INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 3/III/2013, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 31–48

Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

ZWIĄZKI BIOGENNE A PROCES EUTROFIZACJI WÓD GOCZAŁKOWICKIEGO ZBIORNIKA WODNEGO

Ewa Jachniak
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku Białej

THE BIOGENIC SUBSTANCES AND EUTROPHICATION PROCESS OF THE GOCZAŁKOWICE RESERVOIR WATER

Streszczenie

W pracy zaprezentowano wpływ dopływających ładunków związków biogennych (azotu ogólnego i fosforu ogólnego) z wodami rzeki Wisły na proces eutrofizacji wód zbiornika Goczałkowice. Badania prowadzono w latach 2004-2006 oraz 2010-2011, w sezonach wegetacyjnych. Obliczono obciążenie fosforem zbiornika Goczałkowice oraz określono ładunek dopuszczalny i niebezpieczny fosforu ogólnego według Vollenveidera (1976). Wyliczoną wartość obciążenia ładunkiem fosforu ogólnego przyrównano do wartości ładunków dopuszczalnych oraz niebezpiecznych. Ponadto obliczono biomasę fitoplanktonu (podawaną w mokrej masie) i dokonano oznaczenia składu gatunkowego fitoplanktonu. Badania wykazały, że ładunki fosforu wnoszone z wodami rzeki Wisły w latach 2010-2011 były mniejsze (średnio 0,147 g $P \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$) od dopływających w latach 2004-2006 (średnio 0,681 g $P \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$) i przewyższały tylko wartości ładunków dopuszczalnych, co wskazuje na poprawę warunków w zlewni. Mimo mniejszego dopływu ładunków stwierdzono, że wody zbiornika nadal wykazują charakter eutroficzny. Potwierdzają to wysokie stężenia fosforu ogólnego (średnio 0,05 mg $P \cdot dm^{-3}$ (2004-2006) i średnio 0,062 mg $P \cdot dm^{-3}$ (2010-2011)), azotu ogólnego (średnio 1,26 mg $N \cdot dm^{-3}$ (2004-2006) i średnio 1,38 mg $N \cdot dm^{-3}$ (2010-2011)), chlorofilu *a* (średnio 26,83 $\mu g \cdot dm^{-3}$ (2004-2006) i 33,36 $\mu g \cdot dm^{-3}$ (2011)) oraz wartości biomasy fitoplanktonu w zbiorniku (średnio 7,39 $mg \cdot dm^{-3}$ (2004-2006)), a także typowe

dla wód eutroficznych gatunki fitoplanktonu (m. in. *Microcystis viridis* (A. Br. in Rabenh.) Lemm., *Coelastrum* sp., *Euglena viridis* (Carter).).

Słowa kluczowe: zbiornik zaporowy, eutrofizacja, ładunki związków biogennych, stężenia chlorofilu *a*

Summary

In article the influence of loads of biogenic substances (total nitrogen and total phosphorus) inflowing with water of Wisła river on eutrophication process of water Goczałkowice reservoir was presented. The research was conducted in years 2004-2006 and 2010-2011, in vegetative seasons. The loading total phosphorus of Goczałkowice reservoir was calculated and the acceptable load and dangerous load of total phosphorus (according to Vollenveider 1976) have both been calculated. The enumerated value of loading of total phosphorus load was compared to the value of acceptable loads and dangerous loads. Moreover, biomass of phytoplankton (given in wet mass) was calculated and a species composition of phytoplankton was determined. The analyses declared that the loads of total phosphorus, which were contributed with water of Wisła river were lesser in years 2010-2011 (averagely 0,147 g $P \cdot m^{-2} \cdot year^{-1}$) than loads, which flowed in years 2004-2006 (0,681 g $P \cdot m^{-2} \cdot year^{-1}$). The first exchanged loads had exceeded only values of acceptable loads. It can indicate to the improvement of the conditions in the catchment area. In spite of the lesser inflow of the loads, it was ascertained that water of the reservoir still points out eutrophic character. The high concentrations of total phosphorus (averagely 0,05 mg $P \cdot dm^{-3}$ (2004-2006) and averagely 0,062 mg $P \cdot dm^{-3}$ (2010-2011)), total nitrogen (averagely 1,26 mg $N \cdot dm^{-3}$ (2004-2006) and averagely 1,38 mg $N \cdot dm^{-3}$ (2010-2011)), chlorophyll a (averagely 26,83 $\mu g \cdot dm^{-3}$ (2004-2006) and 33,36 $\mu g \cdot dm^{-3}$ (2011)) and the high values of phytoplankton biomass (averagely 7,39 $mg \cdot dm^{-3}$ (2004-2006)) in the reservoir, also typically for eutrophic water a species of phytoplankton (i.a. Microcystis viridis (A. Br. in Rabenh.) Lemm., Coelastrum sp., Euglena viridis (Carter) confirm the eutrophic status of the reservoir.

Key words: *dam reservoir, eutrophication, loads of biogenic substances, concentrations of chlorophyll a*

