

Systemy gospodarowania wodą w hodowli pstrąga jako czynnik warunkujący jakość wód rzecznych

Marcin Sidoruk

*Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska*

Wstęp

Rybackstwo pstrągowe wymaga dokładnej znajomości warunków produkcji, wiedzy o czynnikach chemicznych i biologicznych obecnych w środowisku. Planując określoną technologię chowu, należy uwzględniać nie tylko możliwości technologiczne i opłacalność produkcji, lecz także wpływ systemu gospodarowania wodą na środowisko przyrodnicze.

Dynamiczny rozwój akwakultury sprawia, że ma ona coraz większy wpływ na stan czystości wód powierzchniowych. Podczas chowu ryb powstają zanieczyszczenia rozpuszczalne w wodzie, które w wysokiej koncentracji stanowić mogą poważne zagrożenie dla środowiska wodnego. Głównym źródłem zanieczyszczenia wód w stawach są odchody ryb, wydaliny i resztki niepobranej i niestrawionej paszy. Zanieczyszczenia wód w stawach chowu ryb mają wpływ na rozwój w nich organizmów, w tym niekorzystnych dla bytujących w nich ryb oraz dla organizmów odbiornika wód zrzucanych ze stawów. [BIENIARZ i in. 2003].

Gospodarka stawowa wymaga prowadzenia określonej hodowli bądź chowu ryb z jednoczesnym uwzględnieniem zarówno możliwości i opłacalność produkcji, jak i określenia wpływu tej działalności na środowisko przyrodnicze. Stąd też istotna jest identyfikacja zagrożeń i sytuacji konfliktowych występujących w środowisku przyrodniczym, spowodowanych hodowlą ryb w stawach [PRĄDZYŃSKA 2004]. Jakość wód odprowadzanych z gospodarstw rybackich jak i ich obciążenie ładunkiem zanieczyszczeń zależy od szeregu różnych czynników. Uwzględnić tu należy zarówno jakość wód zasilających stawy, gatunek ryb, metodę ich chowu, obsadę, ilość i jakość skarmionej paszy oraz czynniki metrologiczne i fizjograficzne [KOLASA-JAMIŃSKA 2004].

Celem badań było określenie wpływu systemów gospodarowania wodą w hodowli pstrąga na jakość wód rzecznych.

Metody badań

Badania dotyczące wpływu systemów gospodarowania wodą w hodowli pstrąga na jakość wód rzecznych prowadzono w latach 2010-2012. Do badań wytypowano 6 gospodarstw podzielonych na dwie grupy pod względem kategorii gospodarki wodnej. Jedną grupę stanowiły gospodarstwa o jednokrotnym wykorzystaniu wody (OOH), a drugą obiekty z wielokrotnym jej wykorzystaniem (RAS).

We wszystkich gospodarstwach wyznaczono punkty pomiarowe oceny wody tzn. obrazujący jakość wody dopływającej do obiektów, jakość wody w stawach i odpływającej z gospodarstw rybackich. W wybranych punktach wykonano analizy wody (in situ) za pomocą wieloparametrycznej sondy do badań właściwości fizycznych wody YSI 6600 w następującym zakresie:

- Temperatura [°C],
- Natlenienie wód – stężenie [mg/l] oraz nasycenie tlenem [%],
- Przewodnictwo elektrolityczne właściwe [$\mu\text{S/cm}$],

Z tych samych miejsc pobrano próby wody do analizy laboratoryjnej. Uśrednione próbki wody pobierano do pojemników o objętości 5 dm³ wykonanych z polietylenu, utrwalono i przewieziono do laboratorium, w którym wykonano następujące oznaczenia:

- BZT₅ – metodą respirometryczną w aparacie OXI-Top,
- ChZT_{cr} – metodą dichromianową,
- sucha pozostałość – metodą wagową po wyprażeniu w temp. 105°C,
- substancje popielne - po prażeniu w 550°C,
- azot azotanowy (V) - N-NO₃ kolorymetrycznie z kwasem dwusulfanilowym,
- azot azotanowy (III) – N-NO₂ kolorymetrycznie z kwasem sulfanilowym,
- azot amonowy N-NH₄ - kolorymetrycznie z odczynnikiem Nesslera,
- azot Kiejdahla – N_{kj} – metodą destylacji po mineralizacji w kwasie siarkowym,
- fosfor ogólny (P_{og}) i fosforanowy (P-PO₄) - kolorymetrycznie po mineralizacji z molibdenianem amonu i chlorkiem cynawym jako reduktorem,
- siarczany SO₄²⁻ - metodą nefelometryczną,
- wapń Ca²⁺ - metodą spektrofotometrii atomowej,
- magnez Mg²⁺ - metodą kolorymetryczną z żółcieniem tytanową,

