

Bartosz Jawecki, Tomasz Kowalczyk, Beata Malczewska

**WPŁYW TEMPERATURY POWIETRZA
NA NATLENIE STREFY EUFOTYCZNEJ
STAWU KARPIOWEGO**

***AN INFLUENCE OF AIR TEMPERATURE ON OXYGEN
CONDITION IN EUPHOTIC ZONE OF CARP POND***

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu temperatury powietrza na warunki tlenowe w stawie karpowym, położonym w rezerwacie przyrody „Stawy Milickie”. Średnie stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie o godzinie 8 wynosiło $7,18 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$, o 14 $12,76 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$, a o 20 $13,32 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. W strefie eufotycznej żywnego stawu rybnego obserwowano duże wahanie zawartości tlenu w wodzie. Stężenia poniżej granicy optimum tlenowego dla karpi ($5 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$) obserwowane były najczęściej w trakcie pomiarów o godzinie 8⁰⁰ (minimum = $2,34 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$). Przesycenie wody tlenem odnotowywano po południu (godzina 14⁰⁰) i wieczorem (godzina 20⁰⁰). Najwyższe stężenie wynosiło $25,8 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. Analiza zależności między zawartością tlenu w wodzie a temperaturą powietrza wykazała istotny statystycznie, ale bardzo słaby związek dla pomiarów o 14⁰⁰ i 20⁰⁰, gdzie przy wzroście temperatury powietrza obserwowano wzrost natlenienia wody.

Słowa kluczowe: tlen rozpuszczony, stawy milickie, rezerwat przyrody, temperatura powietrza, staw karpowy

Summary

The results of research over influence of air temperature on oxygen condition in carp pond are present in this paper. Mean of dissolved oxygen concentration observed at 8 am were equal $7,18 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$, at 2 pm – $12,76 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ and at 8 pm – $13,37 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. Large fluctuations of dissolved oxygen concentration in the euphotic zone of eutrophic fish pond were observed. Oxygen condition

lower than lower limit of dissolved oxygen concentration for carp ($5 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$) were observed at 8 am (minimum = $2,34 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$). The highest oxygen concentration were observed in the afternoon (14 pm) and in the evening (8 pm). The highest oxygen concentration were equal $25,8 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$. Analysis of connection between air temperature and dissolved oxygen concentration revealed weak but essential relationship for the results from 2 and 8 pm. Increase of oxygen concentration was observed with increase of air temperature.

Key words: *dissolved oxygen, milickie ponds, nature reserve, air temperature, carp pond*

WSTĘP

W ekosystemie stawowym źródłem tlenu w wodzie jest dopływ świeżej wody, dyfuzja z atmosfery oraz fotosynteza, która może stanowić nawet 80% przychodów tlenu w stawie, a jego stężenie zależy wielu czynników m.in. temperatury, promieniowania słonecznego, przezroczystość wody, zawartość składników pokarmowych [Jawecki, Krzezińska 2008]. Wielkość tych przychodów związana jest z produkcją pierwotną, której najwyższe wartości obserwuje się w lecie (lipiec–sierpień), a najniższe zimą (grudzień–luty), a najintensywniej zachodzi w warstwie eufotycznej [Yoshida i in. 2003; Vörös i in. 2003; Kisand, Nõges 2004].

Zawartość tlenu i temperatura są dwoma parametrami warunkującymi życie w środowisku wodnym. Jednocześnie te dwa parametry pozostają we wzajemnych relacjach, tj. rozpuszczalność tlenu w wodzie zależy od temperatury i maleje wraz z jej wzrostem [Szumiec 1984b; Krzyżkowski 2000].

Badania prowadzone m.in. na „Stawach Milickich” wykazały związek między temperaturą wody, a temperaturą powietrza, gdzie średnia dobową temperaturą wody była o około $2,5^{\circ}\text{C}$ wyższa od temperatury powietrza [Szymański i in. 1983; Krzyżkowski 2000]. Temperatura powietrza i promieniowanie słoneczne wpływają na temperaturę wody przez co pośrednio na zmianę rozpuszczalności tlenu w wodzie, aktywność metaboliczną organizmów żywych oraz procesy biochemiczne i chemiczne w niej zachodzące. Podwyższona temperatura sprzyja intensywnemu rozwojowi fitoplanktonu produkującemu w procesie fotosyntezy tlen. Jednakże w przegrzanych wodach dochodzi do obumierania planktonu i zużycia tlenu na jego rozkład, prowadząc do głębokich deficytów tlenowych, często obserwowanych w dni upalne, których coraz większą liczbę odnotowuje się w Polsce. Wysokie temperatury sprzyjają zwiększonemu pobieraniu tlenu na oddychanie roślin i zwierząt, a niskie (w okresie zimy) wyższej koncentracji tlenu w wodzie ze względu na jego większą rozpuszczalność w niskich temperaturach. Jednakże lód i pokrywa śnieżna ograniczają fotosyntezę [Danielewski 1970; Cebulak 1999]. Szeroko dyskutowane w ostatnich latach zmiany klimatu (m.in. ocieplenie) z jednej strony poprzez skrócenie okresu

