Dawkując preparat należy uwzględniać kubaturę danego RAS. Przed zaszczepieniem danego RAS powinien zostać on dokładnie wyczyszczony i zdezynfekowany. Szczególnie dotyczy to biofiltra i złoża biologicznego. Temperaturę wody należy utrzymywać na stabilnym poziomie, np. 20 °C. Po zaszczepieniu złoża do RAS należy dodać pożywkę dla rozwijających się bakterii nitryfikacyjnych. Są to sole azotowe: chlorek amonu ($\text{NH}_4\text{-Cl}$) i azotyn sodu ($\text{NaNO}_2\text{-N}$). Stężenia te mogą być na wysokim i optymalnym dla nitryfikatorów poziomie. Początkowe koncentracje, w przeliczeniu na jony amonowe (NH_4^+) i azotynowe (NO_2^-), powinny wynosić 15,0 NH_4^+ l^{-1} i 5,0 NO_2^- mg l^{-1} (Zakęś i in. 2015a). Analizy wody w zaszczepionym RAS należy przeprowadzać co 24 h (najlepiej o tym samym czasie), a próby wody pobierać na odpływie z biofiltra. Przykładowy przebieg procesu nitryfikacji, po zaszczepieniu i wprowadzeniu ww. stężeń soli azotowych obrazuje rys. 5 (Zakęś i in. 2015a). Należy też pamiętać, żeby w okresie rozruchu RAS zamknąć dolewki świeżej wody. Uzupełniać należy jedynie ubytki wody wynikające z jej parowania.



Rys. 5. Przebieg procesu nitryfikacji w RAS wyposażonych w typowe biofiltry fluidalne, w warunkach wspomaganie ich dojrzewania (wartości średnie $\pm$ SD) (Zakęś i in. 2015a).

W przypadku zobrazowanym na rys. 5 widoczny jest bardzo dynamiczny spadek koncentracji $\text{NH}_4\text{-N}$. W rezultacie I etap nitryfikacji zakończył się już 12 dnia po zaszczerpieniu złoza. Z kolei II etap nitryfikacji rozpoczął się od 7 dnia, a zakończył 18 dnia po rozpoczęciu procesu wspomagania dojrzewania złoza biologicznego (Zakęś i in. 2015a). Okres wspomagane go dojrzewania biofiltrów/RAS, w porównaniu do tradycyjnej metody rozruchu biofiltrów został istotnie skrócony (40-60 dni przy tradycyjnej procedurze, 18 dni przy zaszczerpieniu złoza). Czas wpracowywania złoza może zależeć od typu biofiltra i rodzaju jego wypełnienia. W niektórych przypadkach zamknięcie II etapu nitryfikacji osiągnęto już po 12 dniach od zaszczerpienia biofiltra (Zakęś i in. 2015a). Co oznacza, że po tym czasie można już było bezpiecznie obsadzać rybami baseny podchowowe wchodzące w skład RAS i prowadzić prace *stricto* hodowlane.

5. Obsadzanie basenów podchowowych RAS wylęgiem szczupaka

Zasób wiedzy o podchowie larw i narybku szczupaka w RAS nie jest zbyt bogaty. Wyniki prac badawczych wskazują jednak, że materiał zarybieniowy szczupaka można z powodzeniem podchowować w tego rodzaju urządzeniach, pod warunkiem spełnienia kilku istotnych warunków (Kucska i in. 2005, Szczepkowski 2009, Bondarenko i in. 2013, Szczepkowski i Szczepkowska 2011, 2013, 2016, Zakęś i Szczepkowski 2015, Szczepkowski in. 2016, Zakęś i in. 2018, Zakęś 2020).

Obsadzając RAS wylęgiem szczupaka należy przestrzegać warunków bioasekuracji. Konieczne jest przeprowadzenie obserwacji parazytologicznych. Badania zlecone służbom weterynaryjnym powinny przede wszystkim dotyczyć obecności pierwotniaków (np. *Ichthyophthirius multifiliis*, *Ichthyobodo* sp., *Chilodonella* sp., *Trichodina* sp.). Larwy szczupaka powinny być wyrównane wielkościowo. Pochodzić od samic o zbliżonej wielkości i być w tym samym wieku (kluć się tego samego dnia). Temperatura wody w basenach podchowowych RAS powinna być zbliżona do temperatury wody w basenach/sadzykach, w których przetrzymywano larwy tuż po ich wykluciu ($\pm 1,0^\circ\text{C}$). Należy jednak zaznaczyć, że larwy szczupaka lepiej znoszą

przenoszenie do cieplejszej wody i w takim przypadku temperatura w RAS podchowowych może być wyższa nawet o 2,0 °C.

