INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 10/2011, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 121–132
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

Bartosz Jawecki

WPŁYW USŁONECZNIENIA NA WARUNKI TLENOWE STREFY EUFOTYCZNEJ STAWU KARPIOWEGO

AN INFLUENCE OF INSOLATION ON OXYGEN CONDITION IN EUPHOTIC ZONE OF CARP POND

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu sumy usłonecznienia na warunki tlenowe w stawie karpiowym, położonym w rezerwacie przyrody „Stawy Milickie". Średnie stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie o godzinie 8 wynosiło 7,18 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$,o 14 12,23 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$, a o 20 12,79 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$. W strefie eufotycznej żyznego stawu rybnego obserwowano duże wahanie zawartości tlenu w wodzie. Stężenia poniżej granicy optimum tlenowego dla karpi (5 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$) obserwowane były najczęściej w trakcie pomiarów o godzinie 8^{00} (minimum = 2,40 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$). Przesycenie wody tlenem odnotowywano po południu (godzina 14^{00}) i wieczorem (godzina 20^{00}).. Analiza zależności między zawartością tlenu wodzie a temperaturą powietrza wykazała istotny statystycznie, ale bardzo słaby związek dla pomiarów o 8^{00}, 14^{00} i 20^{00}, gdzie przy wzroście temperatury powietrza obserwowano wzrost natlenienia wody.

Słowa kluczowe: tlen rozpuszczony, usłonecznienie, staw karpiowy, stawy milickie, rezerwat przyrody

Summary

The results of research on influence of insolation on oxygen condition in carp pond are present in this paper. Mean of dissolved oxygen concentration observed at 8 am were equal 7,18 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$, at 2 pm – 12,23 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$ and at 8 pm – 12,79 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$. Large fluctuations of dissolved oxygen concentration in the euphotic zone of eutrophic fish pond were observed. Oxygen condition lower then lower limit of dissolved oxygen concentration for carp (5 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$) were observed at 8 am (minimum = 2,40 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$). The highest oxygen concentration

were observed in the afternoon (14 pm) and in the evening (8 pm). Analysis of connection between insolation and dissolved oxygen concentration revealed weak but essential relationship for the results at 8 am, 2 pm and 8 pm. Increase of oxygen concentration was observed with increasing of insolation.

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

WSTĘP

W ekosystemie stawowym źródłem tlenu w wodzie jest dopływ świeżej wody, dyfuzja z atmosfery oraz fotosynteza, stanowiąca nawet 80% przychodów tlenu w stawie. Jego stężenie zależy od wielu czynników m.in. temperatury, promieniowania słonecznego, przezroczystość wody, zawartość składników pokarmowych [Sadowki i in. 1999, Jawecki 2005, Jawecki, Krzemińska 2008, Jawecki i in. 2008]. Na wielkość przychodów tlenu ma wpływ produkcja pierwotna, której najwyższe wartości obserwuje się w lecie (lipiec-sierpień), a najniższe zimą (grudzień-luty), i zachodzi najintensywniej w warstwie eufotycznej [Yoshida i in. 2003; Vörös i in. 2003; Kisand, Nõges 2004].

Promieniowanie słoneczne jest niezbędne do produkcji tlenu w procesie fotosyntezy. Odpowiednia ilość światła docierająca do powierzchni wody gwarantuje stabilną fotosyntezę. W bezchmurne dni, głównie przy zakwicie glonów, można zaobserwować przesycenie wody tlenem. Natomiast w okresie zachmurzenia, przy niższym promieniowaniu słonecznym, bardzo często obserwuje się niższe natlenienie wody w wyniku słabszej fotosyntezy. Jednocześnie zbyt intensywne promieniowanie słoneczne może przyczyniać się do osłabienia fotosyntezy, skutkującej niższymi stężeniami tlenu rozpuszczonego. Zjawisko takie można spotkać w warstwie powierzchniowej przeważnie czystych zbiorników wodnych. [Szumiec 1984; Halwart i in. 1996; Avnimelech 1999; Kajak 2001; Yoshida i in. 2003, Jawecki 2008, Jawecki i in. 2008].

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

Karp jest rybą odporną na wahania i niedobory tlenu w wodzie. Za dolną granicę optimum tlenowego dla niego przyjmuje się 5 mg O_2 dm^{-3}. Spadek natlenienia wody do wartości 2-3 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$ wywołuje niepokój, a stężenia tlenu w granicach 0,5-1,6 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$ powodują śmierć, jednakże przez pewien czas, karp potrafi przeżyć w wodzie o zawartości tlenu wynoszącej 0,3-0,5 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$ [Danielewski 1970; Woźniewski 1992; Łysak i in. 1995; Bieniarz i in. 2003; Mohanty i in. 2004].