z pokrywą lodową korzystnie wpływają na warunki tlenowe, ale z drugiej przyczyniają się do zwiększenia liczby dni upalnych [Cebulak 1999; Fang i in. 2004a–c].

Zmiany czynników meteorologicznych wpływają na zmiany jakości wody, w tym zawartości tlenu, dlatego prognozy, zwłaszcza informujące o nadejściu chłodnej i bezwietrznej pogody, pozwalają na uniknięcie strat w rybach spowodowanych pogorszeniem warunków tlenowych w wyniku nagłego ochłodzenia i zachmurzenia [Szumiec 1984a; Kapetsky 2000; Tadesse i in. 2004].

Karp jest rybą odporną na wahania zawartości tlenu, gdzie za dolną granicę optimum tlenowego dla niego przyjmuje się $5 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$. Spadek natlenienia wody do wartości $2\text{-}3 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$ wywołuje niepokój, a stężenia tlenu w granicach $0,5\text{-}1,6 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$ powodują śmierć, przy czym niekiedy przez pewien czas potrafi przeżyć w wodzie o zawartości tlenu wynoszącej $0,3\text{-}0,5 \text{ mg O}_2 \text{ dm}^{-3}$ [Danielewski 1970; Woźniewski 1992; Łysak i in. 1995; Bieniarz i in. 2003; Mohanty i in. 2004; Perschbacher, Ludwig 2004]

MATERIAŁ I METODY

Badania terenowe prowadzono w lipcu i sierpniu, w latach 2002–2007, w rezerwacie przyrody „Stawy Milickie” (woj. dolnośląskie), będącego elementem Europejskiej Sieci NATURA 2000 (PLB020001 „Dolina Baryczy”), w stawie narybkowo-kroczkowym „Staś Górny”, przeznaczonym do niskointensywnego wychowu karpia. Powierzchnia zalewu wynosi 13,41 ha, ale około 3 ha porośnięte jest roślinnością szuwarową. Średnia głębokość stawu wynosi 0,9 m (głębokość maksymalna około 1,6 m) a dopuszczalna rzędna piętrzenia wynosi 108,30 m. Normalny poziom piętrzenia jest kilkanaście centymetrów niższy dopuszczalnej rzędnej piętrzenia, jednakże względu na duże niedobory wody sięgające 500 mm utrzymanie stałego(lub zbliżonego) poziomu piętrzenia w poszczególnych okresach badawczych było trudne. Szczegółowy opis obiektu znajduje się w m.in. pracach Drabińskiego [1991] i Sasika [1992]. Pomiar przeprowadzono w jednym pionie (pkt T) zlokalizowanym w centralnej części stawu o średniej głębokości (rys. 1) [Jawecki, Drabiński 2003], odzwierciedlającym procesy termiczne i parowanie całego zbiornika [Sasik 1992; Krzyczkowski 2000].

Z badań przeprowadzonych przez Jaweckiego wynika, że woda w „Stasiu Górnym” wykazywała eutroficzny i hipertroficzny charakter, a jej przezroczystości (mierzona krążkiem Secchiego) wahała się w granicach 0,16–0,25 m, średnio wynosząc 0,2 m. Z danych literaturowych wynika, że zasięg strefy eufotycznej stanowi dwukrotność widzialności krążka Secchiego [Chojnacki 1998]. Ze względu na duże wahania przezroczystości wody stawu „Staś Górny”, do wyznaczenia wielkości strefy eufotycznej przyjęto dwukrotność średniej widzialności krążka Secchiego, zakładając jej zasięg na 0,4 m. Ważne jest również, że w warunkach stawu „Staś Górny” od 40% do 60% promieniowania sło-

necznego pochłanianie jest w warstwie 0,0–0,1 m [Krzyckowski 2000; Tokarczyk-Dorociak, Drabiński 2002], przyczyniając się, dzięki intensywnej fotosyn-tezie, do dużego przesylenia tlenem przypowierzchniowych (0,01–0,1 (0,2) m) warstw wody [Jawecki 2005]. Dlatego autorzy przyjęli do analizy statystycznej stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie odnotowane na głębokości odpowia-dającej średniej przezroczystości wody (0,2 m), stanowiącej jednocześnie poło-wę przyjętego zasięgu strefy eufotycznej.