Do podchowu larw szczupaka rekomendować należy baseny rotacyjne, o objętości od kilkuset litrów do 3 m³. Obsługa większych basenów może sprawiać istotne problemy. W rezultacie utrudnione może być utrzymywanie odpowiednich warunków sanitarnych w RAS. Ważna jest ich głębokość zalewu, która powinna wynosić 0,7-1,0 m (Szczepkowski i in. 2006, 2016). Nieistotny jest kolor ścian wewnętrznych basenów podchowowych (Szczepkowski i Szczepkowska 2011).

Należy stosować niewielki przepływ wody przez baseny podchowowe. Przykładowo, w basenach o kubaturze 1,0 m³ powinien on wynosić 9,0-10,0 l min⁻¹, co zapewnia pełną wymianę wody po ok. 100 min. Konieczne jest też stosowanie wysokich zagęszczeń obsad. Zalecana obsada mieści się w przedziale od 50 do 100 tys. larw m⁻³ (50-100 larw l⁻¹) (Szczepkowska i Szczepkowski 2004, Szczepkowski 2009, Zakęś i in. 2015b). Stosowanie wysokich zagęszczeń obsad redukuje straty spowodowane kanibalizmem szczupaka. Zmniejsza skłonność larw/narybku tego gatunku do wzajemnego atakowania się.

Wylęg i narybek szczupaka toleruje dość szeroki zakres temperatury wody. W czasie podchowu w RAS można stosować temperaturę w przedziale 14-24 °C (Szczepkowski 2009). Za optymalną dla wzrostu stadiów larwalnych i młodocianych uznaje się 24°C. Do podchowu materiału zarybieniowego szczupaka w RAS zalecana jest jednak temperatura 16-20°C (Szczepkowski 2009). Nieuzasadnione jest używanie temperatury wody < 14°C, gdyż w takich warunków zdecydowanie mniej efektywnie żerują i zwiększa się ryzyko pogorszenia warunków sanitarnych. Ważne są warunki świetlne. Stosowanie całodobowego oświetlenia mniej stresuje ryby (unikać należy nagłych zmian warunków świetlnych). Odpowiednie natężenie oświetlenia należy dobrać obserwując behavior wylęgu, jego rozproszenie w basenie podchowowym i żerowanie. Za odpowiednie należy uznać takie warunki świetlne, w których larwy przebywają przy powierzchni wody w basenie podchowowym i aktywnie chwytają drobiny paszy.

6. Żywienie szczupaka w RAS

Zaletą szczupaka, oprócz niewygórowanych wymagań termicznych, są niezbyt specyficzne wymagania co do składu chemicznego i komponentowego pasz. Gatunek ten z powodzeniem można żywić paszami opracowanymi dla ryb łososiowatych. Co istotne, szczupak w początkowej fazie podchowu nie wymaga stosowania naupliusów solowca (*Artemia* sp.), w odróżnieniu np. od sandacza. Podawanie paszy należy rozpocząć zaraz po obsadzeniu basenów podchowowych RAS wylęgiem szczupaka. W pierwszym dniu podchowu dobową dawkę paszy wynosić powinna ok. 10% biomasy ryb, a drugiego dnia zalecane jest jej zwiększenie do 20% biomasy ryb. W miarę wzrostu ryb jest ona stopniowo redukowana (tab. 4).