Prezentowany artykuł jest częścią cyklu poświęconego wpływom wybranych czynników na natlenienie strefy eufotycznej stawu karpiowego. Dotychczas opublikowano prace poświęcone wpływowi temperatury wody [Jawecki, Krzemińska 2008] i temperatury powietrza na zwartość tlenu w strefie eufotycznej stawu karpiowego [Jawecki i in. 2008].

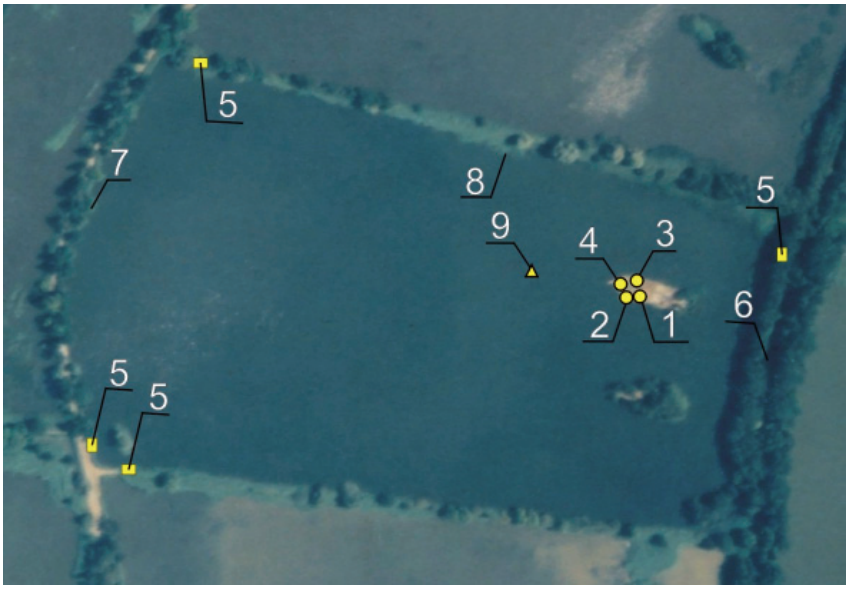
Dotychczasowe obserwacje wykazały, że ze wzrostem temperatury wody i powietrza, wzrastała zawartość tlenu w wodzie. przy czym odnotowywano niskie współczynnikach korelacji, rzadko przekraczające r=0,5 [Jawecki 2005; Jawecki, Krzemińska 2008, Jawecki i in. 2008]. Obserwacje te nie są zaprzeczeniem praw fizyki, gdzie ze wzrostem temperatury maleje rozpuszczalność gazów w wodzie. Zjawisko to należy tłumaczyć i upatrywać we wzroście aktywności i wydajności fizjologicznej fitoplanktonu produkującego tlen. Niskie wartości współczynników korelacji wskazują, że obok temperatury powietrza na natlenienie strefy eufotycznej stawu wpływają także inne czynniki, wśród których wyróżnić możemy promieniowanie słoneczne docierające do powierzchni stawu i przenikające w głąb jego profilu, a długość okresów słonecznych wyrażonych sumą usłonecznienie odgrywa ważną rolą w kształtowaniu optymalnych warunków termicznych i produkcji tlenu w procesie fotosyntezy.

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, gdzie około 3 ha porośnięte jest roślinnością szuwarową. Średnia głębokość stawu wynosi 0,9 m (głębokość maksymalna około 1,6 m) a dopuszczalny poziom piętrzenia wynosi 108,30 m. n.p.m. Ze względu na duże niedobory wody w okresach badawczych, sięgające 500 mm [Jawecki 2005], utrzymanie dopuszczalnego poziomu piętrzenia w poszczególnych okresach badawczych było trudne. Szczegółowy opis obiektu znajduje się w m.in. pracach Drabińskiego [1991], Sasika [1992] i Jaweckiego [2005]. Pomiary przeprowadzono w jednym pionie (pkt T) zlokalizowanym w centralnej części stawu o średniej głębokości (rys. 1) [Jawecki, Drabiński 2003; Jawecki 2005, Jawecki i in. 2008], odzwierciedlającym procesy termiczne i parowanie całego zbiornika [Sasik 1992, Krzyczkowski 2000].

