

OCENA STANU TROFICZNEGO ZBIORNIKÓW ZAPOROWYCH POŁUDNIOWEJ POLSKI BĘDĄCYCH POD WPŁYWEM ZRÓŻNICOWANEJ ANTROPOPRESJI

Henryk Kasza¹

¹ Instytut Ochrony i Inżynierii Środowiska, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, e-mail: hkasza@ath.bielsko.pl

STRESZCZENIE

Celem badań była ocena stanu troficznego trzech zbiorników zaporowych będących pod różnym wpływem antropopresji, a także zróżnicowanych cechami morfologicznymi, hydrologicznymi i zlewniowymi. Badaniami objęto trzy zbiorniki: Wapienica, Goczałkowice i Łąka. Do oceny stanu troficznego wód zbiorników wykorzystano kryteria oparte o zmierzone stężenia (azotu i fosforu ogólnego, chlorofilu *a*) i wartości graniczne różnicowania trofii oraz indeks troficzny Carlsona (TSI – *Trophic State Index*). Stwierdzono występowanie zależności pomiędzy sposobem użytkowania zlewni a stanem troficznym wód zbiornikowych. Stan troficzny wyrażony poprzez wskaźniki TSI oraz kryteria stężeniowe został określony dla wód zbiornika Wapienica jako znajdujący się na pograniczu oligotrofii i mezotrofii, zbiornika Goczałkowice jako kształtujący się pomiędzy mezoeutrofią a eutrofią, zaś zbiornika Łąka jako wykazujący cechy eutrofii bądź hipertrofii.

Słowa kluczowe: zbiorniki zaporowe, eutrofizacja, wskaźniki trofii

ASSESSMENT OF TROPHIC STATE OF RESERVOIRS IN SOUTHERN POLAND UNDER DIVERSIFIED HUMAN IMPACT

ABSTRACT

The aim of this study was to assess a trophic state of reservoirs in southern Poland under diversified human impact with different morphological, hydrological and river basin features. Three reservoirs were studied: Wapienica, Goczałkowice and Łąka. To estimate a trophic state of reservoir waters criteria based on measured total nitrogen, total phosphorous and chlorophyll *a* concentrations and limiting values of trophies differentiation as well as the Carlson trophic index (TSI) were used. Relationship between river basin operation use and a trophic state of reservoir waters was found. A trophic state described by TSI indices and concentration criteria for the Wapienica reservoir water were encountered between oligotrophy and mesotrophy. For the Goczałkowice reservoir the trophic state was described between mesoeutrophy and eutrophy and for the Łąka reservoir it had both eutrophic and hypertrophic features.

Keywords: reservoirs, eutrophication, trophic indices.

WPROWADZENIE

Magazynowana w zbiornikach zaporowych woda narażona jest na wystąpienie zjawiska eutrofizacji. Eutrofizacja wód pociąga za sobą wiele niekorzystnych skutków gospodarczych i przyrodniczych. Za przyczynę eutrofizacji uważa się nadmierny dopływ związków biogenych (azotu i fosforu) do wód. Zwiększone obciążenie wód substancjami biogenymi powoduje wzrost ich

żywności, zaś skutkiem obfitości substancji pokarmowych jest z jednej strony zwiększenie poziomu fotosyntezy (obfity rozwój fitoplanktonu i makrofitów), a z drugiej zaburzenie równowagi ekosystemu wodnego spowodowane gromadzeniem się w nim dopływającej i wyprodukowanej materii. Stąd też nieodzowna jest nie tylko kontrola jakości wody ważnych pod względem gospodarczym i przyrodniczym zbiorników zaporowych, lecz także ocena jej stanu troficznego.

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska [Dz.U. 2002, nr 241, poz. 2093] eutrofizację śródlądowych wód powierzchniowych można stwierdzić badając wskaźniki będące jej przyczyną i skutkiem. Według cytowanego aktu prawnego symptomy eutrofizacji wód stojących ujawniają się poprzez przekroczenia w sezonie wegetacyjnym wartości granicznych takich parametrów jak: fosfor ogólny, azot ogólny, przeźroczystość (wartości graniczne zostały podane w dalszej części pracy). Objawem eutrofizacji są także długotrwałe zakwity wody (często powodowane przez sinice), masowy rozwój glonów poroślowych, odtlenienie hipolimnionu, zmniejszenie różnorodności i obfitości makrofitów, fauny bezkręgowej oraz ryb.

Stan troficzny wód stojących można oszacować różnymi metodami. Między innymi może być on określony w oparciu o stężenia (ogólnego azotu i fosforu, chlorofilu *a*) i wartości graniczne różnicowania trofii zaproponowane przez OECD, Nürnberga, Forsberga i Rydinga, także przez Kajaka czy Hilbricht-Ilkowską (przeгляд metod Gruca-Rokosz et al. [2011]). Oprócz kryteriów stężeniowych w ocenie trofii uwzględnia się indeksy troficzne, takie jak wskaźnik Carlsona TSI – *Trophic State Index* [Carlson 1977], czy też integralny wskaźnik ITS – *Index of Trophical State* [Neverova-Dziopak 2007]. Pierwszy z nich używa się poprzez przekształcenie z użyciem wzorów pomiarów przeźroczystości wody, zawartości fosforu ogólnego i chlorofilu *a* na wartości liczbowe zezwalające na ocenę stanu troficznego. Drugi wskaźnik (rzadziej używany) oblicza się uwzględniając dane o stężeniach w wodzie tlenu i dwutlenku węgla zdefiniowanych jako procent nasycenia tlenem i odczyn (pH). Wskaźnik jest przydatny tylko w przypadku stwierdzenia istniejącej zależności liniowej pomiędzy wartością pH i nasyceniem wody tlenem.

