



Kształtowanie jakości wody odpływającej i dopływającej z kompleksu zbiorników Niewiadoma zlokalizowanego na rzece Cetyni

Agnieszka Bus, Józef Mosiej

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa

1. Wprowadzenie

Konieczność budowy zbiorników małej retencji, zlokalizowanych na ciekach o stosunkowo niewielkim przepływie jest bezdyskusyjna. Niestety, często jakość wód zasilających zbiorniki wodne jest niska (Dąbrowska i Markowska 2012, Rzętała i in. 2011, Mazur 2013), a co z tym związane powoduje degradację tych wyjątkowo wrażliwych ekosystemów (Adamczyk i Jachimowski 2013).

Sposób użytkowania zlewni w znaczący sposób wpływa na jakość wody gromadzonej na jej obszarze. Zbiorniki wodne zlokalizowane na obszarach użytkowanych rolniczo narażone są na znacząco wyższe dopływy ładunków związków biogenych (Pulikowski i in. 2015), a niżeli zbiorniki położone na terenie zlewni leśnych (Bedla i Misztal 2014). Wpływ wiatrołomu na jakość wody powierzchniowej prowadził m.in. Żelazny i in. (2017). Potwierdzają one pozytywny wpływ lasów na skład chemiczny wody.

Często projektanci małych zbiorników retencyjnych (do 5 mln m³) w celu ograniczenia ryzyka eutrofizacji wody, projektują zbiorniki wstępne mające na celu obniżenie ładunku związków biogenych dopływających do zbiornika głównego (Pütz, K. i Benndorf, J. 1998, Mazur 2013, Mosiej i Bus, 2015, Wiatkowski i Rosik-Dulewska 2016). Jednak brak jest jakichkolwiek, wytycznych do projektowania i eksploatacji takich zbiorników dotyczących przede wszystkim takich parametrów jak: wielkość

zbiornika wstępnego w stosunku do głównego, głębokości minimalne zbiorników, czas retencji wody w zbiorniku wstępnym i zasadniczym.

Wyniki badań przedstawione w pracy mogą być wykorzystane przy realizacji regionalnych programów związanych ze zwiększaniem możliwości retencyjnych oraz przeciwdziałanie powodzi i suszy w ekosystemach leśnych (Miler, 2015, Wiatkowski i in., 2018) jak i na obszarach użytkowanych rolniczo (Frankowski i Zbierska 2015). Przy realizacji programów małej retencji zarówno w lasach i obszarach rolniczych koncentrowano się dotychczas przede wszystkim na aspektach ilościowych, pomijając bardzo ważny wpływ retencionowania wody na kształtowanie jakości wody w zbiornikach.

W artykule przedstawiono kształtowanie się jakości wody w rzece Cetyni, na odcinku na którym zlokalizowane są zbiorniki retencyjne Kupientyn i Niewiadoma. Na podstawie analizy podstawowych wskaźników chemicznych (fosforany), organicznych (BZT₅) i fizycznych (przewodność elektrolityczna, zawiesina ogólna, mętność, pH) dokonano oceny funkcjonowania kompleksu zbiorników.

2. Materiał i metody

Rzeka Cetynia (województwo mazowieckie, powiat sokołowski) jest lewobrzeżnym dopływem Bugu, o długości 35,6 km i powierzchni zlewni wynoszącej 214 km². Zlewnia rzeki położona jest na obszarze niziny Południowopodlaskiej, mezoregion Wysoczyzna Siedlecka (Kondracki 2000). Teren wysoczyzny siedleckiej zdominowany jest przez gleby brunatno ziemne i płowe powstałe na glinach morenowych i piaskach gliniastych. Użytki rolne stanowią 58% powierzchni obszaru zlewni do czoła zapory zbiornika głównego Niewiadoma, lasy zajmują 9%, obszary zabudowane 14%, tereny zielone – 19%.