Tabela 4. Zalecane dobowe dawki paszy w czasie podchowu szczupaka wylęgu/narybku szczupaka w RAS

Masa ciała ryb (g)	Dawka paszy (% masy ciała d ⁻¹)
0,01	20,0
0,1	12,0
0,2	10,0
0,5	5,0
1,5	4,0
5,0	3,0
7,0	2,8
10,0	2,2
15,0	1,9

Tabela 5. Zalecana granulacja pasz komponowanych w czasie podchowu wylęgu i narybku szczupaka w RAS

Masa ciała ryb (g)	Rozmiar granul (mm)
0,01	0,2 - 0,3
0,04	0,3 - 0,5
0,1	0,5 - 1,0
0,5	0,8 - 1,4
1,0	0,9 - 1,6
1,5	1,3 - 2,0
2,5	1,7 - 2,2
3,0	2,0
5,5	2,2
10,0	2,5
15,0	3,0

Ważne jest dostosowanie granulacji pasz do wielkości ryb. W pierwszych dniach podchowu należy stosować drobną paszę o wielkości granul 0,2-0,3 mm (tab. 5). W momencie rozpoczynania żywienia larw wielkość granul powinna się zawierać w przedziale 0,2-0,5 mm.

Paszę należy podawać w małych porcjach, w systemie całodobowym. Nieuniknione jest więc stawianie karmników. Na 1 m² powierzchni lustra wody basenu podchowowego powinien przypadać 1 karmnik. Mogą to być tzw. karmniki taśmowe lub inne zaprojektowane do podawania małych porcji paszy, w krótkich odstępach czasowych (Szczepkowska i Szczepkowski 2018). W przypadku podchowu szczupaka w RAS uzyskuje się bardzo korzystne wartości współczynników pokarmowych pasz (FCR). Ich wartości nie powinny przekraczać wartości 1,0, a w pierwszych tygodniach podchowu powinny mieścić się w przedziale 0,5-0,8.

7. Inne zabiegi/manipulacje w czasie podchowu szczupaka w RAS

W czasie podchowu larw i narybku bezwzględnie konieczne jest codzienne, dokładne czyszczenie basenów podchowowych. Usuwana powinna być niezjedzona pasza, zalegająca na dnie basenów podchowowych, odchody ryb i martwe larwy. Podczas tej manipulacji wraz z lewarowanym osadem zasysany może być najslabszy, nieżerujący wylęg. Można go przenieść z powrotem do basenów podchowowych, ale w zdecydowanej większości przypadków nie podejmują one żerowania. Nadmienić należy, że zazwyczaj liczba tego rodzaju osobników nie jest znacząca. Można założyć, że rutynowa obsługa RAS, podczas podchowu 500 tys. larw/narybku szczupaka jednej osobie zajmuje około 2 godzin dziennie (M. Szczepkowski, dane niepublik.)

Bezwzględnie konieczne jest prowadzenie codziennych (najlepiej o tej samej porze; np. 4-5 godzin po czyszczeniu basenów podchowowych) pomiarów jakości wody RAS. Podstawowe parametry wody nie powinny spadać poniżej wartości zadeklarowanych dla RAS mezotroficznych (tab. 1). Wskazane są też cotygodniowe obserwacje stanu zdrowotnego podchowowanego materiału, głównie w kontekście obecności pasożytów zewnętrznych. Próby ryb (co najmniej 5 osobników) należy pobrać z każdego basenu podchowowego. Do badań należy wybierać osobniki w słabszej kondycji, na których znalezienie ektopasożytów jest bardziej prawdopodobne. Szczególną uwagę należy zwrócić na skrzela i skórę, przy nasadach płetw piersiowych i brzusznych.

Na bieżąco należy określać i odnotowywać straty ryb w czasie podchowu. Monitorować też należy wzrost ryb. Średnią masę ciała ryb określamy przyżyciowo. Odławiamy i odliczamy np. próbę 50 ryb i ważymy je w misce ze starowaną wodą. Wskazane jest pobranie minimum 3 takich prób. Znając liczbę ryb w basenie (znana jest początkowa obsada i straty w czasie podchowu) i ich średnią masę osobniczą łatwo można obliczyć ich biomasę. Metoda ta, aczkolwiek nie bardzo precyzyjna, do celów hodowlanych jest wystarczająca. Dane te powinny być wykorzystywane do szacowania dobowych racji pokarmowych w danym etapie podchowu. W przypadku, gdy konieczne jest przeprowadzenie bardziej precyzyjnych pomiarów ryby należy zważyć indywidualnie. W takiej sytuacji pobrany materiał (np. 10 osobników szczupaka)

usypiamy w wodnym roztworze MS-222 (zalecana dawka anestetyku 50-100 mg l⁻¹). Narybek szczupaka w stan anestezji (temperatura wody 16-22°C) wchodzi po 2 min. Ryby w roztworze anestetyku nie należy przetrzymywać dłużej niż 10 min. Po pomiarach umieszczamy je w pojemniku z dobrze natlenioną wodą. Po odpiciu można je z powrotem wypuścić do basenów podchowowych.