Badania przeprowadzone przez autora [2005] wskazują na eutroficzny a w skrajnych przypadkach hipertroficzny charakter wody w „Stasiu Górnym", gdzie przezroczystości (mierzona krążkiem Secchiego) wynosiła przeciętnie 0,2 m, wahając się w granicach 0,16 - 0,25 m. W przybliżeniu zasięg strefy eufotycznej stanowi dwukrotność widzialności krążka Secchiego. W Stasiu Górnym założono jej zasięg na 0,4 m. Ważne jest również, że w warunkach stawu „Staś Górny"

od 40% do 60% promieniowania słonecznego pochłaniane jest w warstwie 0,0-0,1 m [Krzyczkowski 2000, Tokarczyk-Dorociak, Drabiński 2002], przyczyniając się, dzięki intensywnej fotosyntezie, do dużego przesycenia tlenem przypowierzchniowych (0,01 – 0,2 m) warstw wody [Jawecki 2005, Jawecki, Krzemińska 2008, Jawecki i in. 2008]. Dlatego do analizy statystycznej przyjęto stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie odnotowane na głębokości odpowiadającej średniej przeźroczystości wody (0,2 m), stanowiącej jednocześnie połowę przyjętego zasięgu strefy eufotycznej. Pomiar natlenienia wody w pionie pomiarowym wykonywano na 5 głębokościach, od 0,01 m do 0,4 m od powierzchni wody przy użyciu miernika wielofunkcyjnego Multi 340i z sondą tlenową CellOx 325 firmy WTW (zakres pomiarowy 0,0-19,19 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$ lub 0,0-90 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$, dokładność ±0,5%), określającą również temperaturę wody (dokładność 0,1 ^{0}C). Obserwacje wykonywano 3 razy na dobę o godzinach 8^{00}, 14^{00}, 20^{00} - czas letni [Jawecki 2005, Jawecki, Krzemińska 2008, Jawecki i in. 2008]. Do analizy związków wykorzystano średnie dobowe stężenie tlenu obliczone jako średnia arytmetyczna z wszystkich pomiarów przeprowadzonych w danym dniu oraz wyniki uzyskane w połowie zasięgu strefy eufotycznej (0,2 m).



Rysunek 1. Staw Staś Górny: 1 – klatka meteorologiczna, 2 – heliograf, 3 –deszczomierz Hellmana, 4 – automatyczna stacja meteorologiczna, 5 - mnichy, 6 – doprowadzalnik, 7 – drzewa i krzewy, 8 – makrofity, 9 – punkt pomiarowy T [Jawecki i in. 2008]
Fig. 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 [Jawecki et all 2008]

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

Określenia związków między zawartością tlenu rozpuszczonego w wodzie, a usłonecznieniem dokonano wyznaczając współczynnik korelacji oraz przeprowadzając analizę regresji. Istotność statystyczną korelacji i regresji zweryfikowano testem F, przy poziomie istotności $\alpha = 0{,}05$ i stopniach swobody wynoszących 1 oraz N-2. W analizie niepewności pomiarowej zastosowano metodę obliczeniową dla serii pomiarowej długiej (n>10) i pomiarów bezpośrednich.

WYNIKI

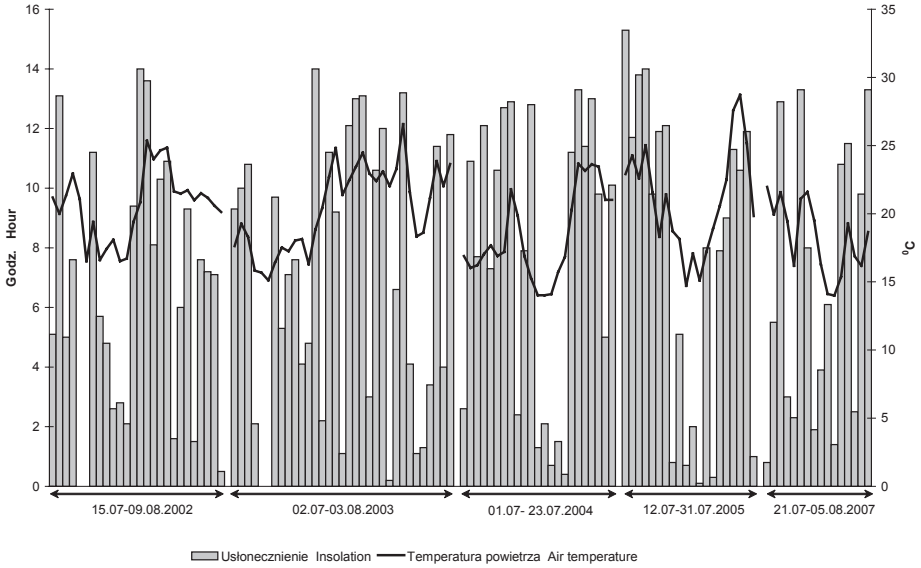
W okresie badawczym obserwowano niedobory opadów, mimo stosunkowo wysokich sum opadów, o których często decydowały intensywne burze. Analizując średnie sumy dobowego usłonecznienia stwierdzono, że najlepsze warunki panowały w 2005 roku (średnio 7,9 godziny) a najgorsze w 2002 roku (6,4 godziny). Zestawienie charakterystycznych parametrów meteorologicznych przedstawiono w tabeli 1. Najzimniejszy okres badawczy wystąpił w 2007 roku (średnia dobowa temperatura powietrza wynosiła przeciętnie 16,7°C), a najcieplejszy był rok 2005 (średnia dobowa temperatura powietrza wynosiła przeciętnie 21,0°C).