Wyniki badań

Wskaźniki fizyczne wody w obiektach chowu pstrąga

Stawy zaliczane są do zbiorników polimiktycznych, czyli takich, w których woda ulega ciągłemu mieszaniu, a ich dobowe wahania temperatury są większe w warstwie powierzchniowej niż naddennej. Jednak im staw jest głębszy tym wahania te są mniejsze [KAJAK 2001]. Ryby zaliczane są do organizmów zmiennocieplnych, dlatego też temperatura wody wpływa bezpośrednio na ich przyrost, przyspieszając bądź opóźniając ich przemianę materii. Przyjmuje się, iż pstrągi wytrzymują wzrost temperatury do 25 °C, przy czym za optymalną temperaturę dla ryb łososiowatych należy uznać 14-18 °C [GORYCZKO 1999].

W ciągu całego okresu badawczego średnia temperatura wód zasilających stawy wynosiła około 11°C, a maksymalna jej wartość nie przekraczała 18,24°C. Po przepłynięciu przez stawy hodowlane we wszystkich gospodarstwach obserwowano nieznaczny wzrost średniej temperatury wody i w odpływie z ośrodków stosujących systemy przepływowe wzrost temperatury wody wynosił około 0,7°C, natomiast w gospodarstwach stosujących recyrkulację jej wzrost był niższy i wynosił około 0,3°C (tab.1).

Ilość tlenu w wodzie pochodzącego z fotosyntezy fitoplanktonu w ekosystemie stawowym, zależy od wielu czynników m.in.: temperatury, przezroczystości wody, promieniowania słonecznego i zawartości składników odżywczych. Może ono stanowić nawet do 80% przychodów tlenu w ekosystemie stawowym [JAWECKI, KRZEMIŃSKA 2008]. Na zawartość tlenu w wodzie wpływają także takie czynniki jak temperatura wody i jej przezroczystość, zawartość składników pokarmowych oraz promieniowanie słoneczne. Znaczący wpływ mają także indywidualne cechy stawów i zabiegi w nich prowadzone [JAWECKI 2008].

Wody zasilające stawy hodowlane były bardzo dobrze natlenione, a średnia zawartość w nich tlenu rozpuszczonego kształtowała się na poziomie 87,80 - 89,70% wahając się w przedziale 72,7-110,1% w ośrodkach OOH oraz 74,2-108,2% w RAS (tab.1). W gospodarstwach z jednokrotnym wykorzystaniem wody stwierdzono zwiększenie się nasycenia tlenem wód odpływających z gospodarstw o ok. 5%, natomiast w gospodarstwach z zamkniętym obiegiem wody następowało zubożenie wody w tlen o ok. 12%. W gospodarstwach stosujących recyrkulację wody mimo

prowadzonej intensywnej hodowli pstrąga obserwowano niewielkie zmniejszenie się ilości tlenu w wodach odpływających ze stawów, co uzyskano dzięki sztuczemu jej napowietrzaniu (stosowanie aeratorów mechanicznych lub czystego tlenu) w celu stworzenia optymalnych warunków bytowania ryb.

Tabela 1. Wskaźniki fizyczne wód dopływających i odpływających z obiektów chowu pstrąga

Wyszczególnienie	Jednokrotne wykorzystanie wody			Wielokrotne wykorzystanie wody		
	dopływ do stawów	odpływ ze stawów	odpływ z gospodarstw	dopływ do stawów	odpływ ze stawów	odpływ z gospodarstw
Temperatura [°C]	11,1 (7,5÷18,2)	11,6 (7,5÷18,6)	11,97 (7,5÷18,9)	11,3 (6,7÷17,8)	11,2 (6,1÷18,4)	11,7 (5,8÷18,2)
Nasycenie tlenem [%]	87,8 (72,7÷110,1)	82,57 (65,07÷109,90)	92,90 (75,3÷120,0)	89,17 (74,2÷108,2)	72,87 (53,73÷99,13)	77,20 (56,8÷107,5)
Przewodnictwo elektrolityczne właściwe [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	369 (299÷416)	377 (331÷410)	378 (339÷413)	347 (272÷432)	345 (311÷373)	351 (313÷382)

Przewodności elektrolityczna wody jest miarą zawartych w wodzie zanieczyszczeń mineralnych i jest tym większa im większe jest stężenie tych zanieczyszczeń. [MACIOSZCZYK, DOBRZYŃSKI 2002].