Rysunek 1. Staw Staś Górny: 1 – klatka meteorologiczna, 2 – heliograf, 3 –deszczo-mierz Hellmana, 4 – automatyczna stacja meteorologiczna, 5 – mnichy, 6 – doprowa-dzalnik, 7 – drzewa i krzewy, 8 – makrofity, 9 – punkt pomiarowy T

Figure 1. Staś Górny pond: 1 –meteorological cage, 2 – heliograph, 3 – Hellman rain-gauge, 4 – automatic weather station, 5 – monks, 6 – water supply ditch, 7 – Trees and shrubbery, 8 – aquatic macrophytes, 9 – measurement point T

Pomiar natlenienia wody w pionie pomiarowym wykonano na 5 głęboko-ściach, od 0,01 m do 0,4 m od powierzchni wody przy użyciu miernika wielo-funkcyjnego Multi 340i z sondą tlenową CellOx 325 firmy WTW (zakres po-miarowy $0,0\text{--}19,19\text{ mg O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$ lub $0,0\text{--}90\text{ mg O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$, dokładność $\pm 0,5\%$), określającą również temperaturę wody (dokładność $0,1\text{ }^\circ\text{C}$). Obserwacje wyko-nywano 3 razy na dobę o godzinach 8^{00} , 14^{00} , 20^{00} – czas letni [Jawecki, Krze-mińska 2008]. Ze względu na awarię aparatury pomiarowej w 2006 roku wyko-nano tylko jeden pomiar. Do analizy związków wykorzystano wyniki uzyskane w połowie zasięgu strefy eufotycznej (0,2 m) oraz średnie dobowe stężenie tlenu obliczone jako średnia arytmetyczna z wszystkich pomiarów przeprowadzonych w danym dniu.

Do pomiaru parametrów meteorologicznych w latach 2002–2004 wykorzystano termometr stacyjny umieszczony 2 m nad trawnikiem, deszczomierz Hellmana, heliograf UG-1 (również w 2007 r.). Natomiast w latach 2005–2007 pomiary meteorologiczne przeprowadzono z użyciem automatycznej stacji meteorologicznej firmy Campbell SCI, wyposażonej między innymi w czujniki: temperatury powietrza (HMP45C – firmy Vaisala), opadu (deszczomierz Young).

Określenia związków między zawartością tlenu rozpuszczonego w wodzie, a temperaturą powietrza dokonano wyznaczając współczynnik korelacji oraz przeprowadzając analizę regresji. Istotność statystyczną korelacji i regresji zwerifikowano testem F, przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ i stopniach swobody wynoszących 1 oraz N-2.

WYNIKI

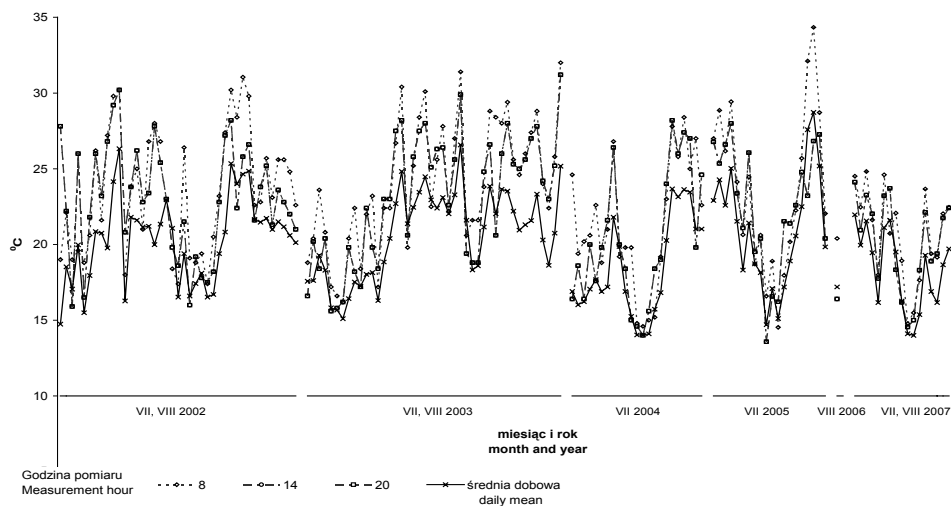
W okresie badawczym obserwowano niedobory opadów, pomimo stosunkowo wysokich sum opadów. Często o sumie opadów decydowały burze w trakcie, których na 1 m² spadało nawet 47,5 dm³ wody (rok 2003). Analizując średnie sumy dobowego usłonecznienia, stwierdzono, że najlepsze warunki panowały w 2003 roku (średnio 8,2 godziny) a najgorsze w 2002 roku (6,4 godziny). Zestawienie charakterystycznych parametrów meteorologicznych przedstawiono w tabeli 1. Przebieg czynników meteorologicznych pokazuje, że najzimniejszy okres badawczy wystąpił w 2007 roku (średnia dobową temperatura powietrza wynosiła przeciętnie 18,3⁰ C), a najcieplejszy był rok 2005 (średnia dobową temperatura powietrza wynosiła przeciętnie 20,9⁰ C). Odnotowany w punkcie pomiarowym, w poszczególnych okresach badawczych (tab. 1), średni poziom wody kształtował się w zakresie od 60 cm (2006 r.) do 86 cm (2007 r.) przeciętnie wynosząc 73,8 cm. W 2004 roku pod koniec lipca przeprowadzono odlów ryb co wiązało się wcześniejszym spuszczeniem stawu.