W ciągu ostatnich paru lat ocenie stanu troficznego wód poddanych zostało wiele krajowych zbiorników zaporowych. Między innymi stan troficzny wody został określony w zbiornikach: Kozłowa Góra [Jachniak 2011]; Wilcza Wola, Chańcza, Nielisz [Gruca-Rokosz et al. 2011]; Sulejów [Jodłowski and Gutkowska 2012]; Rzeszów [Gruca-Rokosz 2013]; Tresna, Porąbka, Czaniec [Jaguś 2011, 2015]; Łąka [Jaguś 2015a]. Wybrane przez Autorów metody oceny stanu troficznego wody ww. zbiorników były różne i najczęściej uwzględniały stężenia substratów, produkty fotosyntezy, czy też w ocenie uwzględniano indeksy troficzne. Poza tym, ocenę trofii

zbiorników Wapienica i Kozłowa Góra dokonano na podstawie „gatunków wskaźnikowych glonów planktonowych” i wielkości biomasy fitoplanktonu [Jachniak and Kozak 2011]. Z lektury tych cytowanych wyżej prac, a także ich ilości, nasuwa się wnioski o potrzebie tego typu badań i ocen.

Celem niniejszych badań była ocena stanu troficznego trzech zbiorników zaporowych będących pod różnym wpływem antropopresji, a także zróżnicowanych cechami morfologicznymi, hydrologicznymi i zlewniowymi. Zamierzeniem badań było również określenie nasilenia eutrofizacji w tych rezerwuarach i analiza przyczyn stwierdzonego stanu. Badaniami objęto zbiorniki znajdujące się w obszarze województwa śląskiego: Wapienica, Goczałkowice i Łąka. Wyżej wymienione zbiorniki gromadzą wodę wykorzystywane gospodarczo.

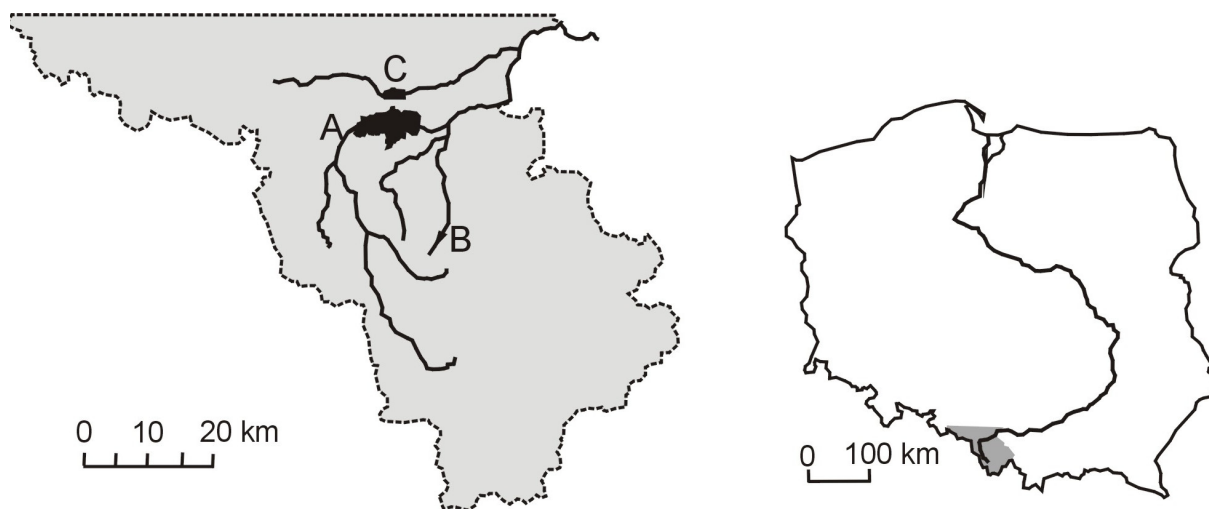
TEREN BADAŃ

Zbiorniki zaporowe, będące przedmiotem badań, położone są w południowej Polsce (rys. 1). Każdy ze zbiorników posiada odmienne charakterystyki, które przedstawiono w tabeli 1.

CHARAKTERYSTYKA ZBIORNIKÓW

Zbiornik Wapienica jest niewielkim rezerwuarem (jego maksymalna długość wynosi 585 m, średnia szerokość 299 m). Budowę zbiornika rozpoczęto w 1929 roku a oddano do eksploatacji 4 lata później. Wśród badanych w niniejszej pracy zbiorników jego usytuowanie wysokościowe (rzędna maksymalnego piętrzenia) jest najwyższe. Zbiornik zasilają dwa potoki (Barbara i Błatnia) i uchodzą z niego jako potok Wapienica. Ujmowana w zbiorniku woda służy mieszkańcom Bielska-Białej oraz z okolic leżących w pobliżu tego miasta jako źródło wody przeznaczonej do spożycia [Miazga 2013]. Dodatkowym zadaniem zbiornika jest ochrona przeciwpowodziowa [Jachniak and Kozak 2011], jednak ta funkcja ma drugorzędne znaczenie [Miazga 2013].

Zbiornik Goczałkowice spośród analizowanych rezerwuarów jest największy w swej powierzchni i pojemności. Jego maksymalna długość wynosi około 12,5 km a średnia szerokość 2,5 km [Siudy et al. 2005]. Zbiornik powstał w latach 1950–1955. Głównym dopływem jest Wisła. Zbiornik pełni kilka funkcji: zaopatrzenia w wodę (jest jednym z ważnych źródeł wody pitnej dla



Rys. 1. Usytuowanie badanych zbiorników zaporowych: A – Goczałkowice, B – Wapienica, C – Łąka