Tabela 1. Charakterystyka warunków meteorologicznych
Tabel 1. Characteristic of meteorological factors

Okres badawczy Research period	Temperatura powietrza Air temperature			Opad Precipitation			Usłonecznienie Insolation		
	Śr. Mean	Max	Min.	Suma Sum	Max	Min.	Śr. Mean	Max	Min.
	^{0}C			mm			godz. hours		
15.07-09.08.2002	20,6	25,4	16,5	41,5	27,3	0,0	6,4	14,0	0,0
02.07-03.08.2003	20,4	26,6	15,1	88,6	47,5	0,0	7,0	14,0	0,0
01.07-23.07.2004	18,4	23,7	14,0	57,7	14,2	0,0	7,8	13,3	0,4
12.07-31.07.2005	21,0	28,7	14,7	61,7	28,1	0,0	7,9	15,3	0,1
21.07-05.08.2007	16,7	19,3	14,0	12,3	3,4	0,0	6,7	13,3	0,8

W trakcie przeprowadzonych okresie badawczy pomiarów usłonecznienie, stwierdzono, że sumy usłonecznienie odnotowywane do godziny 8 wahały się od braku usłonecznienia do 3,3 godziny odnotowaną w 2007 r. W całym okresie

badawczym brak usłonecznienia obserwowano 43 razy, najwięcej w 2003 r. (11 razy). Średnio suma usłonecznienia do godziny 8 wynosiła 1,0 godzinę. Analiza sum usłonecznienia do godziny 14 wykazała brak usłonecznienia w 12 przypadkach, najwięcej w 2004 r. (4 razy). Maksymalną sumę usłonecznienia do godziny 14 wynoszącą 8,7 godziny odnotowano w 2003 i 2005 roku. Przeciętnie suma usłonecznienia do godziny 14 wynosiła 4,4 godziny. Suma usłonecznienia do godziny 20 średnio wynosiła 7,2 godziny, przy maksymalnej wartości równej 14,7 godziny odnotowanej w 2005 roku. Analiza dobowych sum usłonecznienia pokazała, że średnio dobowe usłonecznienie wynosiło 7,7 godziny przy maksimum wynoszącym 15,3 godziny, odnotowanym w 2005 roku. Liczba dni bez usłonecznienia wynosiła 5, gdzie po dwa dni z całkowitym brakiem usłonecznienia stwierdzono w 2002 i 2003 roku. Przebieg średniej dobowej temperatury powietrza i dobowej sumy usłonecznienia przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Temperatura powietrza i usłonecznienie w latach 2002-2007 na stawie „Staś Górny"

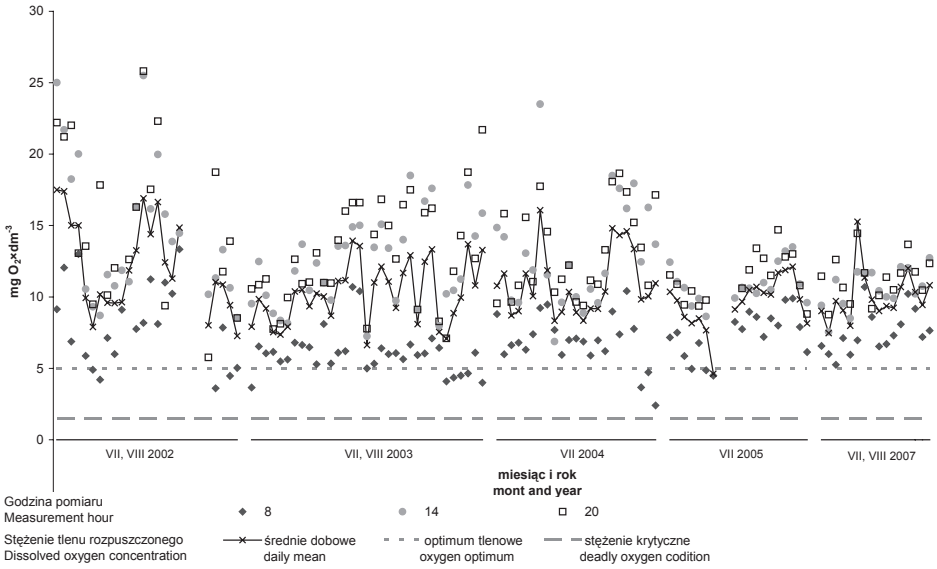
Figure 2 Air temperature and insolation in 2002-2007 years on Staś Górny pond

Stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie odnotowane o godzinie 8 (rys. 3) kształtowało się w przedziale 2,40 - 13,34 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$ (średnio 7,18 ±0,26 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$), o godzinie 14 (rys. 3) mieściło się w zakresie 6,87 – 25,5 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$ (średnio 12,23 ±0,34 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$) a o 20 (rys. 3) średnio wynosiło 12,79 ±0,35 (zakres 5,77 – 25,8 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$). Średnio dobowe stężenie tlenu w warstwie

eufotycznej kształtowało się w zakresie 4,62 – 17,0 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$ (przeciętnie 10,59 ±0,31mg $O_2 \cdot dm^{-3}$). Charakterystyczne wartości stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie w poszczególnych okresach badawczych zaprezentowano w tabeli 2.

Przekroczenie dolnej granicy optimum tlenowego (5 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$) odnotowano 16 razy tylko w trakcie pomiarów o godzinie 8 (rys. 3). W okresach gdy natlenienie wody spadało poniżej optimum tlenowego nie obserwowano śnięcia karpi. Ważne podkreślenia jest że stężenie ani razu nie spadło poniżej wartości krytycznej (1,6 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$) powodującej śnięcie ryb.

Analiza parametrów jakości wody stawowej pokazała, że przez większość okresu badawczego woda wykazywała eutroficzny, wręcz hipertroficzny charakter (tabela 3). Skutkiem tego były zakwity glanów pojawiające się w połowie lipca (niekiedy na początku lipca) i utrzymujące się do końca sierpnia. Wysokie wartości chlorofilu–a odnotowane w drugiej połowie lipca (tabela 3), wskazują na potencjalnie dużą ilość fitoplanktonu, będącego ważnym źródłem tlenu w wodzie stawowej. Ze względów technicznych i finansowych w 2005 roku nie prowadzono analiz laboratoryjnych wody.