WSTĘP

Eutrofizacją nazywamy inaczej wzrost żyzności ekosystemów wodnych, przejawiający się zwiększoną koncentracją związków biogennych (azotu i fosforu), a w następstwie silnym rozwojem fitoplanktonu i roślin wyższych. Termin ten został wprowadzony po raz pierwszy na początku XX wieku przez Thienemanna i Naumanna, i oznaczał „wody bogate w składniki pokarmowe" (Chapra, Dobson 1981, Wilk-Woźniak 2001). Wyróżniamy eutrofizację naturalną, (najczęściej występującą w wodach jezior o charakterze polodowcowym, niejednokrotnie oligotroficznych), która zachodzi w sposób powolny, ponieważ czasze takich zbiorników wolno wypełniane są materiałem zarówno dopływającym ze zlewni, jak i produkowanym wewnątrz. Eutrofizacja tego typu może trwać setki, a nawet tysiące lat, jeśli tylko warunki panujące w zlewni nie będą ulegać zmianie (Rynkiewicz 2007). Naturalna eutrofizacja może jednak zostać zakłócona i przyspieszona na skutek działalności człowieka i wówczas nazywana jest eutrofizacją antropogeniczną (cywilizacyjną, sztuczną lub też przyspieszoną). Występuje ona na terenach zurbanizowanych, w których silnie rozwinięta jest zarówno gospodarka rolna, jak i przemysłowa (Kajak 2001, Rynkiewicz 2007). Do głównych przyczyn powodujących przyspieszenie eutrofizacji zalicza się spływy powierzchniowe oraz zrzuty ścieków komunalnych i przemysłowych (źródła punktowe i rozproszone) wprowadzające do wód ogromne ilości ładunków związków eutrofogennych (dużą rolę odgrywają nutrienty w postaci odchodów i wydalin oraz środków do prania i mycia) (Rynkiewicz 2007). Zbiorniki wodne zlokalizowane w takich uprzemysłowionych terenach są najbardziej narażone na dopływ dużej ilości ładunków związków biogennych (Krzanowski 2000, Kasza 2009).

Dla zbiornika Goczałkowice szczególnie niesprzyjająca sytuacja występuje w okresach niskich stanów wody w Wiśle, wówczas 30% całkowitego przepływu wód w rzece stanowią ścieki. Ma to przypuszczalnie związek z niskim stopniem skanalizowania zlewni (zaledwie 25%) (Czaplicka-Kotas i in. 2005).

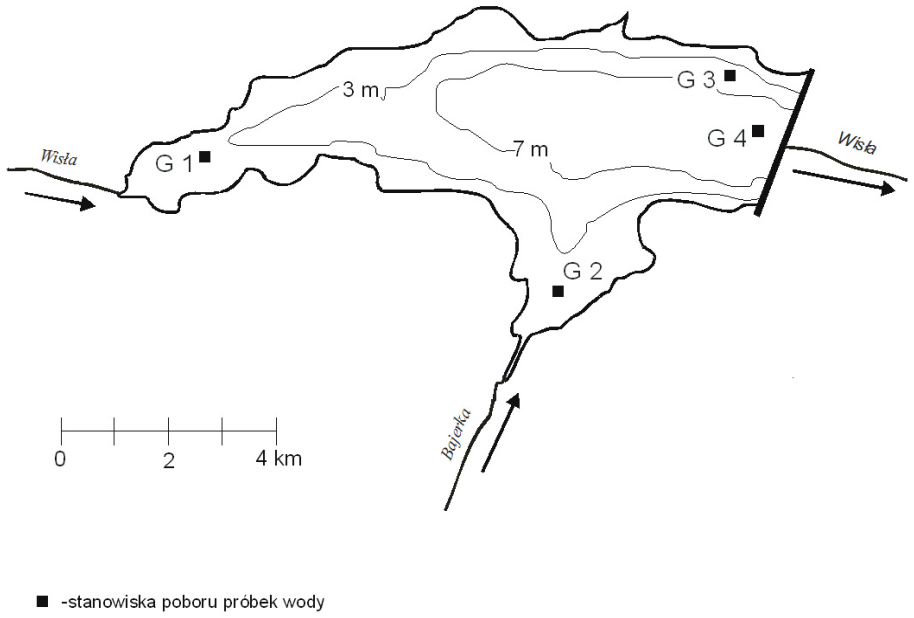
Z kolei w okresach silnych wezbrań również ma miejsce zwiększony dopływ ładunków zanieczyszczeń (głównie mineralnych form azotu) do wód zbiornika. Potwierdzeniem tego były obserwowane podwyższone stężenia azotu amonowego i azotynowego w wodach zbiornika w lipcu 1997 r., podczas przejścia fal powodziowych (Czaplicka-Kotas i in. 2005, Nowacka i in. 2011).

Eutrofizację powiększają dodatkowo ładunki zanieczyszczeńpochodzące z obszarów, na których gleby i wody gruntowe zostały skażone przez produkty pochodzące z przemysłu paliwowego (wycieki paliw ze stacji benzynowych i zakładów wulkanizacyjnych oraz produkty ropopochodne). Tak zdegradowane gleby oraz wody wymagają stosowania wielu kosztownych zabiegów naprawczych (m. in. remediacji), wykorzystujących właściwości organizmów żywych (bioremediacja bazuje na mikroorganizmach, fitoremediacja natomiast na roślinach), mających na celu przywrócenie właściwości naturalnych (Śliwka 2007). Wzrost żyzności wód sprzyja intensywnej produkcji pierwnaczyniowej (Mazurkiewicz-Boroń 2000), w konsekwencji czego następuje zakłócenie równowagi w ekosystemie wodnym. Nadmiernie rozwijające się glony planktonowe powodują zmianę właściwości organoleptycznych wód (barwy, zapachu oraz smaku), pogorszenie warunków świetlnych i deficyty tlenowe. Ponadto wydzielane (szczególnie przez sinice) do środowiska wodnego toksyny są niebezpieczne nie tylko dla zwierząt, ale stanowią także zagrożenie dla zdrowia ludzi. Do poważnych skutków eutrofizacji należą również problemy związane z uzdatnianiem wody (zatyka otnej fitoplanktonu oraz roślinności nie filtrów wodociągowych przez nitkowate sinice i zielenice oraz wysokie koszty uzdatniania), co jest szczególnie niekorzystne w zbiornikach pełniących funkcje wodociągowe (Bucka, Wilk-Woźniak 2005, Kajak 2001, Rynkiewicz 2007).

Celem badań było określenie wpływu związków biogennych dopływających z wodami rzeki Wisły do retencyjnego zbiornika wodnego w Goczałkowicach na wzrost żyzności jego wód.