Fig. 1. Locations of studied reservoirs

Tabela 1. Podstawowe parametry badanych zbiorników zaporowych

Table 1. Basic parameters of studied reservoirs

Parametr	Zbiornik		
	Wapienica	Goczałkowice	Łąka
Rzędna piętrzenia wody przy MaxPP (m n.p.m.)	477,60 ^a	257,0 ^h	250,70 ^d
Pojemność przy MaxPP (mln m ³)	1,05 ^a	165,6 ^h	12,00 ^d
Powierzchnia zalewu przy MaxPP (ha)	17,5 ^a	3200 ^h	418 ^c
Głębokość średnia (m)	6,0	5,18	2,87
Głębokość maksymalna (m)	19,2 ^b	13,0 ^f	5,4 ⁱ
Średni roczny przepływ wody (m ³ · s ⁻¹)	0,3 ^g	7,3 ^f	1,7 ^e
Liczba wymian wody w roku	9,0	1,4	5,2
Typ zbiornika	limniczny	limniczny	limniczny
Rok rozpoczęcia eksploatacji	1933 ^b	1955 ^f	1986 ^c

Objaśnienia: ^a Więzik et al. – za Jaguś [2013a]; ^b Miazga [2013]; ^c Błażyca [2013]; ^d Stachel – za Jaguś [2013]; ^e Szuster – za Jaguś [2015a]; ^f Bojarski et al. [2012]; ^g Bojarski [2015]; ^h Szostak and Zimoch [2006]; ⁱ informacja ustna;

Uwagi dodatkowe: podano też własne obliczenia

ludności Śląska), ochrony przeciwpowodziowej oraz „poprawy i ochrony jakości ekologicznej zbiornika” [Bojarski et al. 2010].

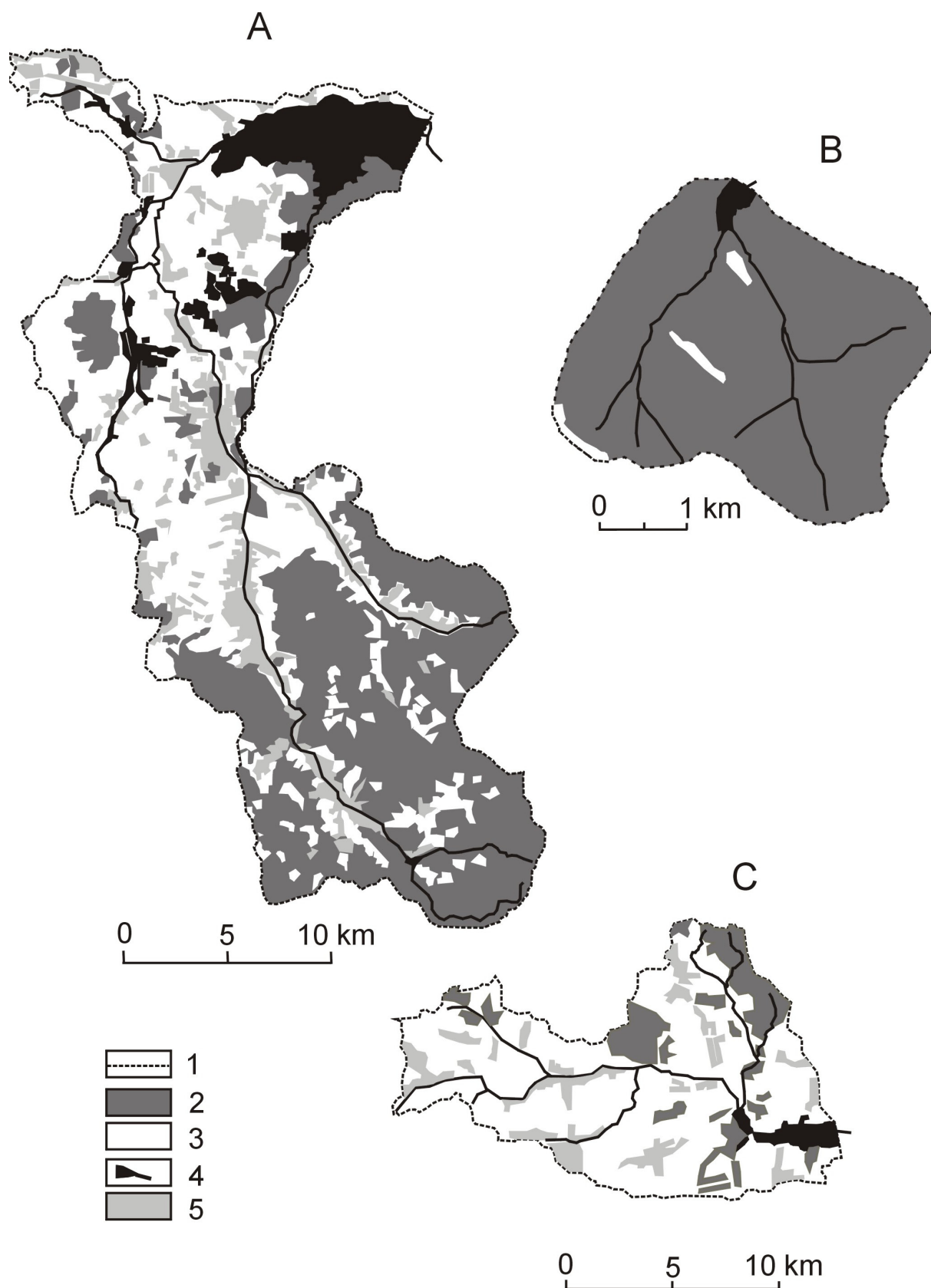
Zbiornik Łąka zasilany jest przez rzekę Pszczynkę. Wody tej rzeki przegrodzone zaporą utworzyły zbiornik o długości około 4 km. Po oddaniu do użytkowania w 1986 roku służy jako podstawowe źródło wody dla przemysłu (przede wszystkim dla energetyki i górnictwa). Woda zbiornika nie jest przeznaczona na cele konsumpcyjne. Zbiornik jest też wykorzystywany rekreacyjnie (sporty wodne i plażowanie) i wędkarsko [Jaguś 2013, 2015a].

CHARAKTERYSTYKA ZLEWNI

Zlewnie badanych zbiorników różnią się od siebie pod względem parametrów morfometrycz-

nych, hydrologicznych i przede wszystkim, co ma szczególne znaczenie dla tematu i celu pracy, zagospodarowaniem (rys. 2, tab. 2).