W trakcie pomiarów terminowych przeprowadzonych o godzinie 8 średnia z okresu badawczego temperatura powietrza kształtowała się w zakresie od 16,5⁰ C (2004 r.) do 18,8⁰ C (2005 r.). Najniższą (12,6⁰ C) i najwyższą (25,0⁰ C) wartość temperatury powietrza odnotowano w 2005 r. Podczas pomiarów o godzinie 14 średnia z okresu badawczego temperatura powietrza kształtowała się w przedziale od 20,6⁰ C (2007 r.) do 23,9⁰ C (2003 r.). Najniższą wartość zaobserwowano w 2004 r. (14,6⁰ C) a najwyższą w 2005 roku (34,0⁰ C). Natomiast o godzinie 20 średnia z okresu badawczego temperatura powietrza kształtowała się w granicach od 20,0⁰ C w roku 2007 do 23,2⁰ C w roku 2005. Najniższą temperaturę zanotowano w 2004 (14,0⁰ C) a najwyższą w 2002 ⁰C (30,2⁰ C). Warto odnotować że w okresie objętym badaniami podczas pomiarów o godzinie 14 zaobserwowano 8 dni z temperaturą przekraczającą 30⁰ C (2002, 2005 r. – 2 dni, 2003 r. – 4 dni), Szczegółowy przebieg temperatury powietrza w poszczególnych godzinach pomiarów przedstawiono na rysunku 2.

Tabela 1. Charakterystyka warunków meteorologicznych i poziomu wody w stawie „Staś Górny”

Tabel 1. Characteristic of meteorological factors and water level in Staś Górny pond

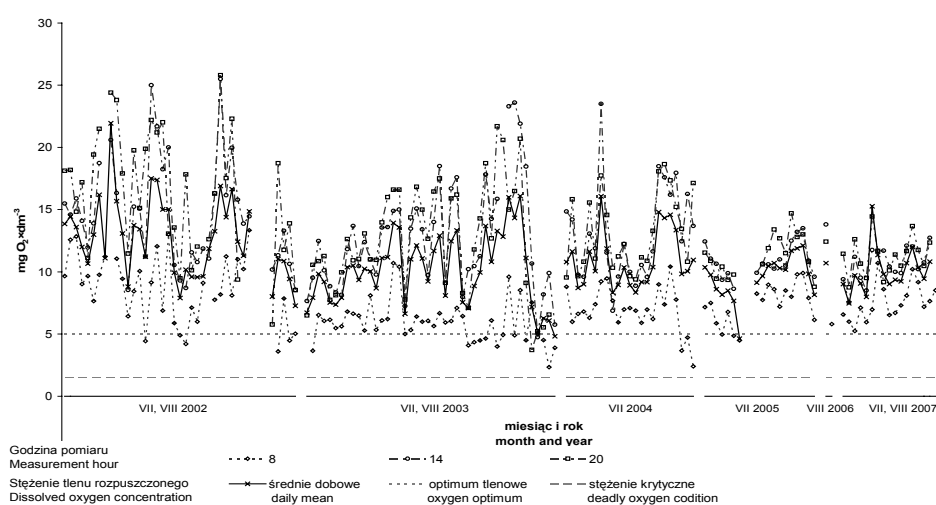
Okres badawczy	Poziom wody w punkcie T Water level in measurement point T			Temperatura powietrza Air temperature			Opad Precipitation			Usłonecznienie Insolation		
	Śr. Mean	Max	Min.	Śr. Mean	Max	Min.	Suma Sum	Max	Min.	Śr. Mean	Max	Min.
	cm			°C			mm			godz. hours		
1.07–9.08.2002	82,2	87	80	20,4	26,3	15,5	63,0	27,3	0	6,4	14,0	0
1.07–13.08.2003	65,1	72	52	20,7	26,6	15,1	110,5	47,5	0	8,2	14,2	0
1.07–25.07.2004	71,0	83	45	18,5	23,7	14,0	57,8	14,2	0	7,1	13,3	0,4
12.07–31.07.2005	79,4	87	73	20,9	26,6	14,8	60,5	28,5	0	7,8	14,3	0,1
21.08.2006	60	–	–	20,4	–	–	2,1	–	–	–	–	–
21.07–6.08.2007	86	92	82	18,3	22,2	14,0	37,8	14,4	0	6,7	13,3	0,1