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

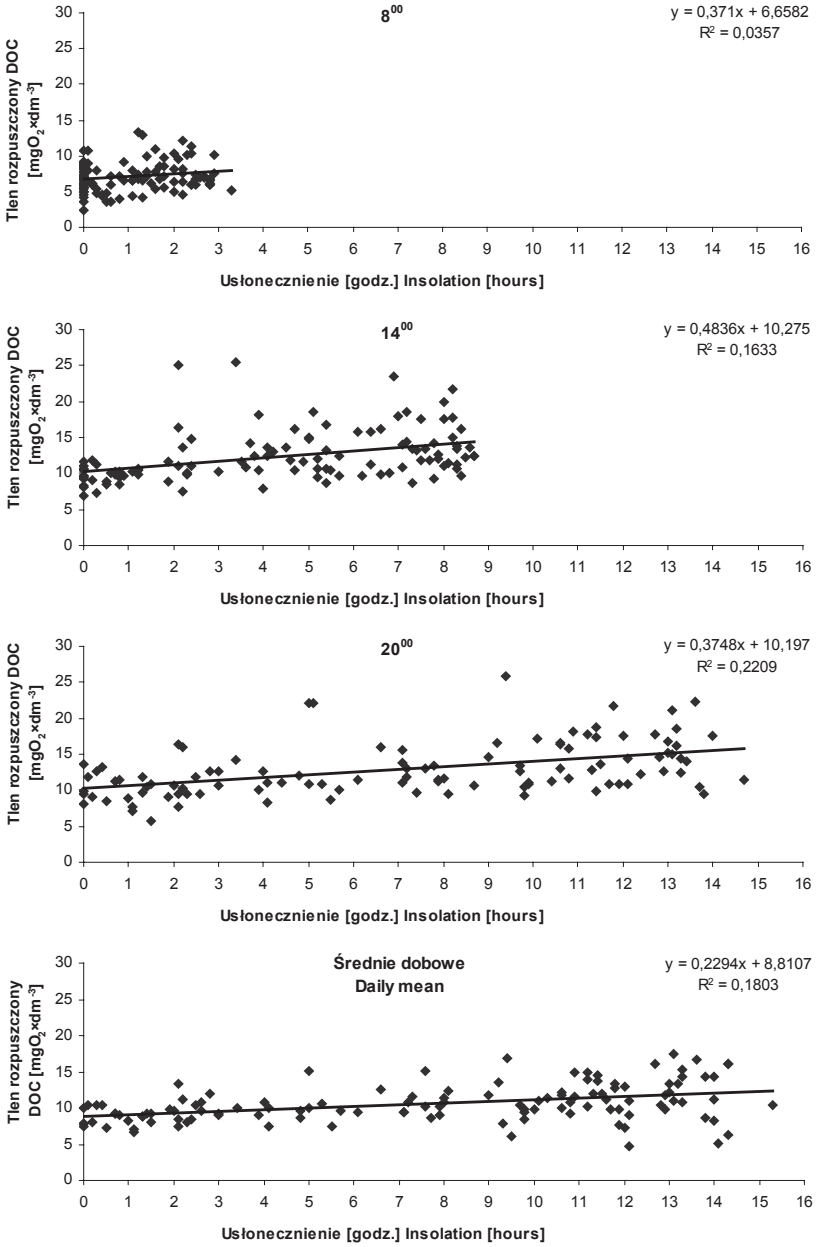
Tabela 2. Charakterystyka warunków tlenowych
Tabel 2. Characteristic of dissolved oxygen condition (DOC)

Okres badawczy Research period	Strefa eufotyczna Euphotic zone			Godzina pomiaru Hour of measurement								
	Średnie dobowe Daily 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 $O_2 \cdot dm^{-3}$											
15.07-09.08 2002	12,17± 0,68	17,50	7,27	8,05±0, 65	13,34	3,60	14,31± 1,08	25,50	8,54	15,20± 1,24	25,80	5,77
02.07-03.08 2003	10,26± 0,38	13,93	6,63	6,05±0, 27	10,70	3,66	12,31± 0,54	18,50	7,25	12,96± 0,63	21,70	7,10
01.07-23.07 2004	10,93± 0,48	16,07	8,34	6,94±0, 39	10,41	2,40	13,06± 0,82	23,50	6,87	13,20± 0,66	18,65	9,39
12.07-31.07 2005	9,54±0, 43	12,11	4,62	7,37±0, 38	9,90	4,49	10,86± 0,33	13,50	8,63	11,35± 0,42	14,70	8,80
21.07-05.08 2007	10,04± 0,46	15,27	7,47	7,50±0, 39	10,70	5,25	10,59± 0,36	12,73	7,55	11,26± 0,39	14,44	8,75

Tabela 3. Wybrane właściwości składu chemicznego wody w stawie „Staś Górny”
Tabel 3. Selected values of chemical composition of the pond „Staś Górny” waters

Parametr		Rok 2002		Rok 2003		Rok 2004	Rok 2005	Rok 2007
		24.07	27.08	09.07	27.08	14.07		25.07
Sucha pozostałość ogólna Total dry matter	$mg \cdot dm^{-3}$	278,4	324,4	245,6	339,2	355		213,6
Zawiesiny ogólne Total suspension	$mg \cdot dm^{-3}$	94,4	27,8	9,6	41,2	29,4		6,3
$ChZT_{(Mn)}$ $COD_{(Mn)}$	mg $O_2 \cdot dm^{-3}$	34,8	33,1	20,9	47	38,1		20,3
$ChZT_{(Cr)}$ $COD_{(Cr)}$	mg $O_2 \cdot dm^{-3}$	149,4	142,7	39,1	169,1	176,2		60,5
BZT_5 BOD_5	mg $O_2 \cdot dm^{-3}$	14,8	21,6	12,7	32	22,4		8,8
Azot amonowy Amonia nitrogen	$mgN_{NH4} \cdot dm^{-3}$	0,38	0,34	0,01	0,08	0,03	b.d. *	0,02
Azotany Nitrates	$mgN_{NO3} \cdot dm^{-3}$	0,18	0,18	0,12	1,02	0,34		n.w.**
Azotynowy Nitrites	$mgN_{NO2} \cdot dm^{-3}$	0,002	0,007	0,005	0,007	0,007		0,007
Fosforany phosphates	mg $PO_4 \cdot dm^{-3}$	0,03	0,03	0,02	0,12	0,02		0,02
Chlorofil –a Chlorophyll - a	$\mu g \cdot dm^{-3}$	433	336,8	84,2	433	317,1		b.d.
Uwagi Observations		Zakwit Algae outbreak			Zakwit Algae outbreak	Zakwit Algae outbreak		Zakwit Algae outbreak