Zlewnia zbiornika Wapienica usytuowana jest na północnych stokach Beskidu Śląskiego. Jest ona niemal całkowicie zalesiona. Na jej terenie znajdują się niewielkie połacie polan śródleśnych, które głównie powstały po zniszczeniach drzewostanu spowodowanych wiatrem. Działalność człowieka na obszarze zlewni jest mocno ograniczona i polega na prowadzeniu zrównoważonej gospodarki leśnej. W zlewni jedynym obiektem gospodarczej infrastruktury jest leśniczówka. Niektóre obszary zlewni są wykorzystywane turystycznie – w tym celu wytyczono trasy służące wędrom pieszo-rowerowym. Zabronione jest używanie transportu samochodowego [Jaguś 2013a, 2015b]. Reasumując, zlewnia zbiornika



Rys. 2. Zagospodarowanie zlewni zbiorników: A – Goczałkowice, B – Wapienica, C – Łąka; 1 – granice zlewni, 2 – grunty leśne, 3 – grunty rolne (w zlewni zbiornika Wapienica polany leśne), 4 – wody powierzchniowe, 5 – tereny zurbanizowane (A, C – wg Rzętała [2008] – zmienione; B – wg Jaguś [2015b] – zmienione)

Fig. 2. Land use of reservoir river basins: A – Goczałkowice, B – Wapienica, C – Łąka (1 – borders of river basin, 2 – forest land, 3 – arable land (in the Wapienica reservoir river basin there are forest glades), 4 – surface water, 5 – urbanized land (A, C – according to Rzętała [2008], B – according to Jaguś [2015b] – corrected).

Tabela 2. Użytkowanie powierzchni zlewni zbiorników**Table 2.** Use of catchment area of reservoirs

Użytkowanie	Zbiornik					
	Wapienica		Goczałkowice ¹⁾		Zb. Łąka ^{1,2)}	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Grunty rolne	-	-	223,1	43,1	121,7	77,1
Grunty leśne	11,1 ³⁾	100	219,2	42,4	20,13	12,7
Tereny zurbanizowane	-	-	39,65	7,7	12,41	7,9
Wody powierzchniowe	-	-	35,09	6,8	3,68	2,3
Razem	11,1	100,0	517,04	100,0	157,92	100,0

Objaśnienia: ¹⁾ Rzętała [2008]; ²⁾ Jaguś and Rzętała [2009]; ³⁾ Jachniak and Kozak [2011];

Wapienica jest w znikomym stopniu przekształcona przez człowieka (quasi-naturalna).

Zlewnia zbiornika Goczałkowice w swej zasadniczej części obejmuje górskie i podgórskie obszary Beskidów. W północnym sektorze posiada charakter równinny. Górską część zlewni jest narażona na oddziaływanie ośrodków wypoczynkowo-turystycznych i gospodarki leśnej, natomiast jej pozostały fragment pozostaje głównie pod wpływem rolnictwa. W strukturze użytkowania zlewni grunty rolne zajmują w przybliżeniu taką samą powierzchnię jak grunty leśne (43,1% i 42,4% odpowiednio). Na obszarze zlewni znajdują się 4 miasta (2 turystyczne i dwa z umiarkowaniem intensywnym przemysłem). Jak podają Szostak and Zimoch [2006], w zlewni w latach 90. ubiegłego wieku przebywało na stałe około 90 tys. mieszkańców, a w okresie wypoczynkowym i w weekendy liczba osób zwiększała się o dodatkowe 30 tys. Należy przypuszczać, że obecnie liczba osób przebywających w zlewni na stałe lub okresowo jest jeszcze wyższa.

Zlewnia zbiornika Łąka w swej górnej części położona jest na terenie Płaskowyżu Rybnickiego a w pozostałej na Równinie Pszczyńskiej. Jej obszar w zdecydowanej przewadze wykorzystywany jest rolniczo. Działalnością rolniczą objętych jest aż 121,7 km² (77,1%). Lasy zajmują w zlewni niewielką powierzchnię (12,7 %). Przemysł ma znikomy udział w strukturze zagospodarowania terenu zlewni [Jaguś 2015a].

METODYKA

Do oceny stanu troficznego wód zbiorników wykorzystano wyniki badań chlorofilu *a* wykonanych w laboratorium ATH w Bielsku-Białej (dane niepublikowane A. Gamoń i N. Biernat). Bada-

nia te obejmowały zbiorniki Łąka i Goczałkowice i były prowadzone w sezonie wegetacyjnym (maj – wrzesień) 2015 roku. Zrealizowano 5 serii pomiarowych chlorofilu *a* zawartego w wodzie zbiornikowej, pobieranej z dwóch stanowisk.

Stan troficzny wód zbiorników oceniano także na podstawie wyników Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska – wykorzystano materiały publikowane na stronach internetowych WIOŚ w Katowicach. Uwzględniono dane o zawartościach azotu ogólnego, fosforu ogólnego, stężeniach chlorofilu *a* i wartościach przezroczystości z badań przeprowadzonych w latach 2012–2015 w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. W tych badaniach na wytypowanych stanowiskach próby wody były pobierane w sezonie wegetacyjnym trzy razy w roku. W przypadku zbiornika Wapienica, z powodu niewielkiej ilości danych pozyskanych z WIOŚ Katowice, ocenę trofii dodatkowo oparto o wyniki z dostępnych publikacji wydrukowanych w latach 2011–2016.

Stan troficzny określano wykorzystując powszechnie stosowane w pracach oceniających trofnię wód, w tym wód zbiornikowych [Gruca-Rokosz et al. 2011, Gruca-Rokosz 2013], wartości graniczne stężeń (tab. 3) oraz na podstawie wskaźników TSI Carlsona [1977].