W przypadku obsadzenia basenów RAS wyrównanym wielkościami wylęgiem, do osiągnięcia wielkości około 2,5 cm, nie jest konieczne sortowanie ryb i zmniejszanie zgęszczenia obsad. W sytuacji zaobserwowania pokaleczonych osobników szczupaka konieczne jest jego sortowanie. Można zastosować tzw. sortownice kołyskowe. Wymienne wkłady mają szczeliny 2,5; 3,5; 5,0; 8,0; 10,0; 12,0; 14,0; 16,0; 18,0 i 20,0 mm. Można używać też tzw. sortownic szczelinowych (wielkość szczelin 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 6,0 mm). Przed sortowaniem należy ryby przegłodzić.

Zasadniczym celem produkcji ryb w RAS mezotroficznych jest odpowiedniej witalności materiał zarybienny. Istotne jest odpowiednie przygotowanie materiału z RAS do transportu i zarybień. Czas głodzenia zależy od wielkości ryb, zakładanego czasu transportu i temperatury wody. Narybek o masie ciała 1-2 g można głodzić przez 12 godzin, a ryby większe wymagają dłuższego głodzenia (do 24 h). W przypadku krótkiego przewozu ryb (do 3 h) wystarczające jest 12 godzinne głodzenie, a w sytuacji zaistnienia konieczności wielogodzinnego transportu konieczne jest dłuższe przetrzymywanie ryb bez karmienia (do 24 h). Przed transportem temperaturę wody w RAS należy dostosować do temperatury wody panującej w zarybianych zbiornikach, czy też stawach. Może ona różnić się od tej docelowej nie więcej niż o 2,0 °C (Zakęś i in. 2015b). Można przyjąć, że bezpieczne jest obniżanie temperatury wody w tempie 2 °C h⁻¹. Czas aklimacji ryb, w przypadku, gdy konieczne są istotniejsze zmiany temperatury (o kilka stopni), należy rozłożyć na 24 godziny (stopniowo zmieniając temperaturę wody co 1-2 h), a nawet rozciągnąć go do 3 dni (Zakęś i in. 2015b). W przypadku transportu narybku szczupaka doskonale sprowadza się transport w workach polietylenowych z tlenem. W przypadku krótszego czasu transportu, do 2 h, w standardowej wielkości worku (20 l wody + 20 l tlenu) można umieścić do 1,5 kg narybku. Natomiast, gdy czas przewozu jest krótszy od 1,0 h, taki worek można załadować nawet 2,0 kg narybku szczupaka.

8. Zakładane efekty podchowu materiału zarybieniewego szczupaka w RAS

Efekty podchowu narybku szczupaka w RAS zależą głównie od czasu podchowu. Wyróżnić można podchów krótko-, średnio- i długookresowy. W przypadku pierwszego z nich ryby podchowujemy do 2 tygodni. Produkowany materiał po tym czasie osiąga długość całkowitą Lt 2,0-3,0 cm i masę ciała 0,10-0,15 g. Przeżywalność obsad, przy wyjściowym zagęszczeniu obsad 50-100 larw l⁻¹, mieścić się powinna w przedziale od 60 do 90%, a współczynnik pokarmowy paszy (FCR) 0,50-0,75. Podchów średniookresowy trwa 4-5 tygodni. Produkowany materiał to narybek o Lt 4,0-6,0 cm i masie ciała 1,0-2,0 g. Wskaźnik przeżywalności, przy wyjściowym zagęszczeniu obsad 50-100 larw l⁻¹, osiąga wartość 30-50%, a FCR 0,5-0,6. W przypadku dłuższego czasu podchowu szczupaka w RAS (7-8 tygodni lub dłuższego) uzyskać można narybek o Lt 8,0-12,0 cm (lub większy) i masie ciała 5,0-10,0 g (lub większej)). Przeżywalność obsad, przy wyjściowym zagęszczeniu obsad 50-100 larw l⁻¹, powinna wynosić 20-30%, a FCR 0,8-1,0.