METODYKA

Badania prowadzono w czaszy retencyjnego zbiornika wodnego Goczałkowice. Zbiornik zlokalizowany na rzece Wiśle znajduje się w zlewni zurbanizowanej i należy do największych w południowej Polsce (maksymalna powierzchnia jego czaszy wynosi 3200 ha), ale płytkich (średnia głębokość wynosi 5,5 m, maksymalna 13 m) (tab. 1). Swym zasięgiem obejmuje podnóża Beskidu Śląskiego oraz Kotlinę Oświęcimską. Parametry morfometryczno-hydrologiczne zbiornika zawiera tab. 1, natomiast lokalizację punktów poboru próbek wody do badań przedstawiono na rys. 1.



Rysunek 1. Czasza zbiornika z lokalizacją stanowisk poboru próbek wody do badań

Figure 1. The bowl of reservoir with localization places for taking water samples for research

Tabela 1. Parametry morfometryczno-hydrologiczne zbiornika (Kasza 1992, Siudy i in. 2006, Zbiornik Goczałkowicki...-http://www.zizozap.pl/zbiornik-goczalkowicki.aspx?catid=10)

Table 1. Morphometric-hydrologic parameters of reservoir (Kasza 1992, Siudy i in. 2006, Goczałkowicki reservoir...-http://www.zizozap.pl/zbiornik-goczalkowicki.aspx?catid=10)

Parametry The parameters	Dane The data
powierzchnia czaszy[A]	3200 ha
pojemność całkowita[A]	168 mln m^3
pojemność użytkowa[B]	105,6 mln m^3
pojemność powodziowa stała[B]	45,5 mln m^3
głębokość średnia[B]	5,5 m
czas retencji wody*	264,4 doby
częstość wymiany wody w roku**	1,38
minimalny poziom piętrzenia (MinPP)[B]	250,5 m n. p. m.
normalny poziom piętrzenia (NPP)[B]	255,5 m n. p. m.
maksymalny poziom piętrzenia (MaxPP)[B]	257,0 m n. p. m.
rzędna korony zapory[C]	259,00 m n. p. m.
powierzchnia zlewni do przekroju zapory[A]	532 km^2
funkcje zbiornika[A]	wodociągowe, rybackie, ochrona przeciwpowodziowa, regulacja niskich przepływów w rzece poniżej zapory

*-obliczono dzieląc objętość zbiornika przez średni dobowy dopływ rzeki Wisły (stanowiącej główny dopływ)
**-obliczono dzieląc średni dobowy dopływ rzeki Wisły (stanowiącej główny dopływ) przez objętość zbiornika
*-it was calculated: total capacity / average daily inflow of the river Wisła (which is the main inflow)
**-it was calculated: average daily inflow of the river Wisła (which is the main inflow) / total capacity
[A] Kasza 1992
[B] Zbiornik Goczałkowicki (Zintegrowany system wspomagający zarządzaniem i ochroną zbiornika zaporowego. Strategiczny projekt badawczy)-http://www.zizozap.pl/zbiornik-goczalkowicki.aspx?catid=10
[B] Goczałkowicki reservoir (The integrated support system with the management and the protection of the reservoir. The strategic research project)-http://www.zizozap.pl/zbiornik-goczalkowicki.aspx?catid=10
[C] Siudy. i in.,2006

Badania chemiczne oraz biologiczne wody zbiornika prowadzono w latach 2004–2006 oraz 2010-2011, w sezonach wegetacyjnych. Próby wody do badań pobierano w okresie wiosennym, letnim i jesiennym poszczególnych lat badań, z czterech stanowisk badawczych. Dysponowano liczbą 50 próbek. Analizy parametrów chemicznych (chlorofil *a*, fosfor ogólny, azot ogólny) zostały wykonane zgodnie z Polskimi Normami przez Śląski Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska (WIOŚ), oddział w Bielsku-Białej. Analizy parametrów biologicznych przeprowadzono w laboratorium ATH w Bielsku-Białej (z wyjątkiem lat 2010-2011), za pomocą mikroskopu świetlnego Nikon Eclipse 200. Obliczono biomasę fitoplanktonu (podawaną w mokrej masie): zastosowano metodę przyrównywania komórek do figur geometrycznych oraz posłużono się następującym przelicznikiem (Rott E.,1981):

$$1\ \mu m^3 = 1/1 \cdot 10^9\ mm^3 = 1/1 \cdot 10^9\ mg \qquad (1)$$

Dokonano oznaczenia składu gatunkowego fitoplanktonu, wykorzystując klucze Starmacha (1989) i Hindáka (1996). Wszystkie oznaczenia gatunków zostały skonsultowane ze specjalistami.

W pracy ponadto obliczono obciążenie ładunkiem fosforu zbiornika Goczałkowice oraz określono ładunek dopuszczalny i niebezpieczny tego biogenu według Vollenveidera (1976). Obliczono także dobowe ładunki fosforu ogólnego i azotu ogólnego dopływające do zbiornika Goczałkowice z wodami rzeki Wisły. Dane odnośnie objętości przepływu (niezbędne do obliczenia obciążenia fosforem zbiornika, a także do wyliczenia dobowych ładunków fosforu ogólnego i azotu ogólnego) otrzymano z Górnośląskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji, oddział w Goczałkowicach, natomiast wyniki dotyczące stężeń fosforu ogólnego i azotu ogólnego otrzymano z WIOŚ, oddział w Bielsku-Białej. Do obliczeń wykorzystano dane 12-miesięczne, obejmujące objętości przepływu na dopływie Wisły do czaszy zbiornika oraz stężenia azotu ogólnego i fosforu ogólnego, analizowane także na dopływie Wisły do zbiornika. Przepływy były mierzone w tych samych dniach, w których pobierano próby do analiz azotu ogólnego i fosforu ogólnego.