Przy ocenie stanu troficznego wód zbiornikowych za pomocą wskaźników TSI Carlsona uwzględniono trzy parametry: zawartość fosforu ogólnego, chlorofilu *a* i przezroczystość mierzoną krążkiem Secchiego. Do obliczeń wskaźników wykorzystano średnie ww. parametrów. Wartość wskaźników troficzných obliczono zgodnie z powszechnie znanymi wzorami Carlsona [1977]. Ocenę stanu troficznego wód na podstawie wartości liczbowych wskaźników określano za pomocą skali zaproponowanej przez cytowanego autora.

Tabela 3. Wartości graniczne oceny stanu troficznego jezior [OECD; Nürnberg – za Gruca-Rokosz et al. 2011, Gruca-Rokosz 2013]

Table 3. Limiting values of trophic states in lakes [OECD; Nürnberg – according to Gruca-Rokosz et al. 2011, Gruca-Rokosz 2013]

Stan troficzny	Fosfor og.	Chlorofil „a”		Azot og.
		średnie	maksimum	
	$\mu\text{g}/\text{dm}^3$	$\mu\text{g}/\text{dm}^3$	$\mu\text{g}/\text{dm}^3$	$\mu\text{g}/\text{dm}^3$
Wg OECD				
ultra-oligotrofia	≤ 4	≤ 1	$\leq 2,5$	-
oligotrofia	≤ 10	$\leq 2,5$	≤ 8	-
mezotrofia	≤ 35	≤ 8	≤ 25	-
eutrofia	≤ 100	≤ 25	≤ 75	-
hipertrofia	> 100	> 25	> 75	-
Wg Nürnberga				
oligotrofia	≤ 10	$\leq 3,5$	-	≤ 350
mezotrofia	≤ 30	≤ 9	-	≤ 650
eutrofia	≤ 100	≤ 25	-	≤ 1200
hipertrofia	> 100	> 25	-	> 1200

WYNIKI

Badane zbiorniki, ze względu na mniejszą niż 10 razy w roku częstość wymiany wody, zostały zaliczone do typu limnicznego (tab. 1). W takiego typu zbiornikach przeważają cechy wód stojących. Stąd też w ocenie eutrofizacji zastosowano kryteria graniczne określone rozporządzeniem Ministra Środowiska [Dz.U. 2002, nr 241, poz. 2093] dla wód stojących (tab. 4).

Porównując wartości graniczne występowania eutrofizacji dla takich wód z wynikami badań, wody zbiornika Wapienica nie wykazywały żadnych cech eutrofizacji w miejscu ich badania. W zbiorniku Goczałkowice zawartość azotu i fosforu ogólnego, przezroczystość (2013 r.) oraz stężenie chlorofilu *a* (2013 i 2015 r.) wskazywały na zjawiska eutrofizacyjne w jego wodzie. W zbiorniku Łąka wszystkie kryteria graniczne podstawowych wskaźników eutrofizacji, po-

Tabela 4. Parametry wody badanych zbiorników zaporowych na tle „wartości granicznych podstawowych wskaźników eutrofizacji wód, powyżej których występuje eutrofizacja” zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 r.

Table 4. Water parameters of studied reservoirs compared with “limiting values of basic trophic indices of water above which there is eutrophication” according to the regulation of Ministry of Environment on the 23rd of December, 2002

Rok badań	Azot ogólny (mg N/dm ³)		Fosfor ogólny (mg P/dm ³)		Chlorofil „a” ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$)		Przezroczystość (m)	
	zakres	śr.	zakres	śr.	zakres	śr.	zakres	śr.
Zbiornik Wapienica								
2014 ^a	0,65-1,5	1,02	<0,03-0,067	0,033	-	-	-	-
b,d. ^b	-	1,24	-	0,03	-	1,6	-	4,3
2004-06 ^c	-	1,14	-	0,03	-	4,2	-	-
Zbiornik Goczałkowice								
2015	-	-	-	-	2,7-20	7,6	-	-
2015 ^a	0,67-1,4	1,04	<0,03	<0,03	9,8-72	29,8	-	-
2013 ^a	0,83-2,5	1,62	0,046-0,154	0,072	7,1-46	21,2	1-1,8	1,4
Zbiornik Łąka								
2015	-	-	-	-	16-66,8	33,3	-	-
2014 ^a	1,3-2,3	1,88	0,08-0,125	0,1	-	-	0,5-1,2	0,95
2012 ^{a,1)}	1,32-4,3	2,42	0,109-0,39	0,216	14,1-152	71,9	0,4-0,8	0,6
Wartości graniczne	$> 1,5$		$> 0,1$		> 25		< 2	

Objaśnienia: ^a dane WIOŚ Katowice; ^b Miazga [2013a]; ^c Jachniak and Kozak [2011];

¹⁾ dane z dwóch stanowisk

b.d. – brak danych o roku badań

wyżej których występuje eutrofizacja, zostały przekroczone, jednoznacznie dowodząc o występowaniu tego niekorzystnego zjawiska w tym akwenie (tab. 4).

Na podstawie konfrontacji wartości granicznych oceny stanu troficznego jezior (tab. 3) z parametrami wody badanych zbiorników (tab. 4) stwierdzono różny stan trofii ich wody (tab. 5). W ocenie statusu troficznego wystąpiły różnice nie tylko pomiędzy zbiornikami, ale w obrębie samych zbiorników.

Interpretując wyniki oceny trofii wód zbiornikowych zawartych w tabeli 5. należy mieć na uwadze, że we wszystkich będących przedmiotem analizy zbiornikach azot nie jest czynnikiem limitującym produkcję pierwotną. Stosunek atomowy N : P (tzw. stosunek Redfielda – za Allan [1998]), wyliczony na podstawie średnich zawartości tych biogenów zawartych w tabeli 4., kształtował się następująco: w wodzie zbiornika Wapienica 73–88 : 1, Goczałkowic 50–71 : 1, Łąka 25–46 : 1, a więc był wyższy niż 16, co oznacza, że w wodzie tych zbiorników azot występuje w nadmiarze w stosunku do potrzeb roślin wodnych i nie decyduje o wielkości biomasy glonów planktonowych. Według stężenia azotu ogólnego

wody wszystkich zbiorników zidentyfikowano jako eutroficzne i hipertroficzne.