9. Literatura

- Antychowicz J. 2007 – Choroby ryb śródlądowych – Wyd. PWRiL, Warszawa, 447 s.
- Badiola M., Mendiola D., Bostock J. 2012 – Recirculating aquaculture systems (RAS) analysis: main issues on management and future challenges – Aquaculture Engineering 51: 26-35.
- Bondarenko V., Křišťan J., Švinger V., Policar T. 2013 – Reproduction and rearing of advanced northern pike (*Esox lucius* L.) fry – Practical handbook FFWP USB, Nr 144, 43 s.
- Bregnballe J. 2015 – A guide to recirculation aquaculture. An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems – FAO and EUROFISH, 95 s.
- Karpiński A., Szkudlarek M., Zakęs Z. 1999 – Nityfikacja w układach recyrkulacyjnych. Praktyczne uwagi o dojrzewaniu filtra biologicznie aktywnego – Komunikaty Rybackie 3: 11-14.

- Kucska B., Müller T., Sari J., Bodis M., Bercsenyi M. 2005 – Successful growth of the pike fingerlings (*Esox lucius* L.) on pellet at artificial condition – *Aquaculture* 246: 227-230.
- Malone R.F, DeLosReyes A.A., Jr. 1997 – Categories of recirculating aquaculture systems – W: *Advances in aquacultural engineering* (Red.) M.B. Timmons, T. Losordo. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, New York: 197-208.
- Park S., Wookeun B., Jinwook C., Seung-Cheon B. 2007 – Empirical model of the pH dependence of the maximum specific nitrification rate – *Process Biochemistry* 42: 1671-1676.
- Szczepkowska B., Szczepkowski M. 2004 – Wpływ zagęszczenia obsady na wyniki wychowu narybku szczupaka (*Esox lucius*) – *Komunikaty Rybackie* 1: 1-3.
- Szczepkowska B., Szczepkowski M. 2018 – Wykorzystanie nowego typu karmnika w podchowalni ryb – W: *Wylęgarnictwo i podchow ryb oraz raków* (Red.) Z. Zakęś, K. Demska-Zakęś. Wyd. IRS, Olsztyn: 281-289.
- Szczepkowski M. 2009 – Impact of selected abiotic and biotic factors on the results of rearing juvenile stages of northern pike (*Esox lucius* L.) in recirculating systems – *Archives of Polish Fisheries* 17: 107-147.
- Szczepkowski M., Szczepkowska B. 2011 – Wpływ koloru wewnętrznych ścian basenów na wyniki podchowu juwenalnego szczupaka (*Esox lucius*) – W: *Nowe gatunki w akwakulturze - rozród, podchów, profilaktyka* (Red.) Z. Zakęś, K. Demska-Zakęś, A. Kowalska. Wyd. IRS, Olsztyn: 153-160.
- Szczepkowski M., Szczepkowska B. 2013 – Podchów szczupaka w warunkach kontrolowanych – W: *Zrównoważone korzystanie z zasobów rybackich na tle ich stanu w 2012 roku* (Red.) M. Mickiewicz. Wyd. IRS, Olsztyn: 117-126.
- Szczepkowski M., Szczepkowska B. 2016 – Podchów narybku letniego szczupaka w basenach jako metoda alternatywna wobec produkcji wylęgu żerującego – W: *Rybactwo i wędkarstwo w 2015 roku* (Red.) M. Mickiewicz, A. Wołos. Wyd. IRS, Olsztyn: 141-149.