Rysunek 2. Temperatura powietrza w latach 2002–2007 na stawie „Staś Górny”

Figure 2. Air temperature in 2002–2007 years on Staś Górny pond

Stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie odnotowane o godzinie 8 (rys. 3) kształtowało się w przedziale 2,34–13,34 mg O₂·dm⁻³ (średnio 7,18 mg O₂·dm⁻³), o godzinie 14 (rys. 3) mieściło się w zakresie 4,74–25,5 mg O₂·dm⁻³ (średnio 12,76 mg O₂·dm⁻³) a o 20 (rys. 3) średnio wynosiło 13,32 (zakres 3,72–25,8 mg O₂·dm⁻³). Średnio dobowe stężenie tlenu w warstwie eufotycznej kształtowało się w zakresie 4,62–21,9 mg O₂·dm⁻³ (przeciętnie 10,87 mg O₂·dm⁻³). Charakterystyczne stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie w poszczególnych okresach badawczych zaprezentowano w tabeli 2.



Rysunek 3. Zmienność warunków tlenowych w stawie Staś Górny
Figure 3. Changes of dissolved oxygen concentration in Staś Górny pond

Przekroczenie dolnej granicy optimum tlenowego (5 mg O₂·dm⁻³) odnotowano 22 razy w trakcie pomiarów o godzinie 8 (rys. 3) oraz dwa razy w trakcie pomiarów o godzinie 14. W okresach gdy natlenienie wody spadało poniżej optimum tlenowego nie obserwowano śnięcia karpia. Ważne podkreślenia jest że stężenie ani razu nie spadło poniżej wartości krytycznej (1,6 mg O₂·dm⁻³) powodującej śnięcie ryb.

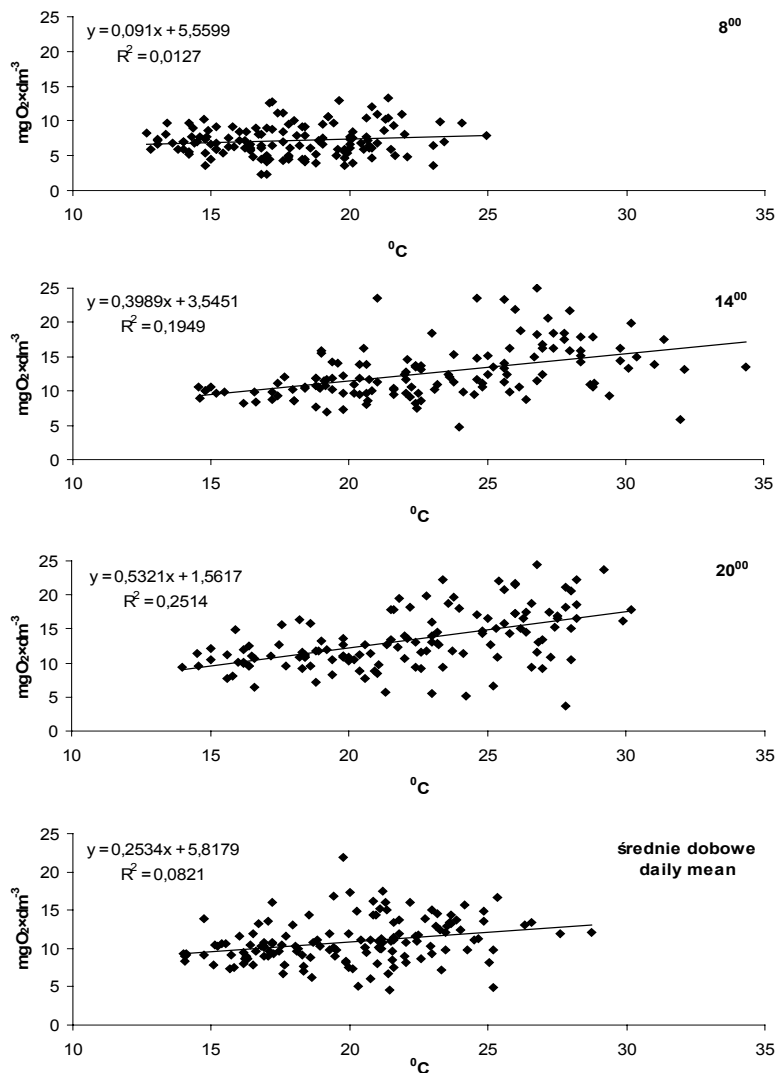
Analiza zależności między stężeniem tlenu w wodzie a temperaturą powietrza o godzinie 8 nie wykazała istotnego statystycznie związku ($r = 0,113$) między natlenieniem wody a temperaturą powietrza (rys. 4). Analizując związki między zawartością tlenu w wodzie a temperaturą powietrza, dla danych z godziny 14 (rys. 4), stwierdzono istotny statystycznie, ale bardzo słaby związek ($r = 0,442$). Natomiast dla danych z godziny 20 wartość współczynnika korelacji była wyższa ($r = 0,501$) a zależność można określić jako istotną statystycznie, ale słabą. Zarówno o 14 jak i o 20 obserwowano wzrost natlenienia wody wraz