Po pominięciu w ocenie trofii zawartości azotu, najmniej żyzne wody, zgodnie z kryteriami stężeniowymi, posiadał zbiornik Wapienica. Stan troficzny jego wód można określić jako znajdujący się na pograniczu oligotrofii i mezotrofii. Mniej korzystna sytuacja troficzna występowała w zbiorniku Goczałkowice. Wody tego zbiornika kwalifikowano najczęściej jako mezotroficzne lub eutroficzne. Najbardziej zasobne wody, a zarazem najbardziej produktywne zawierał zbiornik Łąka. Ich stan troficzny szacowano przeważnie jako hipertroficzny, czyli bardzo niekorzystny.

Ocenę stanu troficznego wód zbiornikowych wskaźnikami troficznymi Carlsona zawarto w tabeli 6. Wyniki wyliczeń indeksów cząstkowych wykazały, podobnie jak przy zastosowaniu kryteriów stężeniowych, różny stan troficzny każdego z badanych zbiorników. Poza tym stwierdzono pewne rozbieżności w wartościach indeksów cząstkowych w obrębie każdego ze zbiorników (tab. 6).

Według założeń Carlsona [1977] cząstkowe wskaźniki TSI powinny być porównywalne. Ponieważ na terenie naszego kraju obserwuje się brak zrównoważenia pomiędzy wskaźnika-

Tabela 5. Stan troficzny wód badanych zbiorników zaporowych według kryteriów stężeniowych
Table 5. A trophic state of studied reservoirs water according to concentration criteria

Kryterium oceny troficzności	Rok badań ¹⁾	Fosfor og. (średnia)	Chlorofil „a”		Azot ogól. (średnia)
			średnia	maksimum	
Zbiornik Wapienica					
Wg OECD	2014	mezotrofia	-	-	-
	b.d.	mezotrofia	oligotrofia	-	-
	2004–2006	mezotrofia	mezotrofia	-	-
Wg Nürnberga	2014	eutrofia	-	-	eutrofia
	b.d.	mezotrofia	oligotrofia	-	hipertrofia
	2004–2006	mezotrofia	mezotrofia	-	eutrofia
Zbiornik Goczałkowice					
Wg OECD	2015	-	mezotrofia	mezotrofia	-
	2015	mezotrofia	hipertrofia	eutrofia	-
	2013	eutrofia	eutrofia	eutrofia	-
Wg Nürnberga	2015	-	mezotrofia	-	-
	2015	mezotrofia	hipertrofia	-	eutrofia
	2013	eutrofia	eutrofia	-	hipertrofia
Zbiornik Łąka					
Wg OECD	2015	-	hipertrofia	hipertrofia	-
	2014	eutrofia	-	-	-
	2012	hipertrofia	hipertrofia	hipertrofia	-
Wg Nürnberga	2015	-	hipertrofia	-	-
	2014	eutrofia	-	-	hipertrofia
	2012	hipertrofia	hipertrofia	-	hipertrofia

¹⁾ Zgodnie z danymi zawartymi w tabeli 4.

Tabela 6. Stan troficzny wód badanych zbiorników zaporowych według wskaźników troficznych Carlsona
Table 6. A trophic state of studied reservoirs water according to the Carlson index

Zbiornik	Rok badań ¹⁾	TSI _{TP}		TSI _{Chl}		TSI _{SD}	
		wartość	stan troficzny	wartość	stan troficzny	wartość	stan troficzny
Wapienica	2014	54,6	M/E	-	-	-	-
	b.d.	53,2	M/E	35,2	O	39,0	O
	2004–2006	53,2	M/E	44,7	M	-	-
Goczałkowice	2015	-	-	50,5	M/E	-	-
	2015	53,2	M/E	63,9	E	-	-
	2013	65,9	E	60,6	E	55,1	M/E
Łąka	2015	-	-	65,0	E	-	-
	2014	70,6	H	-	-	60,7	E
	2012	81,7	H	72,5	H	67,4	E

¹⁾ Zgodnie z danymi zawartymi w tabeli 4.

Objaśnienia: TSITP – wskaźnik fosforowy, TSIChl – wskaźnik chlorofilowy, TSISD – wskaźnik przezroczystości, O – oligotrofia, M – mezotrofia, M/E – mezo-eutrofia, E – eutrofia, H – hipertrofia

mi TSI_{TP} i TSI_{Chl}, w opinii Grucy-Rokosz [2013] w ocenie stanu troficznego zbiorników zaporowych najlepszym „wyróżnikiem troficznym Carlsona”, jest indeks chlorofilowy (TSI_{Chl}). Oceniając stan trofii zbiorników zaporowych należy mieć na uwadze, że poza zbiornik mogą odpływać istotne ilości związków biogenych dostarczanych poprzez dopływy. Należy też uwzględnić fakt [Kasza 2009], że zbiorniki stale zasilane są wodą rzeczną i wnioskowanie czy przezroczystość wody odzwierciedla sytuację wywołaną występowaniem fitoplanktonu i jego pochodnych, czy też zawiesiną wnoszoną ze zlewni z wodą rzeczną jest utrudnione. Mając powyższe na względzie, według wskaźnika chlorofilowego (TSI_{Chl}) wody zbiornika Wapienica można uznać za oligo-/mezotroficzne, zbiornika Goczałkowice za mezo-eutroficzne bądź eutroficzne, a zbiornika Łąka za eutroficzne lub hipertroficzne. Należy dodać, że powyższa ocena stanu troficznego wód zbiornikowych jest niemal zbieżna z oceną według kryteriów stężeniowych.