Ze względu na brak danych nie uwzględniono w obliczeniach zawartości analizowanych biogenów z bocznych dopływów do czaszy zbiornika oraz spływu ze zlewni bezpośredniej, a także opadu na powierzchnię zbiornika.

Trofię wód zbiornika oszacowano zgodnie z kryterium OECD (1982) podawanym przez Dojlido (1995) na podstawie wartości granicznych dla średniego rocznego stężenia fosforu ogólnego ($mg \cdot dm^{-3}$) oraz średniego rocznego stężenia chlorofilu *a* ($\mu g \cdot dm^{-3}$), a także określono zgodnie z zakresem stężeń azotu ogólnego ($mg \cdot dm^{-3}$) najczęściej występującym w wodach jezior (Giziński, Falkowska 2003). Dodatkowo uwzględniono wartości graniczne dla biomasy fitoplanktonu, wyznaczone przez Heinonena (Heinonen 1980). Wartości graniczne tych parametrów dla poszczególnych poziomów troficznych przedstawiono w tabeli 3.

WYNIKI

Ładunki pierwiastków biogennych dopływające do zbiorników wodnych istotnie wpływają na wzrost żyzności wód. Na rys. 2 podano ładunki biogenów (azotu ogólnego i fosforu ogólnego) wnoszone do zbiornika Goczałkowice z wodami rzeki Wisły, w latach 2004 – 2006 oraz 2010-2011.

Uzyskane wyniki wskazują na najwyższy dopływ ładunków zarówno azotu ogólnego (3154,4 $kg \cdot doba^{-1}$), jak i fosforu ogólnego (76,2 $kg \cdot doba^{-1}$) odnotowane w roku 2006. Należy podkreślić, że również w 2005 r. ładunek fosforu wnoszony z wodami rzeki Wisły do zbiornika osiągnął wysoką wartość, bo wynoszącą 58,8 $kg \cdot doba^{-1}$.

Wyższe ładunki tych biogenów stwierdzono we wcześniejszych latach badań, natomiast wyniki analiz przeprowadzonych w latach 2010-2011 wskazały na znacznie mniejszy dopływ tych ładunków do zbiornika (średnio 336 $kg \cdot doba^{-1}$ azotu ogólnego i 12,9 $kg \cdot doba^{-1}$ fosforu ogólnego). To może świadczyć o pewnej poprawie warunków panujących w zlewni zbiornika (m. in. budowie sieci kanalizacyjnych oraz oczyszczalni ścieków).

Na kształtowanie stanu troficznego zbiornika w dużej mierze wpływa ładunek fosforu ogólnego, ponieważ jest to najbardziej eutrofogenny pierwiastek.

Wyliczone obciążenie fosforem wód zbiornika oraz określone ładunki dopuszczalne i niebezpieczne fosforu ogólnego (Vollenveider R., 1976) wskazały na zaawansowane procesy eutrofizacyjne występujące w tym zbiorniku w latach 2004-2006 i obniżenie poziomu zeutrofizowania w latach 2010-2011 (tab. 2).

Tabela 2. Obciążenie fosforem ogólnym zbiornika oraz dopuszczalne i niebezpieczne ładunki fosforu w ciągu poszczególnych lat badań

Table 2. The total phosphorus reservoir loading and permissible and dangerous loads of phosphorus during the particular years of research

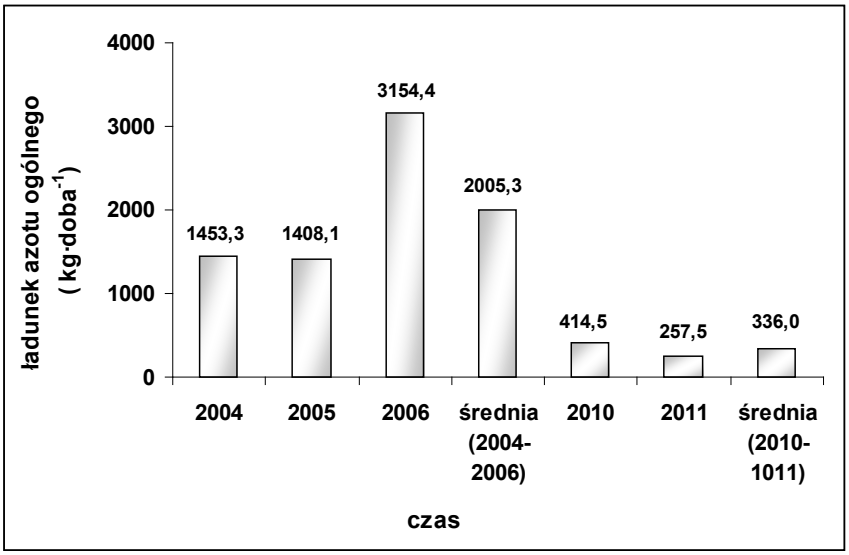
	Lata badań The years of research	Rodzaj parametru The kind of parameter		
		Obciążenie fosforem (g $P \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$)* Loading of the reservoir with total phosphorus (g $P \cdot m^{-2} \cdot year^{-1}$)*	Ładunek dopuszczalny (g $P \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$)** Permissible load (g $P \cdot m^{-2} \cdot year^{-1}$)**	Ładunek niebezpieczny (g $P \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$)** Dangerous load (g $P \cdot m^{-2} \cdot year^{-1}$)**
Wyliczone wartości The calculated values	2004	0,503	0,209	0,418
	2005	0,671	0,242	0,484
	2006	0,870	0,436	0,872
	Średnia za okres 2004 – 2006 The average value for 2004-2006	0,681	0,295	0,590
	2010	0,156	0,099	0,198
	2011	0,138	0,076	0,152
	Średnia za okres 2010 – 2011 The average value for 2010-2011	0,147	0,087	0,175