Na podstawie analizy przewodności elektrolitycznej w wodach zasilających gospodarstwa stwierdzono, że jej średnie wartości kształtowały się we wszystkich ośrodkach na zbliżonym poziomie. W gospodarstwach z systemami przepływowymi średnio wynosiła ona 369 $\mu\text{S}/\text{cm}$ wahając się w przedziale 229-416 $\mu\text{S}/\text{cm}$, natomiast w gospodarstwach stosujących recyrkulację wody była na poziomie 347 $\mu\text{S}/\text{cm}$ zmieniając się w zakresie 272-432 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (tab.1). Nie stwierdzono wpływu typu stosowanej technologii na wartość przewodności elektrolitycznej w wodach odpływających z obiektów. Oceniając zmiany przewodnictwa w gospodarstwach z jednokrotnym wykorzystaniem wody (OOH) i z jej recyrkulacją (RAS) można stwierdzić, że były one na zbliżonym poziomie i w pierwszej grupie jej wzrost wyniósł średnio około 9 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a w drugiej niecałe 4 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Wskaźniki masy organicznej w wodach obiektów chowu pstrąga

Sucha pozostałość daje pogląd na ogólną zawartość związków organicznych i nieorganicznych w wodzie [HERMANOWICZ I IN. 1999]. Średnie stężenie suchej

pozostałości w wodach wykorzystywanych do zasilania stawów hodowlanych wynosiła 284,7 mg/dm³ w gospodarstwach z systemami przepływowymi oraz 228,5 mg/dm³ w ośrodkach stosujących systemy jej recyrkulacji (tab.2). Większą część suchej pozostałości stanowiły substancje mineralne, a ich średnia zawartość w wodach zasilających stawy we wszystkich gospodarstwach zbyła zbliżona i w ośrodkach RAS wynosiła 78,9% oraz 79,4% w gospodarstwach OOH. Po wykorzystaniu wody na cele hodowlane w odpływach z obiektów stosujących recyrkulację stwierdzono wzrost stężenia suchej pozostałości o około 25,9 mg/dm³. Natomiast w przypadku gospodarstw OOH (systemy przepływowe) stwierdzono jej redukcję o 28,4 mg/dm³. W wodach odpływowych z gospodarstw stosujących jednokrotne wykorzystanie wody zaobserwowano wzrost zawartości substancji mineralnej w stosunku do wód zasilających o około 1,7%, natomiast w odpływie z ośrodków RAS stwierdzono jej redukcję o około 5%.

Wskaźniki BZT₅ oraz ChZT_{cr} określają ilość tlenu niezbędną do utlenienia znajdujących się w wodzie związków organicznych. Wartość tego wskaźnika jest silnie powiązana z zawartością fitoplanktonu w wodzie [BIENIARZ I IN. 2003; BONISŁAWSKA I IN. 2011].

Wody wykorzystywane do zasilania obiektów chowu pstrąga cechowały się względnie niską wartością BZT₅, a jego średnia wartość w okresie badawczym kształtowała się w zakresie od 2,14 mg/dm³ (OOH) do 2,73 mg/dm³ (RAS) (tab.2). Okresowo wartość BZT₅ przekraczała normy jakim powinny odpowiadać wody śródlądowe będące środowiskiem życia ryb łososiowatych (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4 października 2002 r. Dziennik Ustaw Nr 176). Taka sytuacja mogła być spowodowana okresowym zwiększonym dopływem zanieczyszczeń np. w wyniku splukiwania ich z pól czy też niekontrolowanym zanieczyszczeniem wód powyżej gospodarstw. Analizując średnią wartość ChZT_{cr} w wodach dopływających do obiektów stwierdzono, że była ona niska i średnio wynosiła 15,85 mg/dm³ w gospodarstwach RAS oraz 18,20 mg/dm³ w ośrodkach OOH (tab.2).

Tabela 2. Wskaźniki masy organicznej w wodach dopływających i odpływających z obiektów chowu pstrąga

Wyszczególnienie	Jednokrotne wykorzystanie wody			Wielokrotne wykorzystanie wody		
	dopływ do stawów	odpływ ze stawów	odpływ z gospodarstwa	dopływ do stawów	odpływ ze stawów	odpływ z gospodarstwa
Sucha pozostałość [mg/dm ³]	284,7 (218,7÷464,0)	257,8 (214,6÷304,0)	256,30 (206,7÷322,7)	228,50 (201,3÷253,3)	236,6 (206,7÷268,0)	254,4 (224,7÷314,7)
BZT ₅ [mg/dm ³]	2,14 (0,9÷3,7)	2,4 (1,4÷3,3)	2,5 (1,6÷3,6)	2,73 (0,9÷5,1)	3,51 (1,4÷5,2)	4,9 (2,3÷6,7)
ChZT _{cr} [mg/dm ³]	18,20 (8,2÷32,5)	17,72 (9,1÷29,2)	16,02 (8,27÷23,17)	15,85 (10,0÷26,2)	15,8 (10,0÷24,4)	18,75 (11,1÷27,4)