*Brak danych, No date, **Nie występuje, Not found



Rys. 4 Zależność stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie strefy eufotycznej od usłonecznienia

Fig. 4 Relationship between dissolved oxygen concentration (DOC) in euphotic zone and insolation

Analiza zależności między stężeniem tlenu w wodzie o godzinie 8 a sumą usłonecznienia do godziny 8 wykazała brak związku (r = 0,189) między natlenieniem wody a usłonecznieniem (rys. 4). Analizując związki między zawartością tlenu wodzie o 14 a sumą usłonecznienia do godziny 14 (rys. 4), stwierdzono istotny statystycznie, ale bardzo słaby związek (r = 0,404). Natomiast dla danych z godziny 20 wartość współczynnika korelacji była wyższa (r = 0,470) a zależność można określić jako istotną statystycznie, ale słabą. We wszystkich analizowanych przypadkach obserwowano wzrost natlenienia wody wraz z ze wzrostem sumy usłonecznienia. Wartość współczynnika korelacji (r = 0,425) wyznaczona dla związku średniego dobowego stężenia tlenu z dobową sumą usłonecznienia była niższa jedynie od współczynnika korelacji uzyskanego o godzinie 20, a związek ten można ocenić jako słaby, istotny statystycznie.

Wzrostu zawartości tlenu w wodzie ze wzrostem temperatury powietrza można upatrywać we wzroście aktywności fizjologicznej fitoplanktonu produkującego tlen. Wartość współczynnika korelacji (14^{00} r = 0,404, 20^{00} r = 0,470, średnie i sumy dobowe r = 0425) sugeruje, że związek ten jest bardzo słaby, a na natlenienie wody wpływają także inne czynniki, m.in.: temperatura wody, temperatura powietrza, przezroczystość wody, prędkość wiatru, biomasa fitoplanktonu [Chojnacki 1998; Bieniarz, i in. 2003; Jawecki 2005, Jawecki, Krzemińska 2008, Jawecki 2008]. Odnotowane o godzinie 14 i 20 najwyższe wartość współczynnika korelacji mogą świadczyć o wpływie usłonecznienia na warunki tlenowe panujące w stawie karpiowym, Zaobserwowane różnice pomiędzy wartościami odnotowanymi rano a popołudniu, wynikają z mniejszego kąta padania promieni słonecznych na taflę wody o godzinie 8 niż o godzinie 14. W związku z czym ilość energii docierającej w głąb profilu wodnego jest mniejsza, a fotosynteza zachodzi mniej intensywnie.

WNIOSKI

1. Dla wyników pomiarów o godzinie 14^{00} i 20^{00} oraz średniego dobowego stężenia tlenu i dobowych sum usłonecznienia, stwierdzono istotny statystycznie związek między zawartością tlenu w wodzie strefy eufotycznej żyznego stawu karpiowego a sumą usłonecznienia, gdzie przy wzroście sumy usłonecznienia obserwowano wzrost zawartości tlenu w wodzie.

2. Obserwowany w strefie eufotycznej eutroficznego stawu karpiowego wzrost natlenienia wody wraz ze wzrostem sumy usłonecznienia należy tłumaczyć wzrostem produkcji tlenu przez fitoplankton. Jednakże niska wartość współczynników korelacji sugeruje, że obok usłonecznienia na natlenienie strefy eufotycznej stawu wpływają także inne czynniki, np. temperatura wody, temperatury powietrza, prędkość wiatru oraz fakt, że ze wzrostem temperatury wody maleje rozpuszczalność tlenu w wodzie.

3. Eutroficzny staw karpiowy wykazuje duże dobowe wahania natlenienia wody strefy eufotycznej. Stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie poniżej granicy optimum tlenowego dla karpi występują zazwyczaj rano (minimum = 2,40 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$), a przesycenie wody tlenem po południu i wieczorem.

BIBLIOGRAFIA

Avnimelech Y. 1999. *Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems*. Aquaculture 176: 227-235.

Bieniarz K., Kownacki A., Epler P. 2003. *Biologia stawów rybnych. Część 1 i 2* . Wydawnictwo IRS, Olsztyn: 356 s.