z ze wzrostem temperatury powietrza. Wartość współczynnika korelacji ($r = 0,287$) wyznaczona dla średnich dobowych była zdecydowanie niższa od wartości uzyskanych o godzinie 14 i 20, przez co związek ten można ocenić jako bardzo słaby, ale istotny statystycznie. Prawdopodobnie wynika to z faktu, że dla danych z godziny 8 nie uzyskano istotnego statystycznie związku, a odnotowane o tej godzinie natlenienie wody mogło mieć istotny wpływ na średnie dobowe stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie strefy eufotycznej stawu.

Tabela 2. Charakterystyka warunków tlenowych
Table 2. Characteristic of dissolved oxygen condition

Okres badawczy	Strefa eufotyczna Euphotic zone			Godzina pomiaru Hour of measurement								
	Średnie dobowe Dail mean			8 ⁰⁰ 8 am			14 ⁰⁰ 2 pm			20 ⁰⁰ 8 pm		
				Głębokość pomiaru 0,2 m Measurement depth 0,2 m								
	Śr. Mean	Max	Min.	Śr. Mean	Max	Min.	Śr. Mean	Max	Min.	Śr. Mean	Max	Min.
mg O ₂ ·dm ⁻³												
1.07– 9.08.2002	12,70	21,94	7,27	8,61	13,34	3,60	14,47	25,50	8,54	16,38	25,80	5,77
1.07– 13.08.2003	10,11	16,09	4,83	5,94	10,70	2,34	12,57	23,60	4,74	12,49	21,70	3,72
1.07– 25.07.2004	10,93	16,07	8,34	6,94	10,41	2,40	13,06	23,5	6,87	13,20	18,65	9,39
12.07– 31.07.2005	9,94	12,11	4,62	7,37	9,90	4,49	10,86	13,50	8,63	14,70	11,35	8,80
21.08.2006	10,69	–	–	5,8	–	–	13,81	–	–	12,42	–	–
21.07– 6.08.2007	10,04	15,27	7,74	7,46	10,70	5,25	10,59	12,73	7,75	11,26	14,44	8,75

Należy zwrócić również uwagę, że w cyklu dobowym na zawartość tlenu w wodzie o określonej godzinie pomiaru wpływa natlenienie wody z terminu poprzedniego pomiaru. Związek między zawartością tlenu w wodzie o godzinie 8 a stężeniem o godzinie 20 dnia poprzedniego jest bardzo słaby, ale istotny statystycznie, $r = 0,415$. Zależność między natlenieniem wody o godzinie 20 a zawartością o godzinie 14 jest również istotna statystycznie, ale bardzo słaba ($r = 0,484$). Wartość współczynnika korelacji między stężeniem tlenu w wodzie o godzinie 14 a jego zawartością o godzinie 8 wynosi $r = 0,290$, co pozwala stwierdzić że jest to związek bardzo słaby, istotny statystycznie, ale gorszy od odnotowanych w pozostałych dwóch przypadkach. We wszystkich omawianych przypadkach wraz ze wzrostem stężenia tlenu o określonej godzinie pomiaru rosło stężenie tlenu podczas pomiaru wykonanego w następnym terminie. Jednocześnie można stwierdzić, że natlenienie wody o godzinie 14 i 20 wyraźnie wpływało na stężenie tlenu odnotowywane podczas następujących po nich pomiarach.