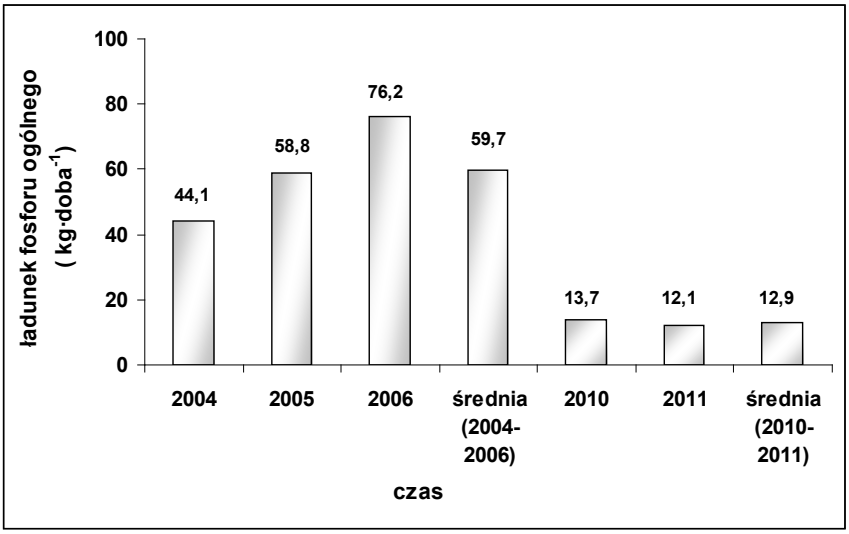
*-obliczono na podstawie średniego rocznego stężenia fosforu (dane 12-miesięczne) oraz średniego rocznego przepływu wody (lata 2004-2006 oraz 2010-2011) – na dopływie rzeki Wisły do zbiornika

**-obliczono według kryteriów Vollenveidera (1976)

*-it was calculated on the basis of average annual concentration of total phosphorus and total nitrogen (12 months data) and on the basis of average annual flow of water (years 2004-2006 and 2010-2011) – on the inflow of the Wisła river into the reservoir

**-it was calculated according to Vollenveider (1976) criteria





Rysunek 2. Ładunki związków biogennych (azotu ogólnego i fosforu ogólnego) wnoszone do zbiornika z wodami rzeki Wisły, w latach 2004 – 2006 oraz 2010-2011

Figure 2. The loads of biogenic substances (total nitrogen and total phosphorus) contribute into the reservoir by water of river Wisła, in years 2004 – 2006 and 2010-2011

Przeprowadzone badania wykazały, że ładunki fosforu wnoszone z wodami rzeki Wisły w latach 2004-2006, przewyższały zarówno wartości ładunków dopuszczalnych, jak i niebezpiecznych. w 2006 r. dopływające ładunki fosforu znajdowały się na prawie takim samym poziomie co ładunki niebezpieczne. Tak duże ilości fosforu mogły prawdopodobnie wynikać z zasilenia wód ściekami oraz ze spływów powierzchniowych z terenów rolniczych. Stwierdzone zawartości analizowanych biogenów wskazały na przyspieszenie tempa procesów eutrofizacyjnych w tym zbiorniku, w latach 2004-2006.

Porównując te wyniki z uzyskanymi w latach 2010-2011 zaobserwowano, że ładunki fosforu dopływające do zbiornika przewyższały tylko wartości ładunków dopuszczalnych i nie osiągnęły wartości ładunków niebezpiecznych. Może to świadczyć o pozytywnej zmianie warunków panujących w zlewni zbiornika.

Na skutek dopływu dużych ilości ładunków, zwłaszcza fosforu ogólnego w latach 2004-2006, odnotowano wysokie koncentracje tego składnika w zbiorniku oraz wysokie stężenia chlorofilu *a* i biomasy fitoplanktonu (tab. 3). Pomimo dopływu mniejszych ilości ładunków azotu ogólnego i fosforu ogólnego do wód zbiornika w latach 2010-2011 stwierdzono nadal wysokie koncentracje tych biogenów w wodzie zbiornikowej. Prawdopodobnie może to wynikać z wewnętrznego dopływu tych pierwiastków do wód, w następstwie zasilania wewnętrznego. Biogeny te, zakumulowane we wcześniejszych latach w osadach dennych, mogą nadal przedostawać się do toni wodnej przyczyniając się wciąż do silnego rozwoju fitoplanktonu (wyrażonego wysoką koncentracją chlorofilu *a*).

Wyznacznikiem zwiększającej się eutrofizacji zbiornika w latach 2004-2006 były także zaobserwowane w pobranych próbach gatunki fitoplanktonu typowe dla wód eutroficznych. m.in. sinice: *Microcystis viridis* (A. Br. in Rabenh.) Lemm., *M. aeruginosa* (Kütz.) Kütz., zielenice: *Coelastrum* sp., *Scenedesmus* sp. i *Pediastrum* sp. oraz eugleniny *Euglena viridis* (Carter). Gatunki te bytują w wodach bogatych w składniki pokarmowe (bardzo żyznych). Brak danych dotyczących struktury gatunkowej i biomasy fitoplanktonu z lat 2010-2011 uniemożliwił aktualną ocenę troficzną wód zbiornika pod tym względem.

Wyniki uzyskane z przeprowadzonych badań, zarówno w latach 2004 – 2006, jak i 2010-2011 wskazują na istnienie zawansowanych procesów

eutrofizacyjnych w omawianym zbiorniku, bowiem stężenia pierwiastków biogennych oraz koncentracje chlorofilu *a* i wielkość biomasy fitoplanktonu znajdują się w zakresie wartości charakterystycznych dla eutrofii. Mimo poprawy warunków w zlewni i niewielkiego dopływu ładunków biogenów do zbiornika, wody zbiornikowe obecnie nadal cechuje eutrofia.