Chojnacki J. 1998. *Podstawy ekologii wód*. Wydawnictwo AR w Szczecinie, Szczecin: 177 ss.

Danielewski S. 1970. *Wpływ intensyfikacji produkcji ryb na warunki tlenowe w stawach karpiowych.* Roczniki Nauk Rolniczych Tom 91-H-4: 451-466.

Drabiński A. 1991. *Wpływ gospodarowania wodą w stawach rybnych na odpływ ze zlewni rzeki Baryczy do przekroju Łąki*. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Rozprawy nr 90. Wrocław: 57 ss.

Halwart M., Borlinghaus M., Kaule G. 1996. *Activity pattern of fish in rice fields*. Aquaculture 145: 159-170.

Jawecki B., Drabiński A. 2003. *Kształtowanie się warunków tlenowych w stawie karpiowym, w lipcu 2002 r*. Zeszyty Naukowe AR w Krakowie, seria Inżynieria Środowiska nr 24: 39-46.

Jawecki B. 2005: *Wpływ wybranych czynników meteorologicznych i zabiegów gospodarczych na kształtowanie się warunków tlenowych w stawie karpiowym*. Akademia Rolnicza we Wrocławiu, Rozprawa doktorska (maszynopis): 145 ss.

Jawecki B., Kowalczyk T., Malczewska B. 2008. *Wpływ temperatury powietrza na natlenienie strefy eufotycznej stawu karpiowego*. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich. 9/2008. Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi PAN: 195-206.

Jawecki B., Krzemińska A. 2008. *Wpływ temperatury wody na natlenienie strefy eufotycznej stawu karpiowego.* Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 528: 381-387.

Kajak Z. 2001. *Hydrobiologia – limnologia. Ekosystemy wód śródlądowych*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa: 360 ss.

Kapetsky J.M. 2000. *Present applications and future needs of meteorological and climatological data in inland fisheries and aquaculture*. Agricultural and Forest Meteorology 103: 109-117.

Kisand V., Nõges T. 2004. *Abiotic and biotic factors regulating dynamics of bacteriolankton in a large shallow lake*. FEMS Microbiology Ecology 50: 51-62.

Krzyczkowski P. 2000. *Wpływ wybranych warunków meteorologicznych na kształtowanie się temperatury w stawie karpiowym*. AR we Wrocławiu. Rozprawa doktorska: 70 ss.

Łysak A., Polak S., Strutyński J., Ligaszewski M., Miernik W. Łojek J. 1995. *Rola stawów rybnych w eliminacji zanieczyszczeń wód*. Zeszyty Naukowe Akademii Rolnicze we Wrocławiu nr 271, Zootechnika XL: 201-226.

Mohanty R.K., Verma H.N., Brahmanand P.S. 2004. *Performance evaluation of rice-fish integration system in rainfed medium land ecosystem*. Aquaculture 230: 125-135.

Sasik J. 1992. *Parowanie ze stawu rybnego*. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Rozprawy nr 107. Wrocław 63 ss.

Szumiec 1984. *Meteorologia a chów karpia*. Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna: Stan i perspektywy gospodarki stawowej. Wrocław 4-6.09.1984, część 1: 19-33.

Tadesse I., Green F.B., Puhakka J.A. 2004. *Seasonal and diurnal variations of temperature, pH, and dissolved oxygen in advanced integrated wastewater pond system treating tannery effluent.* Water Research 38: 645-654.

Tokarczyk-Dorociak K., Drabiński A. 2002. *Kształtowanie się warunków świetlnych w stawie karpiowym.* Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie nr 393, Inżynieria Środowiska, z.23: 181-185.

Vörös L., V.-Balogh K., Koncz E., Kovács A. 2003. *Phytoplankton and bacterioplankton production in a reed-covered water body.* Aquatic Botany 77: 99-110.

Woźniewski M. 1992. *Warunki tlenowe w chowie i hodowli ryb karpiowatych. w: Wytyczne do oceny jakości wód przydatnych do chowu i hodowli ryb karpiowatych.* Praca zbiorowa pod redakcją A. Drabińskiego Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu: 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. 2003. *Seasonal dynamics of primary production in the pelagic zone of southern Lake Baikal*. The Japanese Society of Limnology, Limnology 4: 53-62.

Dr inż. Bartosz Jawecki
Instytut Architektury Krajobrazu
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu,
Plac Grunwaldzki 24a, 50-363 Wrocław
bartosz.jawecki@up.wroc.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. Jerzy Gruszczyński*