DYSKUSJA

O stopniu żyzności wód zbiorników zaporowych i narażeniu na eutrofizację decyduje wiele uwarunkowań. Jednym z istotnych czynników w tym kontekście jest zagospodarowanie zbiornikowej zlewni. Jeśli zlewnia pozostaje pod niewielkim wpływem antropopresji i jest w znikomym stopniu przekształcona przez człowieka (quasi-naturalna), to należy oczekiwać, że reten-

cjonowana w rezerwarze woda będzie posiadać bardzo dobre walory jakościowe. Z kolei, gdy jej obszar jest przeobrażony i nieprawidłowo eksploatowany, tzn. przyczyniający się do odpływu z jej areału substancji biogenych i innych zanieczyszczeń, to taka sytuacja spotęguje obciążenie zbiornika materią, a w konsekwencji wywoła zjawisko eutrofizacji i pogorszenie jakości wody zbiornikowej [Jaguś 2015].

Ocena stanu troficznego badanych zbiorników potwierdziła powyższe twierdzenia. Wodę zbiornika Wapienica, posiadającego zlewnię niemal naturalną, zdefiniowano jako znajdującą się na granicy oligotrofii i mezotrofii, zaś zbiornika Łąka, którego zlewnia jest intensywnie wykorzystywana rolniczo, jako wykazującą cechy eutrofii bądź hipertrofii. Stan troficzny wody zbiornika Goczałkowice, posiadającego zlewnię umiarkowanie wykorzystywaną przez człowieka, zidentyfikowano jako znajdujący się w pośrodku pomiędzy ocenami troficznymi wód zbiorników Wapienica i Łąka, tj. kształtujący się jako mezo-/eutroficzny. Należy przypuszczać, że przyczyną takiego zróżnicowania poziomu trofii wody rozpatrywanych zbiorników jest dopływ ze zlewni różnych pod względem wielkości ładunków związków biogenych powodujących odmienne jednostkowe obciążenie powierzchni każdego ze zbiorników, a w efekcie końcowym określony stan troficzny wód. Z przytoczonego wyżej atomowego stosunku N : P wynika, że we wszystkich rozpatrywanych zbiornikach fosfor limituje produkcję pierwotną. Z tych powodów obliczono przybliżone (orientacyjne) ładunki zewnętrzne

Tabela 7. Jednostkowe zewnętrzne obciążenie badanych zbiorników zaporowych fosforem na tle ładunku dopuszczalnego i niebezpiecznego

Table 7. Unitary external loading of studied reservoirs with phosphorus compared to allowed and dangerous load

Rodzaj ładunku	g P · m ⁻² · rok ⁻¹		
	zbiornik Wapienica	zbiornik Goczałkowice	zbiornik Łąka
Ładunek zewnętrzny	1,78	0,91	2,48
Ładunek dopuszczalny	1,44	0,26	0,38
Ładunek niebezpieczny	2,88	0,52	0,76

tego biogenu obciążające jednostkę powierzchni każdego ze zbiorników oraz ładunki dopuszczalne i niebezpieczne (tab. 7). Obrachunku jednostkowych obciążeń fosforem dokonano na podstawie danych o „średnim rocznym przepływie” (tab. 1) i aktualnych (dostępnych) zawartości fosforu w dopływie (2013 lub 2014 rok – dane ze stron internetowych WIOŚ Katowice), zaś ładunki dopuszczalne i niebezpieczne wyznaczono w oparciu o wzory Vollenweidera (1976).

Z przeprowadzonej analizy wynika, że roczna pula dopływającego do zbiornika Wapienica fosforu nie przekroczyła ładunku niebezpiecznego, oraz że zgodnie z modelem Vollenweidera nie zostały przekroczone wielkości dopuszczalne dla strefy mezotroficznej. W przypadku dwóch pozostałych ocenianych zbiorników stwierdzono zbyt duży, przewyższający ładunki niebezpieczne dopływ do nich tego biogenu. W przypadku zbiornika Goczałkowice dopływ fosforu był niemal dwukrotnie (1,75) wyższy od ładunku niebezpiecznego, a zbiornika Łąka ponad trzykrotnie wyższy. Te nadmierne obciążenia zbiorników Goczałkowice i Łąka fosforem wyjaśniają przyczyny niekorzystnego, ale też zarazem zróżnicowanego stanu troficznego wód obu zbiorników.

Oszacowany wyżej stan troficzny wód badanych rezerwarów oraz określone przybliżone ich jednostkowe obciążenie eutrofogennym fosforem znajduje potwierdzenie w badaniach jakości wód. W przypadku wody zbiornika Wapienica w tego typu analizach podkreślona zostaje wysoka jakość wód zbiornikowych [Miazga 2013a]. Odmienna opinia dotyczy wód zbiornika Łąka. Według Jagusia [2015a], wody tego akwenu „nie tylko nie nadają się do bezpośredniej konsumpcji, ale także

nie powinny być poddawane procesom uzdatniania”. W ocenie jakości wód zbiornika Goczałkowice wg „Raportu o stanie środowiska w województwie śląskim w 2014 roku [2015] stwierdza się, że zbiornik Goczałkowice „spełniał wymogi określone dla obszarów chronionych w zakresie poboru wody” a stan chemiczny wód zbiornikowych został określony jako dobry.

WNIOSKI

1. Stwierdzono zróżnicowany status troficzny wód każdego z badanych zbiorników.
2. Zaobserwowano zależność pomiędzy sposobem użytkowania zlewni a stanem troficznym wód zbiornikowych. Im zlewnia zbiornika była intensywniej wykorzystywana rolniczo, tym jego wody cechowały się wyższym statusem troficznym.
3. Zgodnie z regulacjami prawnymi obowiązującymi w naszym kraju stwierdzono występowanie symptomów eutrofizacji w wodzie zbiorników Goczałkowice i Łąka.
4. Stan troficzny wyrażony poprzez wskaźniki TSI oraz kryteria stężeniowe został określony dla wód zbiornika Wapienica jako znajdujący się na pograniczu oligotrofii i mezotrofii, zbiornika Goczałkowice jako kształtujący się pomiędzy mezoeutrofią a eutrofią, zaś zbiornika Łąka jako wykazujący cechy eutrofii bądź hipertrofii.
5. Istnieje potrzeba intensyfikacji ochrony wód zbiorników Goczałkowice i Łąka.