DYSKUSJA

Zaawansowane procesy eutrofizacyjne w wodzie zbiornika Goczałkowice zachodzą na skutek dopływu dużej ilości ładunków związków biogennych ze zlewni, bowiem znaczny procent jej obszaru zajmują użytki rolne (41,5%, w tym 23,2% stanowią grunty orne) (Jachniak 2010), co powoduje zwiększony spływ biogenów z pól uprawnych. Jakość wody w zbiorniku pogarsza dodatkowo nieuporządkowana gospodarka ściekowa w zlewni (Szostak, Zimoch 2006, Czaplicka-Kotas i in. 2005), a także rozwój ośrodków wypoczynkowo-turystycznych (zwłaszcza w górnej części zlewni-głównie Ustroń, Wisła, Brenna) (Czaplicka-Kotas i in. 2005, Szostak, Zimoch 2006). Mimo, że w latach 2010-2011 stwierdzono mniejszy dopływ ładunków biogenów ze zlewni, wody zbiornikowe nadal cechuje charakter eutroficzny.

Wyniki badań przeprowadzone przez autorkę dotyczące związków biogennych są porównywalne z wynikami analiz prowadzonych w latach 80-tych i 90-tych XX wieku oraz w latach 2000 – 2005 w wodzie surowej kierowanej do uzdatniania w obrębie czaszy zbiornika Goczałkowice (Nowacka i in. 2011). Podobnie jak w omawianym przypadku suma mineralnych form azotu przekroczyła dolną wartość graniczną dla eutrofii. Jeśli chodzi o związki fosforu to również nastąpiło przekroczenie dopuszczalnej koncentracji fosforu ogólnego (przewyższała ona dolną wartość graniczną dla eutrofii) w latach 90 oraz 2000-2005 dla oznaczanych fosforanów. Najniższe stężenia fosforanów stwierdzono w latach 80. Porównując więc analizy wcześniejsze (Nowacka i in. 2011) z prowadzonymi w latach 2004-2006 można zauważyć znaczny wzrost stężeń fosforu w wodach zbiornika.

Wysokie koncentracje fosforu ogólnego oraz azotu ogólnego wystąpiły także w latach 2010 – 2011, co potwierdzają wyniki badań wód zbiornika Goczałkowice prowadzonych przez WIOŚ, oddz. w Bielsku-Białej, w tych latach. Średnie stężenia tych związków biogennych były wyższe od odnotowanych w latach 2004 – 2006 i wyniosły odpowiednio: 0,06 mg $P \cdot dm^{-3}$ i 1,51 mg $N \cdot dm^{-3}$ (2010 r.) oraz 0,065 mg $P \cdot dm^{-3}$ i 1,26 mg $N \cdot dm^{-3}$ (2011 r.), i również przewyższyły dolną wartość graniczną dla eutrofii. Zanotowane koncentracje chlorofilu *a* były także wyższe od stężeń stwierdzonych w latach 2004 – 2006. Wyniki tych badań wskazują więc na znaczny poziom zeutrofizowania wód zbiornika.

Zły stan sanitarny wód zbiornika oraz zaawansowana eutrofizacja wpływają niekorzystnie na gospodarowanie zbiornikiem, chociaż ze względu na jego wodociągowe funkcje jakość wody powinna stanowić wartość priorytetową. Szansą na uzyskanie lepszej jakości wody i obniżkę stanu trofii jest zaobserwowana w latach 2010-2011 poprawa warunków w zlewni, przejawiająca się zmniejszonym dopływem ładunków związków biogennych oraz utrzymywaniem się fosforu na poziomie ładunku dopuszczalnego.

Wysokie wartości chlorofilu *a* (uzyskane w latach 2004-2006 i 2011) oraz występowanie zielenic chlorokokalnych z rodzaju *Coelastrum*, *Pediastrum* i *Scenedesmus* oraz sinic z rodzaju *Microcystis* wskazują nadal na silne zachodzenie procesów eutrofizacyjnych w zbiorniku. Według Ryding i Rast – za Wilk-Woźniak (2003) zbiorniki eutroficzne są charakteryzowane przez częste występowanie zakwitów oraz znaczny udział w biomasie zielenic i sinic. w opinii Negro i in. (2000) rozwój gatunków z rodzajów *Coelastrum, Pediastrum* oraz *Scenedesmus* świadczy o eutroficznym statusie wód zbiornika. Według Reynoldsa (1996) sinice *Microcystis* sp. są charakterystyczne dla dobrze nasłonecznionych eutroficznych wód. o nadal eutroficznym charakterze wód zbiornika świadczą również wyniki badań prowadzone w ramach projektu zizozap („Zintegrowany system wspomagający zarządzaniem i ochroną zbiornika zaporowego" (POIG 01.01.02-24-078/09)), w latach 2010-2011, dotyczące makrofauny dennej i zooplanktonu (Krodkiewska i in. 2012, Ścigała 2012).

W celu ochrony zbiornika Goczałkowice przed dalszą degradacją powinno się zwiększyć areał użytków zielonych w zlewni, ponieważ wymywanie i spływ związków biogennych zachodzi z nich w mniejszym stopniu niż z terenów gruntów ornych (Kopeć, Krzanowski 1999, Kasza H 2009). Można także wprowadzić strefy buforowe z roślinnością ograniczającą spływ biogenów z terenów rolniczych. Ponadto na glebach zniszczonych działalnością człowieka można wprowadzić zabiegi remediacyjne. Wskazane byłoby również dalsze obniżenie wielkości ładunków dopływających z wodami rzeki Wisły oraz zastosowanie zabiegów rekultywacyjnych w samym zbiorniku. Prawdopodobnie dałoby to wówczas oczekiwane efekty obniżenia poziomu zeutrofizowania wód zbiornika

WNIOSKI

Ładunki związków biogennych wnoszone do zbiornika Goczałkowice rzeką Wisłą wpływały na wzrost żyzności jego wód w latach 2004-2006, obecnie obserwuje się tendencję spadkową w dopływie ładunków biogenów.