Analiza uzyskanych wyników wykazała wyraźny wpływ stosowanej technologii gospodarowania wodą na wzrost wartości BZT₅ i ChZT_{cr} w wodach odpływających z ośrodków hodowli pstrąga. Analizując zmiany wartości BZT₅ i ChZT_{cr} w poszczególnych typach gospodarki wodnej stwierdzono, że wody poprodukcyjne odpływające z gospodarstw stosujących systemy przepływowe cechowały się wyższymi wartościami BZT₅ średnio o około 0,4 mg/dm³ oraz niższymi ChZT_{cr} o 2,18 mg/dm³. W gospodarstwach stosujących recyrkulację wzrost BZT₅ był bardziej znaczący i wynosił średnio 2,16 mg/dm³, natomiast ChZT_{cr} 2,90 mg/dm³.

Wskaźniki biogenne wody w obiektach chowu pstrąga

W wodzie stawowej fosfor występuje w postaci jonów fosforanowych oraz jako rozpuszczony fosfor organiczny. W ekosystemach wodnych reguluje on produkcję biologiczną, a poprzez to wpływa na żyzność wód [DOJLIDO 1995, BIENIARZ i in. 2003; RACZYŃSKA, MACHULA 2006].

Fosfor w wodach zasilających badane gospodarstwa występował głównie w formie organicznej i stanowił on średnio 57% P_{og} w dopływie do gospodarstw OOH i 52% w dopływie do gospodarstw RAS. Średnie stężenie fosforu ogólnego w dopływach do obiektów była zbliżona w obu grupach gospodarstw i wynosiła 0,10 mg/dm³ w obiektach stosujących systemy przepływowe i 0,16 mg/dm³ w gospodarstwach z recyrkulacją wody (tab.3). W gospodarstwach RAS okresowo obserwowano zbyt wysokie koncentracje P_{og} przekraczające normy jakim powinny odpowiadać wody

śródlądowe będąca środowiskiem życia ryb łososiowatych (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4 października 2002 r. Dziennik Ustaw Nr 176).

Średnia koncentracja fosforu fosforanowego w wodach zasilających gospodarstwa wynosiła 0,04 mg/dm³ w gospodarstwach OOH oraz 0,08 mg/dm³ w obiektach RAS. Po wykorzystaniu wody na cele hodowlane w odpływie z badanych obiektów obserwowano wzrost stężenia P_{og} i P-PO₄. Analizując średnie przyrosty fosforu w obu grupach gospodarstw stwierdzono, że w ośrodkach stosujących recyrkulację w wodach odpadowych następował zdecydowanie większy wzrost stężenia P-PO₄ (średnio o 0,026 mg/dm³) niż w gospodarstwach z systemami przepływowymi (0,014 mg/dm³). Odwrotna sytuacja miała miejsce w przypadku P_{og}, którego znacznie większy wzrost koncentracji obserwowano w wodach odpływających z ośrodków bez recyrkulacji (0,026 mg/dm³) niż stosujących systemy zawracania wody (0,003 mg/dm³).

Taka sytuacja mogła być spowodowana intensywnym dokarmianiem ryb. Tylko niewielka część związków zawartych w karmie (5-20%) zostaje wbudowywana w biomasę ryb, większość pozostaje w wodzie przyczyniając się do jej zanieczyszczenia [TUCHOLSKI 1994; MADEYSKI 2001; ORLIK, OBROŚLAK 2005; RACZYŃSKA, MACHULA 2006 SIKORA i in. 2009].

Azot dostaje się do wód głównie w postaci związków mineralnych pochodzących z procesów rozkładu organicznych związków azotowych, opadów oraz gleb. Występuje on w wodzie w formach o różnym stopniu utlenienia, w połączeniach organicznych i nieorganicznych oraz jako wolny azot rozpuszczony. Azot organiczny występuje najczęściej w wodach w postaci białka, aminokwasów oraz związków organicznych pozabiałkowych tj. mocznik, aminy, pirydyna, puryny. W wodach naturalnych powstaje on z obumarłych organizmów zwierzęcych i roślinnych oraz resztek pożywienia [ŁYSAK 1995; AVNIMELECH 1999; PIEDRAHITA 2003].