Rysunek 4. Zależność stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie strefy eufotycznej od temperatury powietrza

Figure 4. Relationship between dissolved oxygen concentration in euphotic zone and air temperature.

Wzrostu zawartości tlenu w wodzie ze wzrostem temperatury powietrza można upatrywać we wzroście aktywności metabolicznej i biochemicznej fitoplanktonu produkującego tlen. Wartość współczynnika korelacji ($r = 0,442$; $r = 0,501$) sugeruje, że związek ten jest bardzo słaby i słaby, a na natlenienie wody

mogą mieć wpływ także inne czynniki, np.: temperatura wody, usłonecznienie, przezroczystość wody, prędkość wiatru, biomasa fitoplanktonu [Chojnacki 1998; Bieniarz i in. 2003; Jawecki, Krzemińska 2008]. Odnotowane o godzinie 14 i 20 najwyższe wartości współczynnika korelacji mogą świadczyć o wpływie temperatury powietrza i promieniowania słonecznego na warunki tlenowe, gdzie dla natlenienia odnotowanego wieczorem (godz. 20) nie bez znaczenia pozostaje stężenie tlenu występujące podczas pomiarów popołudniowych (godz. 14). Należy dodać, że ze względu na mniejszy kąt padania na taflę wody promieni słonecznych o godzinie 8 niż o godzinie 14, ilość energii docierającej w głąb profilu wodnego jest mniejsza, przez co fotosynteza jest mniej intensywna. Może to tłumaczyć zaobserwowane różnice.

WNIOSKI

1. Istotny statystycznie związek między zawartością tlenu w wodzie eufotycznej strefy żyznego stawu rybnego a temperaturą powietrza odnotowano w trakcie pomiarów o godzinie 14⁰⁰ i 20⁰⁰. W godzinach po południowo-wieczornych przy wzroście temperatury powietrza obserwowano wzrost zawartości tlenu w wodzie.

2. Strefa eufotyczna, eutroficznego stawu karpiego wykazuje duże dobowe wahania zawartości tlenu w wodzie, gdzie stężenia poniżej granicy optimum tlenowego dla karpia obserwowane są najczęściej rano (minimum = 2,34 mg O₂·dm⁻³), a przesylenie wody tlenem po południu i wieczorem (maksimum = 25,8 mg O₂·dm⁻³).

3. Zawartość tlenu w wodzie podczas pomiarów terminowych o godzinie 14 i 20 miała wpływ na stężenie tlenu odnotowywane podczas następujących po nich pomiarach terminowych, gdzie wraz ze wzrostem stężenia tlenu o godzinie 14⁰⁰ i 20⁰⁰ rosło stężenie tlenu podczas pomiaru wykonanego w następnym terminie.

4. W strefie eufotycznej eutroficznego stawu karpiego wraz ze wzrostem temperatury powietrza obserwowano wzrost natlenienia wody, co należy upatrywać we wzroście aktywności metabolicznej i biochemicznej fitoplanktonu produkującego tlen. Jednakże niska wartość współczynnika korelacji sugeruje, że obok temperatury powietrza na natlenienie strefy eufotycznej stawu wpływają także inne czynniki, np. temperatura wody, usłonecznienie, prędkość wiatru oraz fakt, że ze wzrostem temperatury wody maleje rozpuszczalność tlenu w wodzie.