Rzeka zaliczana jest cieków charakterystycznych dla obszarów nizinnych, typu 17 (potok nizinny piaszczysty). Przepływ średni roczny z wielolecia (1951-1965) w przekroju zbiornika Niewiadoma wynosi 0,38 m³/s (Projekt ... 2002). Na rzece zlokalizowany jest zespół zbiorników Niewiadoma, który składa się ze zbiornika wstępnego Kupientyn, oddanego do użytku w 2004 r., oraz zbiornika głównego Niewiadoma który funkcjonuje od 2013 r. Podstawowe parametry techniczne zbiorników przedstawiono w tabeli 1. Początkowy odcinek rzeki, powyżej ze-

społu zbiorników Niewiadoma, przepływa przez obszar miasta Sokołowa Podlaskiego. Rzeka na tym odcinku jest odbiornikiem ścieków deszczowych spływających z miasta. Za miastem do rzeki Cetyni wpada ciek Kościółek, który jest głównym odbiornikiem oczyszczonych ścieków z oczyszczalni ścieków w Sokołowie Podlaskim.

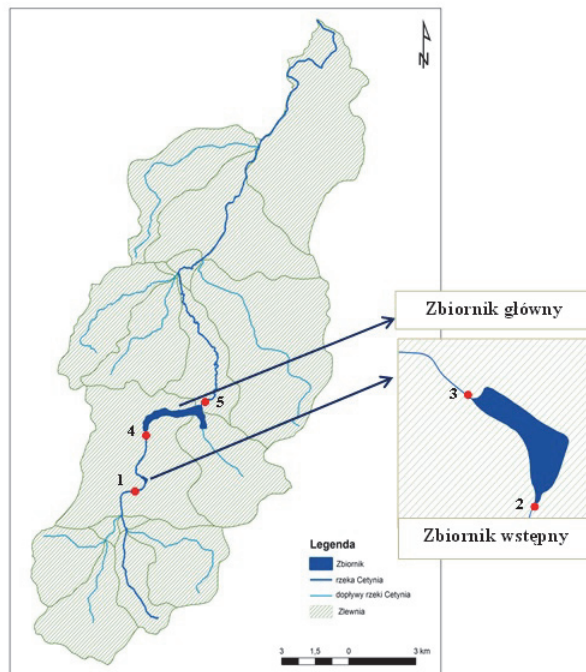
Tabela 1. Podstawowe parametry techniczne zbiorników (Raport... 2002)

Table 1. Basic technical parameters of reservoirs (Raport... 2002)

Wyszczególnienie	Jednostka	Zbiornik wstępny Kupientyn	Zbiornik główny Niewiadoma
Lokalizacja inwestycji (zespołu zbiorników) wg kilometrażu rzeki Cetyni	km	21+500 – 28+250	
Powierzchnia zlewni w profilu zapory	km ²	55,1	65,1
Powierzchnia zalewu zbiornika przy NPP	ha	2,25	42,22
Objętość zbiornika przy NPP	tys. m ³	28,9	1140
Średnia/maksymalna głębokość zbiornika przy NPP	m	1,28/1,60	2,70/7,25
Czas zatrzymania wody w zbiorniku	d	0,33	35

Próbki wody pobierano od października 2013 do października 2017 w pięciu punktach pomiarowych (rysunek 1): 1. zlokalizowany powyżej zbiornika wstępnego, 2. na dopływie do zbiornika wstępnego, 3. na odpływie ze zbiornika wstępnego, 4. na dopływie do zbiornika głównego oraz 5. na odpływie z zbiornika głównego. Odcinek pomiędzy punktami 1-2, który bezpośrednio sąsiaduje z rzeką otoczony jest przez pola uprawne i łąki., na odcinku pomiędzy punktami 3-4 rzeka ma charakter półnaturalny, na którym meandruje i przepływa przez naturalne trzcinowisko. W sumie w ciągu analizowanego okresu pobrano 40 próbek wody w których oznaczano: P-PO₄ (FiaStar 5000), pH (WTW, pH340), BZT₅ (OxiTOP), zawiesinę ogólną (DR2400, Hach), mętność (neflometr TurbiDirect) i przewodność elektrolityczną (Con110, Lovibond). Dla każdego wskaźnika określono podstawowe statystyki opisowe dla okresów wiosenno-letniego (WL) i jesienno-zimowego (JZ) w celu określenia wpływu roślinności na jakość wody: wartości minimalne i maksymalne oraz średnie arytmetyczne.