W wodach zachodzą procesy nityfikacji oraz denityfikacji. Denityfikacja powoduje zmianę zawartości azotanów oraz wzbogacania wody w wolny azot cząsteczkowy, który przy odpowiednich warunkach ulatnia się do atmosfery. Redukcja azotanów zatem prowadzi do zmniejszania się ogólnej zawartości azotu w zbiorniku [KOC , SIDORUK 2006; MAKUCH I IN. 2009].

W wodach zasilających gospodarstwa stosujących technologie jednokrotnego wykorzystania wody azot występował głównie w formie mineralnej, która stanowiła

57% N_{og} , natomiast w gospodarstwach RAS stwierdzono przewagę formy organicznej stanowiąc 52% azotu ogólnego. Średnie stężenie azotu ogólnego w dopływie do gospodarstw OOH wynosiło $1,59 \text{ mg/dm}^3$ i kształtowało się w zakresie od $1,08$ do $2,29 \text{ mg/dm}^3$. Natomiast w ośrodkach stosujących recyrkulację wód średnie stężenie N_{og} w wodach zasilających wynosiło $0,91 \text{ mg/dm}^3$ i zmieniało się w przedziale od $0,69$ do $1,16 \text{ mg/dm}^3$ (tab.3). Po wykorzystaniu wody w hodowli pstrągów stwierdzono, że w wodach poprodukcyjnych w gospodarstwach stosujących systemy przepływowe następowała redukcja stężenia N_{og} średnio o $0,15 \text{ mg/dm}^3$. Odmierna sytuacja wystąpiła w gospodarstwach stosujących recyrkulację wody, w których stwierdzono przyrost stężenia N_{og} średnio o $1,16 \text{ mg/dm}^3$.

Analizując średnią zawartość azotu mineralnego w wodach zasilających badane obiekty stwierdzono, że w gospodarstwach z wielokrotnym wykorzystaniem wody jego stężenie wynosiło $0,44 \text{ mg/dm}^3$, natomiast w ośrodkach OOH - $0,90 \text{ mg/dm}^3$.

Tabela 3. Wskaźniki biogenne w wodach dopływających i odpływających z obiektów chowu pstrąga

Wyszczególnienie	Jednokrotne wykorzystanie wody			Wielokrotne wykorzystanie wody		
	dopływ do stawów	odpływ ze stawów	odpływ z gospodarstwa	dopływ do stawów	odpływ ze stawów	odpływ z gospodarstwa
P_{og} [mg/dm^3]	0,10 (0,04÷0,19)	0,11 (0,07÷0,17)	0,126 (0,053÷0,235)	0,17 (0,06÷0,47)	0,14 (0,08÷0,23)	0,17 (0,13÷0,22)
$P\text{-}PO_4$ [mg/dm^3]	0,04 (0,02÷0,08)	0,05 (0,02÷0,08)	0,057 (0,03÷0,08)	0,08 (0,03÷0,14)	0,09 (0,05÷0,13)	0,10 (0,04÷0,14)
N_{og} [mg/dm^3]	1,59 (1,08÷2,29)	1,58 (0,68÷2,16)	1,44 (0,97÷1,89)	0,91 (0,69÷1,16)	1,39 (1,12÷1,87)	2,07 (1,58÷2,50)
N_{min} [mg/dm^3]	0,90 (0,22-1,29)	0,87 (0,10-1,36)	0,71 (0,14-1,16)	0,44 (0,13-0,82)	0,84 (0,49-1,11)	1,30 (0,50-1,75)

W toni stawów obiektów stosujących recyrkulację wody stwierdzono pogorszenie się jej jakości pod względem zawartości N_{min} . W wodach poprodukcyjnych odpływających z tych gospodarstw stężenie azotu mineralnego wzrosło o $0,86 \text{ mg/dm}^3$, natomiast w gospodarstwach z jednokrotnym wykorzystaniem wody stwierdzono redukcję stężenia N_{min} średnio o $0,19 \text{ mg/dm}^3$.

Zasolenie wód w obiektach chowu pstrąga

W wodach powierzchniowych wapń występuje pod postacią rozpuszczonego węglanu wapnia, a jego zawartość jest uzależniona od obecności dwutlenku węgla w

wodzie [SIDORUK SKWIERAWSKI 2006; DEGEFU I IN. 2011]. W klimacie umiarkowanym jest on intensywnie wypłukiwany z gleb, czemu sprzyja między innymi zakwaszenie opadów. Odpowiednio wysokie stężenie wapnia w wodzie jest ważne ze względu na jego znaczenie buforujące oraz istotne dla produkcji pierwotnej zapewniając dostateczne stężenie CO₂ dla fotosyntezy [KAJAK 2001; KOC, SZYMCZYK 2003].