Wyliczone ładunki fosforu ogólnego wnoszone z wodami rzeki Wisły w latach 2004-2006 przewyższały nie tylko wartości ładunków dopuszczalnych, ale także niebezpiecznych, co świadczyło o pogłębiających się procesach eutrofizacyjnych. w latach 2010-2011 ładunki fosforu ogólnego wnoszone z wodami rzeki Wisły przewyższały tylko wartości ładunków dopuszczalnych, co może oznaczać poprawę warunków w zlewni.

Tabela 3. Średnie stężenia fosforu ogólnego, azotu ogólnego i chlorofilu *a* oraz biomasy fitoplanktonu w wodach zbiornika oraz zakresy stężeń z wartościami granicznymi dla tych parametrów, charakterystycznymi dla eutroficznych wód (Dojlido 1995, Giziński, Falkowska 2003, Heinonen P., 1980)

Table 3. The average concentrations of total phosphorus, total nitrogen, chlorophyll *a*, phytoplankton biomass of reservoir water and the ranges of concentrations and boundary values for these parameters, which are characteristic for eutrophic types of water (Dojlido J 1995, Giziński, Falkowska 2003, Heinonen 1980)

		Rodzaj parametru The kind of parameter			
		Fosfor ogólny (mg $P \cdot dm^{-3}$)* The total phosphorus (mg $P \cdot dm^{-3}$)*	Azot ogólny (mg $N \cdot dm^{-3}$)* The total nitrogen (mg $N \cdot dm^{-3}$)*	Chlorofil a ($\mu g \cdot dm^{-3}$)* The chlorophyll a ($\mu g \cdot dm^{-3}$)*	Biomasa fitoplanktonu ($mg \cdot dm^{-3}$)* The biomass of phytoplankton ($mg \cdot dm^{-3}$)*
Wartości graniczne dla eutrofii Boundary values for eutrophy		(0,035 – 0,1)**	(0,7 – 4,2)***	(8 – 25)**	(3,45 – 6,93)****
Wyliczone wartości The calculated values	2004	0,05	1,21	16,23	3,98
	2005	0,07	1,43	43,84	12,59
	2006	0,04	1,16	20,43	5,60
	Średnia za okres 2004 – 2006 The average value for period 2004-2006	0,05	1,26	26,83	7,39
	2010	0,06	1,51	-	-
	2011	0,065	1,26	33,36	-
	Średnia za okres 2004 – 2006 The average value for period 2010-2011	0,062	1,38	-	-

*-obliczono na podstawie danych wiosennych, letnich i jesiennych

**-wartości graniczne dla eutrofii, obejmujące stężenia fosforu ogólnego oraz chlorofilu *a* (Dojlido J. R., 1995)

***-wartości graniczne dla eutrofii, obejmujące stężenia azotu ogólnego (Giziński A., Falkowska R., 2003)

****-wartości graniczne dla eutrofii, obejmujące wielkość biomasy fitoplanktonu (Heinonen P., 1980)

*-it was calculated on the basis of spring, summer and autumn data

**-the boundary values for eutrophy, concerning the concentrations of total phosphorus and chlorophyll *a* (Dojlido 1995)

***-the boundary values for eutrophy, concerning the concentrations of total nitrogen (Giziński, Falkowska 2003)

****-the boundary values for eutrophy, concerning the biomass of phytoplankton (Heinonen 1980)

Stwierdzone wysokie koncentracje związków biogennych w wodach zbiornika wskazują na eutroficzny status wód zbiornika, mimo zmniejszonego dopływu ładunków ze zlewni.

Potwierdzeniem zaawansowanej eutrofizacji wód zbiornika są wysokie koncentracje chlorofilu *a* oraz biomasy fitoplanktonu, a także występujące gatunki fitoplanktonu (*Microcystis* sp., *Pediastrum* sp.) typowe dla wód eutroficznych.

Bibliografia

Bucka H., Wilk–Woźniak E. (2005). *a contribution to the knowledge of some potentially toxic cyanobacteria species forming blooms in water bodies – chosen examples.* Oceanological and Hydrobiological Studies, 34 (3), Gdańsk: Institute of Oceanography, s. 43 – 53.

Chapra S. C., Dobson H. F. H. (1981). *Quantification of the lake trophic typologies of Naumann (surface quality) and Thienemann (oxygen) with special reference to the Great Lakes.* Journal of Great Lakes Research, 7, (2), Internat. Assoc. Great Lakes Res., s: 182 – 193.

Czaplicka-Kotas A., Szostak A., Kocwa-Haluch R. (2005). *Eutrofizacja wód goczałkowickiego zbiornika wodnego.* Gospodarka wodna, 12, (684), Warszawa: SIGMA-NOT, s: 490 – 495.

Dojlido J. R. (1995). *Chemia wód powierzchniowych.* Białystok: Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, s: 1-342.

Giziński A., Falkowska E. (2003). *Hydrobiologia stosowana: ochrona wód powierzchniowych.* Włocławek: Oficyna Wydawnicza Włocławskiego Towarzystwa Naukowego, s: 1 – 194.

Heinonen P. (1980). *Quantity and composition of phytoplankton in Finnish inland waters.* Publ. Water res. Inst., 37, Finland, Helsinki: Nat. Board of waters, s: 1 – 91.

Hindák F. (1996). *Key to the unbranched filamentous green algae (Ulotrichineae, Ulotrichales, Chlorophyceae).* Bulletin Slovenskej Botanickej Spoločnosti Pri Sav, Supplement 1, Bratislava: Slovenska Botanicka Spoločnost Pri Sav, s: 1 – 77.

Jachniak E. (2010). *Wpływ czynników fizykochemicznych oraz hydrologicznych na przebieg procesów eutrofizacyjnych w wybranych zbiornikach zaporowych południowej Polski.* Rozprawa doktorska, Kraków: UR, s: 1 – 236.