Podziękowanie

Dziękuję paniom Arletcie Gamoń i Natalii Biernat za udostępnienie niepublikowanych danych o stężeniach chlorofilu *a* w zbiornikach Łąka i Goczałkowice.

LITERATURA

1. Allan D. 1998. Ekologia wód płynących. PWN, Warszawa.
2. Błażyca D. 2013. Uwarunkowania wahań stanów wody w zbiorniku Łąka na Pszczynce. Z badań nad wpływem antropopresji na środowisko. Wydział Nauk o Ziemi UŚ, Sosnowiec, 14, 9–15.
3. Bojarski A. 2015. Wieloetapowy remont zapory betonowej w Wapienicy – efekty i problemy. [W]: Więzik B.

- (red.) Przedsiębiorstwa wodociągowo-kanalizacyjne wczoraj, dziś i jutro, Bielsko-Biała, 125–142.
4. Bojarski A., Gręplowska Z., Nachlik E. (red.). 2012. Zbiornik Goczałkowie: Analiza przyczynowo-skutkowa DPSIR procesów i zjawisk istotnych z punktu widzenia zarządzania zbiornikiem zaporowym. Monografia 420, seria: Inżynieria Środowiska, Politechnika Krakowska, Kraków.
 5. Carlson R.E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22(2), 361–369.
 6. Gruca-Rokosz R. 2013. Stan troficzny zbiornika zaporowego Rzeszów. *Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury*, t. XXX, 60(3/13), 279–291.
 7. Gruca-Rokosz R., Koszelnik P., Tomaszek J. 2011. Ocena stanu troficznego trzech nizinnych zbiorników zaporowych Polski Południowo-wschodniej. *Inżynieria Ekologiczna*, 26, 196–205.
 8. Jachniak E. 2011. Ładunki związków biogennych a stopień eutrofizacji zbiornika zaporowego Kozłowa Góra. *Nauka Przyroda Technologie*, 5(4), #55.
 9. Jachniak E., Kozak J. L. 2011. Glony planktonowe – bioindykatory poziomu zeutrofizowania dwóch zbiorników zaporowych: Wapienicy i Kozłowej Góry. *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, 12, 43–50, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.
 10. Jaguś A. 2011. Ocena stanu troficznego wód zbiorników kaskady Soły. *Proceedings of ECOpole*, 5(1), 233–238.
 11. Jaguś A. 2013. Possible use of a water reservoir in conditions of agricultural anthropopressure – Laka dam reservoir. *Ecological Chemistry and Engineering A*, 20(9), 951–959.
 12. Jaguś A. 2013a. Quality of water retained in the natural mountain catchment (dam reservoir Wapienica). *Ecological Chemistry and Engineering A*, 20(4–5), 481–489.
 13. Jaguś A. 2015. Degradacja i ochrona zbiorników zaporowych na przykładzie kaskady Soły. *Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej*.
 14. Jaguś A. 2015a. Konsekwencje działalności rolniczej w górnej części zlewni Pszczynki dla korzystania z wód powierzchniowych. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 18(1), 97–108.
 15. Jaguś A. 2015b. Water treatment in natural mountain catchment (Wapienica dam reservoir, southern Poland). *Desalination and Water Treatment*, 55(13), 3547–3553.
 16. Jaguś A., Rzętała M. 2009. Kształtowanie jakości wód zbiorników zaporowych w warunkach antropresji rolniczej. *Proceedings of ECOpole*, 3(2), 471–476.
 17. Jodłowski A., Gutkowska E. 2012. Ocena stanu troficznego wód Zbiornika Sulejowskiego na podstawie indeksu Carlsona. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 15(4), 341–351.
 18. Kasza H. 2009. Zbiorniki zaporowe – znaczenie, eutrofizacja, ochrona. *Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej*.
 19. Miazga M. 2013. Charakterystyka limnologiczna zbiornika Wapienica. *Z badań nad wpływem antropresji na środowisko*. Wydział Nauk o Ziemi UŚ, Sosnowiec, 14, 30–42.
 20. Miazga M. 2013a. Ocena naturalnej podatności na degradację oraz jakość wód zbiornika Wapienica. *Acta Geographica Silesiana, WN oZ UŚ*, 13, 43–49.
 21. Neverova-Dziopak E. 2007. *Ekologiczne aspekty ochrony wód powierzchniowych*. Monografia, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.
 22. Raport o stanie środowiska w województwie śląskim w 2014 roku. Stan środowiska w województwie śląskim w 2014 roku. *Biblioteka Monitoringu Środowiska*, Katowice, 2015.
 23. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 r. w sprawie kryteriów wyznaczania wód wrażliwych na zanieczyszczenie związkami azotu ze źródeł rolniczych. *Dz.U. nr 241, poz. 2093*.
 24. Rzętała M. 2008. *Funkcjonowanie zbiorników wodnych oraz przebieg procesów limnicznych w warunkach zróżnicowanej antropresji na przykładzie regionu górnośląskiego*. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
 25. Siudy A., Bilnik A., Świercz T., Szlęk Z. 2005. Wielofunkcyjny zbiornik retencyjny Goczałkowiec na Małej Wiśle i jego znaczenie dla gospodarki wodnej Górnego Śląska. [W:] Więzik (red.): 50-lecie budowy zbiornika wodnego na Małej Wiśle w Goczałkowicach. GPW S.A. w Katowicach. Katowice. 7–22.
 26. Szostak A., Zimoch I. 2006. Zmiany jakościowe i ilościowe fitoplanktonu w zbiorniku Goczałkowiec w latach 1992–2004. [W:] Więzik (red.): 50-lecie budowy zbiornika wodnego na Małej Wiśle w Goczałkowicach. GPW S.A. w Katowicach. Katowice. 55–71.
 27. Vollenweider R.A. 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 33, 53–83.
 28. WIOŚ – www.Katowice.pios.gov.pl/monitoring/informacje.