Wyniki badań zawartości wapnia w wodach dopływających do gospodarstw wykazała, iż jego stężenie było zbliżone we wszystkich obiektach i w ośrodkach RAS wynosiło 57,0 mg/dm³ zmieniając się w zakresie 51,7-61,5 mg/dm³. Natomiast w gospodarstwach OOH średnie stężenie Ca²⁺ kształtowało się na poziomie 63,4 mg/dm³ i zmieniało się w przedziale 52,9-70,6 mg/dm³. (tab.4). Wody wykorzystywane do zasilania stawów w całym okresie badawczym nie przekraczały norm I klasy jakości wód (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 r. Dziennik Ustaw Nr 257). Nie stwierdzono znaczącego wpływu prowadzonej działalności na zawartość w nich wapnia. W odpływie ze wszystkich ośrodków stosujących stwierdzono nieznaczny wzrost stężenia Ca²⁺ średnio o 0,2 mg/dm³.

Zmiana stężeń magnezu w wodach powierzchniowych jest związana m.in. z obecnością w wodzie substancji humusowych. Substancje te mogą występować w formie rozpuszczonej lub koloidalnej tworząc kompleksy magnezowo-humusowe [KOLANEK, KOWALSKI 2002]. Z reguły stwierdza się dużo wyższe stężenia magnezu w porównaniu do wapnia, prawdopodobnie ze względu na intensywne pobieganie tego pierwiastka przez rośliny oraz koncentrację w opadach atmosferycznych. [WRÓBEL, ŻEGLIN 1990].

W wodzie zasilającej większość badanych gospodarstw średnie stężenie magnezu było na podobnym poziomie i w ośrodkach OOH wynosiło 5,4 mg/dm³ zmieniając się w zakresie 4,40-8,10 mg/dm³, natomiast w gospodarstwach stosujących recyrkulację wód kształtowało się na poziomie 5,83 mg/dm³ i wahało się od 4,90 do 6,87 mg/dm³ (tab.4). Nie stwierdzono znaczącego wpływu technologii gospodarowania wodą na koncentrację Mg²⁺ w wodach odpływających z obiektów hodowli pstrąga. Analizując zmiany stężenia magnezu w poszczególnych grupach gospodarstw można stwierdzić, że w obiektach stosujących systemy przepływowe następowała redukcja stężenia w odpływie o około 0,04 mg/dm³, natomiast w ośrodkach stosujących recyrkulację nastąpił wzrost koncentracji Mg²⁺ w odpływie w stosunku do wód zasilających o około 0,09 mg/dm³.

Siarczany dostają się do wód głównie w wyniku rozkładu minerałów, jak również wraz z opadami oraz są produktami utleniania siarki i siarczków stanowiących produkty rozkładu białka organicznego [KOC I IN. 2009]. Z tego powodu podwyższone stężenia siarczanów w wodach powierzchniowych są związane z działalnością człowieka.

Woda wykorzystywana do zasilania obiektów chowu pstrąga klasyfikowała się w I klasie jakości, a średnie stężenie w niej siarczanów kształtowało się na poziomie $63,20 \text{ mg/dm}^3$ w gospodarstwach OOH oraz $82,73 \text{ mg/dm}^3$ w ośrodkach RAS (tab.4). Na podstawie analizy zmian stężenia siarczanów w wodach odpływających w stosunku do zasilających stawy obu grup gospodarstw można stwierdzić, że w obiektach stosujących systemy przepływowe następowała redukcja stężenia SO_4^{2-} średnio o $0,8 \text{ mg/dm}^3$, natomiast w ośrodkach z recyrkulacją wody obserwowano wzrost ich koncentracji średnio o $12,6 \text{ mg/dm}^3$.

Chlorki znajdują się we wszystkich rodzajach wód występujących w przyrodzie. Do zasobów wodnych dostają się przede wszystkim wraz z opadem atmosferycznym, ale również produkcji rolnej, a także w wyniku odśnieżania i odmrażania dróg. Chlorki nie ulegają przemianom w glebie i wodzie ani też nie są sorbowane przez materiał glebowy i pozostawiają w pełni rozpuszczalne w wodach powierzchniowych. Jednakże są łatwo pobierane przez rośliny i łatwo wymywane z gleby, także ze spływem powierzchniowym [SAPEK 2008].

Zawartość chlorków w wodach zasilających obiekty chowu pstrąga klasyfikowała je w I klasie jakości, a ich średnie stężenie w gospodarstwach stosujących systemy zawracania wody wynosiło $11,0 \text{ mg/dm}^3$, natomiast w ośrodkach z jednokrotnym przepływem wody $13,7 \text{ mg/dm}^3$ (tab.4). Zawartość chlorków w wodzie przed obiektami w ciągu całego okresu badawczego była względnie stabilna, a maksymalne ich stężenie nie przekraczało $16,7 \text{ mg/dm}^3$.