Kajak Z. (2001). *Hydrobiologia – Limnologia. Ekosystemy wód śródlądowych.* Warszawa: Wydawnictwo PWN, s: 1-360.

Kasza H. (1992). *Changes in the aquatic environment over many years in three dam reservoirs in Silesia (southern Poland) from the beginning of their existence – causes and effects.* Acta Hydrobiologica, 34, (1/2), Kraków, s: 65 – 114.

Kasza H. (2009). *Zbiorniki zaporowe. Znaczenie – eutrofizacja – ochrona.* Bielsko – Biała: ATH, s: 1 – 366.

Kopeć S., Krzanowski S. (1999). *Wpływ zanieczyszczeń rolniczych Beskidu Wyspowego i Żywieckiego na klasyfikację niektórych rzek tego regionu.* Materiały Seminaryjne, 42, Falenty: Instytut Melioracji Użytków Zielonych, s: 123 – 133.

Krodkiewska M., Spyra A., Strzelec M. (2012). *Ocena warunków troficznych zbiornika zaporowego w Goczałkowicach na podstawie fauny skąposzczetów dennych.* Poster, Zacisze: XIX Ogólnopolskie Warsztaty Bentologiczne, 17–19 maja 2012.

Krzanowski S. (2000). *Wpływ retencji zbiornikowej na wybrane elementy środowiska, ze szczególnym uwzględnieniem zmian reżymu przepływów w rzece poniżej zbiornika (na przykładzie dorzecza Sanu).* Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie, Rozprawy, 259, Kraków, s: 1 – 155.

Mazurkiewicz–Boroń G. *Eutrofizacja – przyczyny i skutki.* W: Mazurkiewicz–Boroń G. (2000).-Zbiornik Dobczycki. Ekologia – Eutrofizacja – Ochrona. Kraków: Zakład Biologii Wód – PAN, s: 43 – 54.

Negro A. I., De Hoyos C., Vega J. C. (2000). *Phytoplankton structure and dynamics in Lake Sanabria and Valparaíso reservoir (NW Spain).* Hydrobiologia, 424, Netherlands: Kluwer Academic Publischers, s: 25-37.

Nowacka A., Włodarczyk-Makuła M., Panasiuk D. (2011). *Charakterystyka wybranych parametrów jakości wody zasilającej ZUW Goczałkowice.* Inżynieria i Ochrona Środowiska, 14, (4), s: 385 – 396. OECD (1982). *Eutrophication of waters.* Monitoring, assessment and control, Paris, s: 1 – 154. Reynolds C. S. (1996). *The plant life of the pelagic.* Verh. Internat. Verein. Limnol., 26, s: 97 – 113.

Rott E. (1981). *Some results from phytoplankton counting intercalibrations.* Schweiz. Z. Hydrol., 43/1, Birkhäuser Verlag Basel, s: 34 – 62.

Rynkiewicz A. (2007). *Problemy eutrofizacji wód w Polsce i ich ograniczanie w sposób naturalny.* Poznań: Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, s: 1 – 13.

Siudy A., Bilnik A., Świercz T., Szlęk Z. (2006). *Wielofunkcyjny zbiornik retencyjny Goczałkowice na Małej Wiśle i jego znaczenie dla gospodarki wodnej Górnego Śląska.* W: Więzik B. (2006)-50 – lecie budowy zbiornika wodnego na Małej Wiśle w Goczałkowicach. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej, Katowice: Górnośląskie Przedsiębiorstwo Wodociągów Spółka Akcyjna w Katowicach, s: 7 – 22.

Starmach K. (1989). *Plankton roślinny wód słodkich. Metody badania i klucze do oznaczania gatunków występujących w wodach Europy Środkowej.* Warszawa – Kraków: PWN, s. 1 – 496.

Szostak A., Zimoch I. (2006). *Zmiany jakościowe i ilościowe fitoplanktonu w zbiorniku Goczałkowice w latach 1992 – 2004.* W: Więzik B. (2006)-50 – lecie budowy zbiornika wodnego na Małej Wiśle w Goczałkowicach. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej, Katowice: Górnośląskie Przedsiębiorstwo Wodociągów Spółka Akcyjna w Katowicach, s: 55 – 71. Ścigała K. (2012). *Wykorzystanie wskaźników planktonowych do oceny trofii wód Zbiornika Goczałkowice w latach 2010/11.* Poster, Kraków: XXII Zjazd Hydrobiologów Polskich, 19-22 września 2012.

Śliwka M. (2007). *Zastosowanie stymulacji laserowej wybranych gatunków hydrofitów do zwiększenia ich zdolności bioremediacyjnych.* Rozprawa doktorska, Kraków: AGH, s: 1 – 242. Wilk-Woźniak E. (2001). *Glony – formacja, od której wcale wszystko się nie zaczęło.* Supplementa ad Acta hydrobiologica, 1, Kraków: PAN, s: 27 – 32.

Wilk-Woźniak E. (2003). *Phytoplankton – formation reflecting variation of trophy in dam reservoirs,* Ecohydrology and Hydrobiology, Proceedings of the XX th International Phycological Symposium, 3 (2), Warszawa: PAN, s: 213 – 219.

Vollenweider R. (1976). *Advances In defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication.* Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 33, s: 53 – 83.

Zintegrowany system wspomagający zarządzaniem i ochroną zbiornika zaporowego. Strategiczny projekt badawczy. Zbiornik Goczałkowicki. POIG 01.01.02-24 078/09 http://www.zizozap.pl/zbiornikgoczalkowicki.aspx?catid=10

Dr inż. Ewa Jachniak
Instytut Ochrony i Inżynierii Środowiska
Akademia Techniczno-Humanistyczna
w Bielsku-Białej
Plac Fabryczny 5
43-300 Bielsko-Biała
e-mail: ejachniak@ath.bielsko.pl
tel. 33 8279161,