BIBLIOGRAFIA

- Bieniarz K., Kownacki A., Epler P. *Biologia stawów rybnych*. Część 1 i 2. Wydawnictwo IRS, Olsztyn 2003, s. 356.
- Cebulak E. *Ryzyko występowania upałów w Polsce*. Ogólnopolska Konferencja Naukowa: Zmiany i zmienność klimatu Polski - Ich wpływ na gospodarkę, ekosystemy i człowieka. Łódź 4-6.11.1999, 1999, s. 29-42.
- Chojnacki J. *Podstawy ekologii wód*. Wydawnictwo AR w Szczecinie, Szczecin 1998, s. 177.
- Danielewski S. *Wpływ intensyfikacji produkcji ryb na warunki tlenowe w stawach karpowych*. Roczniki Nauk Rolniczych Tom 91-H-4, 1970, s. 451-466.
- Drabiński A. *Wpływ gospodarowania wodą w stawach rybnych na odpływ ze zlewni rzeki Baryczy do przekroju Łąki*. Zesz. Nauk. Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Rozprawy nr 90. Wrocław 1991, s. 57.
- Fang X., Stefan H. G., Eaton J. G., McCormick J. H., Alam S. R. *Simulation of thermal/dissolved oxygen habitat for fishes in lakes under different climate scenarios*. Part 1. Cool-water fish in the contiguous US. *Ecological Modelling* 172, 2004a, s. 13-38.
- Fang X., Stefan H. G., Eaton J. G., McCormick J. H., Alam S. R. *Simulation of thermal/dissolved oxygen habitat for fishes in lakes under different climate scenarios*. Part 2. Cold-water fish in the contiguous US. *Ecological Modelling* 172, 2004b, s. 39-54.
- Fang X., Stefan H. G., Eaton J. G., McCormick J. H., Alam S. R. *Simulation of thermal/dissolved oxygen habitat for fishes in lakes under different climate scenarios*. Part 3. Warm-water fish in the contiguous US. *Ecological Modelling* 172, 2004c, s. 55-68.
- Jawecki B., Drabiński A. 2003: *Kształtowanie się warunków tlenowych w stawie karpowym, w lipcu 2002 r.* Zesz. Nauk. AR w Krakowie, seria Inżynieria Środowiska nr 24, 2003, s. 39-46.
- Jawecki B., Krzemińska A. *Wpływ temperatury wody na natlenienie strefy eufotycznej stawu karpowego*. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol., 528, 2008, s. 381-387.
- Kapetsky J. M. *Present applications and future needs of meteorological and climatological data in inland fisheries and aquaculture*. *Agricultural and Forest Meteorology* 103, 2000, s. 109-117.
- Kisand V., Nõges T. *Abiotic and biotic factors regulating dynamics of bacteriolankton in a large shallow lake*. *FEMS Microbiology Ecology* 50, 2004, s. 51-62.
- Krzyczkowski P. 2000: *Wpływ wybranych warunków meteorologicznych na kształtowanie się temperatury w stawie karpowym*. AR we Wrocławiu, 2000, s. 70, rozprawa doktorska.
- Łysak A., Polak S., Strutyński J., Ligaszewski M., Miernik W., Łojek J. *Rola stawów rybnych w eliminacji zanieczyszczeń wód*. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu nr 271, Zootechnika XL, 1995, s. 201-226.
- Mohanty R. K., Verma H. N., Brahmanand P. S. *Performance evaluation of rice-fish integration system in rainfed medium land ecosystem*. *Aquaculture* 230, 2004, s. 125-135.
- Perschbacher P. W., Ludwig G. M. *Effects of diuron and other aerially applied cotton herbicides and defoliant on the plankton communities of aquaculture ponds*. *Aquaculture* 223, 2004, s. 197-203.
- Sasik J. *Parowanie ze stawu rybnego*. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Rozprawy nr 107. Wrocław 1992, s. 63.
- Szumiec. *Meteorologia a chów karpia*. Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna: Stan i perspektywy gospodarki stawowej. Wrocław 4-6.09.1984, część 1, 1984a, s. 19-33.
- Szumiec. *Termika stawów karpowych*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1984b, s. 135.
- Szymański J., Drabiński A., Sasik J. *Parowanie z wolnej powierzchni w stawach rybnych na tle elementów meteorologicznych*. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol., 277, 1983, s. 177-186.

- Tadesse I., Green F. B., Puhakka J. A. *Seasonal and diurnal variations of temperature, pH, and dissolved oxygen in advanced integrated wastewater pond system treating tannery effluent.* Water Research 38, 2004, s. 645–654.
- Tokarczyk-Dorociak K., Drabiński A. *Kształtowanie się warunków świetlnych w stawie karpio-wym.* Zesz. Nauk. AR w Krakowie nr 393, Inżynieria Środowiska, z.23, 2002, s. 181–185.
- Vörös L., V.-Balogh K., Koncz E., Kovács A. *Phytoplankton and bacterioplankton production in a reed-covered water body.* Aquatic Botany 77, 2003, s. 99–110.
- Woźniewski M. *Warunki tlenowe w chowie i hodowli ryb karpio-watych.* Drabiński A. (Red.): Wytyczne do oceny jakości wód przydatnych do chowu i hodowli ryb karpio-watych. Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, 1992, s. 21–31.
- Yoshida T., Sekino T., Genkai-Kato M., Logacheva N. P., Bondarenko N. A., Kawabata Z., Khodzher T. V., Melnik N. G. Hino S., Nozaki K., Nishimura Y., Nagata T., Higashi M., Nakanishi M. *Seasonal dynamics of primary production in the pelagic zone of southern Lake Baikal.* The Japanese Society of Limnology, Limnology 4, 2003, s. 53–62.

Bartosz Jawecki
Instytut Architektury Krajobrazu
Tomasz Kowalczyk
Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska
Beata Malczewska
Instytut Inżynierii Środowiska

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Recenzent: *Prof. dr hab. S. Murat-Błażejewska*