Tabela 4. Wskaźniki zasolenia wód dopływających i odpływających z obiektów chowu pstrąga

Wyszczególnienie	Jednokrotne wykorzystanie wody			Wielokrotne wykorzystanie wody		
	dopływ do stawów	odpływ ze stawów	odpływ z gospodarstwa	dopływ do stawów	odpływ ze stawów	odpływ z gospodarstwa
Ca ²⁺ [mg/dm ³]	63,4 (52,9÷70,6)	63,6 (52,9÷70,2)	63,2 (48,1÷70,1)	57,0 (51,7÷61,5)	57,5 (53,7÷63,4)	56,8 (51,7÷61,7)
Mg ²⁺ [mg/dm ³]	5,40 (4,40÷8,10)	5,50 (4,60÷8,13)	5,37 (4,57÷7,83)	5,83 (4,90÷6,87)	5,63 (4,90÷6,60)	5,90 (4,70÷6,77)
SO ₄ ²⁻ [mg/dm ³]	63,20 (34,77÷92,23)	60,70 (26,50÷111,43)	62,37 (26,17÷99,93)	82,73 (49,10÷116,93)	80,33 (42,30÷103,90)	95,40 (60,47÷130,13)
Cl ⁻ [mg/dm ³]	13,70 (12,00÷16,00)	13,70 (12,00÷15,67)	13,80 (12,00÷15,67)	11,00 (8,67÷16,67)	10,57 (8,33÷14,33)	9,63 (8,00÷11,67)

W wyniku wykorzystania wody na cele hodowlane w większości gospodarstw obserwowano nieznaczne zmiany stężenia chlorków w wodach odpływających z gospodarstw. W ośrodkach stosujących recyrkulację wody stwierdzono redukcję stężenia Cl⁻ średnio o 1,37 mg/dm³. Natomiast w ośrodkach stosujących systemy przepływowe stwierdzono wzrost koncentracji średnio o około 0,1 mg/dm³.

Wnioski

- Przeprowadzone badania wykazały wpływ stosowanej technologii gospodarowania wodą na BZT₅ oraz ChZT_{cr}. W wodach odpływających z gospodarstw z jednokrotnym wykorzystaniem wód stwierdzono nieznaczny wzrost wartości BZT₅ średnio o około 0,4 mg/dm³ oraz redukcję ChZT_{cr} na poziomie 2,18 mg/dm³, natomiast w gospodarstwach z wielokrotnym wykorzystaniem wody wzrost BZT₅ był wyższy i wynosił średnio około 2,2 mg/dm³, a wzrost wartości ChZT_{cr} był na poziomie 2,9 mg/dm³.
- W wyniku wykorzystania wody na potrzeby hodowli i chowu pstrąga stwierdzono wzrost koncentracji fosforu w wodach odpływających z obu typów gospodarstw. W ośrodkach stosujących recyrkulację w wodach odpadowych następował zdecydowanie większy wzrost stężenia P-PO₄ (średnio o 0,026 mg/dm³) niż w gospodarstwach z systemami przepływowymi (0,014 mg/dm³), natomiast w przypadku P_{og} znacznie większy wzrost koncentracji obserwowano w wodach odpływających z obiektów stosujących systemy przepływowe (0,026 mg/dm³) niż recyrkulację wody (0,003 mg/dm³).

3. Stwierdzono wyraźny wpływ technologii gospodarowania wodą (OOH i RAS) na koncentrację N_{og} w wodach pochodzących. W gospodarstwach stosujących systemy jednokrotnego wykorzystania wody w wodach poprodukcyjnych obserwowano redukcję azotu ogólnego w stosunku do wód zasilających stawy średnio o $0,15 \text{ mg/dm}^3$, natomiast w gospodarstwach z wielokrotnym wykorzystaniem wód następował wzrost stężenia N_{og} średnio o $1,16 \text{ mg/dm}^3$.
4. Produkcja pstrąga nie wpływała na wskaźniki zasolenia wód zarówno w gospodarstwach z systemami przepływowymi jak i stosującymi recyrkulację wód. W wodach odprowadzanych z obiektów hodowlanych obserwowano znikomy wzrost zasolenia, a nawet w przypadku Ca^{2+} redukcję jego stężenia.
5. Wody wykorzystywane do zasilania gospodarstw rybackich spełniały wymagania jakim powinny odpowiadać wody śródlądowe będące środowiskiem życia ryb łososiowatych. W wyniku wykorzystania ich do celów hodowlanych zwiększenie się w nich zawartości zanieczyszczeń nie powodowało zmiany klasy ich jakości, jedynie w przypadku BZT_5 , okresowo stwierdzano obniżenie się jakości wód z I do II klasy.