- Szczepkowski M., Wunderlich K., Szczepkowska B. 2006 – Podchów młodocianych stadiów szczupaka (*Esox lucius*) w różnych typach basenów – W: *Rozród, podchów, profilaktyka ryb karpiowatych i innych gatunków* (Red.) Z. Zakęś, K. Demska-Zakęś, J. Wolnicki. Wyd. IRS, Olsztyn: 301-305.
- Szczepkowski M., Zakęś Z., Szczepkowska B. 2016 – Wykorzystanie materiału zarybieniowego produkowanego w systemach recyrkulacyjnych do zarybień – W: *Użytkownik wędkarski 2016. Rola gospodarki wędkarskiej na wodach PZW w świetle zasad zrównoważanego rozwoju* (Red.) M. Mizieliński. Wyd. „Wieś jutra” Sp. z o.o., Warszawa: 161-171.
- Timmons M.B., Ebeling J.M., Wheaton F.W., Summerfelt S.T., Vinci B.J. 2002 – Recirculating aquaculture systems, 2nd Edition – Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, USA, NRAC Publication, 800 s.
- Zakęś Z. 1999 – Oxygen consumption and ammonia excretion of pikeperch, *Stizostedion lucioperca* (L.) reared in a water recirculation system – Archives of Polish Fisheries 7, 55 s.
- Zakęś Z. 2017 – Chów i hodowla sandacza – Wyd. IRS, Olsztyn, 212 s.
- Zakęś Z. 2020 – Systemy recyrkulacyjne szansą rozwoju akwakultury zachowawczej – W: *Innowacyjna i tradycyjna produkcja ryb w Polsce* (Red.) A. Kowalska, A. Wołos. Wyd. IRS, Olsztyn: 55-70.
- Zakęś Z., Karpiński A. 1999 – The influence of water temperature on oxygen consumption and ammonia excretion of juvenile pikeperch, *Stizostedion lucioperca* (L.), reared in a recirculating system – Aquaculture Research 30: 109-114.
- Zakęś Z., Partyka K. 2013 – Systemy recyrkulacyjne - możliwości wykorzystania w produkcji materiału zarybieniowego ryb jeziorowych – W: *Zrównoważone korzystanie z zasobów rybackich na tle ich stanu w 2012 roku* (Red.) M. Mickiewicz. Wyd. IRS, Olsztyn: 103-115.
- Zakęś Z., Stawecki K., Pyka J. 2015a – Wspomaganie dojrzewania biofiltrów w systemach recyrkulacyjnych – W: *Podchowy organizmów wodnych - osiągnięcia, wyzwania, perspektywy* (Red.) Z. Zakęś, K. Demska-Zakęś, A. Kowalska. Wyd. IRS, Olsztyn: 11-22.

Projekt pt.: Program Doradztwa Rybackiego „Rozradzanie, wylęgarnictwo, podchów ryb i zarybianie”; ETAP I; Akronim „DORADZTWO”; Nr Umowy: **00002-6521.2-OR1400003/18/20** z dnia **16.01.2020 r.**

Zakęś Z., Szczepkowski M. 2015 – Systemy recyrkulacyjne narzędziem aktywnej ochrony ryb drapieżnych – W: *Stan rybactwa śródlądowego w Polsce*. Wyd. PTR, Poznań: 17-22.

Zakęś Z., Szczepkowski M., Demska-Zakęś K., Jesiołowski M. 2007 – Oxygen consumption and ammonia excretion by juvenile pike, *Esox lucius* L. – Archives of Polish Fisheries 15: 79-92.

Zakęś Z., Szczepkowski M., Kapusta A., Rożyński M., Stawecki K., Pyka J., Szczepkowska B., Wunderlich K., Kozłowski M., Kowalska A., Hopko M. 2015b – Z akwakultury do natury. Opracowanie alternatywnych metod zarządzania rybołówstwem drapieżnych ryb jeziorowych (Red.) Z. Zakęś, M. Szczepkowski. Wyd. IRS, Olsztyn, 224 s.

Zakęś Z., Szczepkowski M., Rożyński M., Kozłowski M., Szczepkowska B., Kapusta A., Stawecki K., Szczerbowski A., Piotrowska I. 2018 – Wylęgarnictwo a gospodarka rybicka rybami drapieżnymi w wodach otwartych – W: *Działania prośrodowiskowe w racjonalnej gospodarce rybackiej* (Red.) A. Wołos. Wyd. IRS, Olsztyn: 9-26.