Literatura

- Avnimelech Y., 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture system, *Aquaculture* 176: 227-235;
- Bieniarz K., Kownacki A., Epler P. 2003. *Biologia stawów rybnych, część I*, IRS Olsztyn, ss.98,
- Bonisławska M., Szaniewska D., Szmukała M., Pender R., 2011. Wpływ działalności ośrodka zarybieniowego na jakość wody dolnego odcinka rzeki Wiśniówka w latach 2005-009, *Woda-Środowiska-Obszary Wiejskie*, t. 11 z. 2(34), s:19-32;
- Degefu F., Mengistu S., Schagerl M., 2011. Influence of fish cage farming on water quality and plankton in fish ponds: A case study in the Rift Valley and North Shoa reservoirs, Ethiopia, *Aquaculture* 316: 129–135;
- Goryczko K. 1999. *Pstrągi, chów i hodowla*, Poradnik hodowcy. ss. 139,

- Jawecki B. 2008. Dobowe ekstrema tlenowe w stawie rybnym. Zeszyty problemowe postępów nauk rolniczych, z.528, s. 373-379,
- Jawecki B., Krzemińska A. 2008. Wpływ temperatury wody na natlenienie strefy eutroficznej stawu karpiego. Zeszyty problemowe postępów nauk rolniczych, z. 528, s. 381-387,
- Kajak Z. 2001. Hydrobiologia-Limnologia. Ekosystemy wód śródlądowych. Wydawnictwo PWN, ss. 360,
- Koc J., Sidoruk M., 2006, Effect of land use in the catchment on the load of mineral nitrogen supplied into lakes with surface waters, Zesz. Prob. Post. Nauk. Z 513:209-216;
- Koc J., Sidoruk M., Rochwerger A. 2009. Calcium ion migration in agricultural and afforested lake catchments. Ecological Chemistry and Engineering. nr 3, ss. 201—212;
- Koc J., Szymczyk S., 2003. Wpływ intensyfikacji rolnictwa na odpływ fosforu do wód powierzchniowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., z. 494, s. 191-197,
- Kolaneck A., Kowalski T., 2002. Wpływ procesów biochemicznych i substancji humusowych na stężenie związków wapnia i magnezu w wodach, Ochrona Środowiska 1(84): 9-12;
- Kolasa-Jamińska B. 2004. Jakość wody spuszczonej ze stawów, a termin odłowu ryb. Komunikaty Rybackie, nr. 5, s. 10-12,
- Łysak A., Polak S., Strutyński J., Ligaszewski M., Miernik W., Łojek J., 1995. Rola stawów rybnych w eliminacji zanieczyszczeń wód. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu nr 271, Zootechnika XL:201-226;
- Macioszczyk A., Dobrzyński D., 2002 - Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa: 448,
- Makuch A., Mędrzycka K., Płaza E. 2009. Możliwości zastosowania procesu anammox do usuwania azotu amonowego ze ścieków zawierających sulfonamidy, Chemik, 6 Suplement, 197-198;
- Orlik T., Obroślak R., 2005. Analiza jakości wód w stawie rybnym w zlewni rzeki Giełczwi. Acta Agrophysica, 5(3): 705-710;

- Prądyńska D. 2004. Próba oceny oddziaływania stawów hodowlanych na środowisko przyrodnicze (na przykładzie gminy Malechowo). Studia Ekologiczno-Krajobrazowe w Prognozowaniu Rozwoju Zrównoważonego. Problemy Ekologii Krajobrazu, T. XIII, s. 221–226,
- Raczyńska M., Machula S., 2006. Oddziaływanie stawów karpionych na jakość wód rzeki Kąpiel (Pomorze Zachodnie), Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, Nr 4/2/2006, PAN, Oddział w Krakowie, s. 141–149,
- Sapek A., 2008. Chlorki w wodzie na obszarach wiejskich. Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie. Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach. Zakład Chemii Gleby i Wody. t. 8. Z.1 (22) 263 – 281;
- Sidoruk M., Skwierawski A., 2006, Effect of land use on the calcium, sodium, potassium and magnesium contents in water flowing into the Bukwałd lake, Ecological Chemistry and Engineering, S1 vol. 13:337-343;
- Tucholski S., 1994. Chów ryb w stawach zasilanych biologicznie oczyszczonymi ściekami, Instytut Rybactwa Śródlądowego, Olsztyn, 167 ss. 20;