Istotność wahań sezonowych między okresem wiosenno-letnim i jesienno-zimowym wskaźników jakości wód oceniono z wykorzystaniem testu *t*-Studenta dla prób niezależnych przy założonym poziomie ufności 95%. W momencie gdy założenia tego testu nie były spełnione stosowano jego nieparametryczny odpowiednik – test U Manna-Whitneya, który nie wymaga homogeniczność wariancji ani też rozkładu normalnego. Obliczono także średnie redukcje zanieczyszczeń pomiędzy analizowanymi punktami z podziałem na okres wiosenno-letni i jesienno-zimowy.



Rys. 1. Lokalizacja punktów pomiarowych w zlewni rzeki
Fig. 1. Location of sampling points at the river catchment

3. Wyniki i dyskusja

Zestawienie średnich arytmetycznych, minimalnych i maksymalnych wartości dla poszczególnych wskaźników jakości wody w punktach pomiarowych w analizowanych okresach przedstawiono w tabelach 2 i 3.

Stężenie fosforanów w wodzie zasilającej zbiorniki wodne powinno być możliwie jak najniższe ze względu na istotny wpływ tego pierwiastka na proces degradacji wód (Karczmarczyk i Bus 2017). Vollenweider (1968) określił dla jezior graniczne stężenie fosforu, powyżej którego następuje intensywny przyrost masy fitoplanktonu na 0,01 mg/l. Najwyższe przekroczenia dotyczą fosforanów, których wartość średnia w analizowanych okresach przekroczona została 160-krotnie w punktach 1-3 (w okresie wiosenno-letnim) i ponad 50-krotnie w punkcie 4 (w okresie jesienno-zimowym). Średnie wartości fosforanów są wyższe w okresie wiosenno-letnim o 51-58% w punktach 1-3, o 36% w punkcie 4 oraz o 12% na odpływie ze zbiornika głównego niż w okresie jesienno-zimowym. Taka obserwacja może świadczyć o zasilaniu wody w związku fosforu pochodzące z nawożenia pól uprawnych, rozkładu roślinności wodnej lub uwalniania z osadów dennych. Również Grzywna i in. (2017) za główną przyczynę niskiej jakości wód podają wysokie stężenie fosforanów (0,46 mg/l). Wysokie wartości notowano również dla zanieczyszczeń organicznych wyrażonych wskaźnikiem BZT₅. Notowane średnie wartości wahają się w granicach od 2,42 do 7,00 mg O₂/l w okresie wiosenno-letnim i od 2,21 do 9,20 mg O₂/l w okresie jesienno-zimowym. W przypadku BZT₅ średnie wartości dla okresu jesienno-zimowego są wyższe niż w okresie wiosenno-letnim. Wyjątek stanowi tylko dopływ do zbiornika głównego (punkt 4). Średnie stężenia zawiesiny ogólnej w okresie jesienno-zimowym wahają się w granicach od 5,60 do 12,25 mg/l. Wyższe wartości notowano w okresie wiosenno-letnim, które wahały się w granicach 9,11 do 20,90 mg/l. Wartości przewodności elektrolitycznej wahają się w zakresie od 0,37 do 1,85 mS/cm i od 0,50 do 4,58 mS/cm, odpowiednio w okresach: wiosenno-letnim i jesienno-zimowym, co świadczy o dużym zasoleniu wód. Średnie wartości w okresie wiosenno-letnim są wyższe w punktach 1 i 2, a niżeli w okresie jesienno-zimowym. Odwrotną zależność zaobserwowano w przypadku punktów pomiarowych 3-5. Średnie wartości mętności w analizowanych przekrojach są wyższe w okresie wiosenno-letnim o 41-68%, a niżeli w okresie jesienno-zimowym. Wyjątek stanowi punkt pomiarowy 1, gdzie wyższe wartości zanotowano w okresie jesienno-zimowym.

Notowane wartości pH są zbliżone do siebie w obu analizowanych okresach i wahają się w granicach od 7,30 do 9,00 co odpowiada odczynowi lekko i silnie zasadowemu (tabela 1 i 2).

Tabela 2. Wartości średnie, minimalne i maksymalne poszczególnych wskaźników jakości wody w punktach pomiarowych w latach 2013-2017 w okresie wiosenno-letnim

Table 2. Average, minimum and maximum values of examined water quality indicators in each sampling points in spring-summer period 2013-2017

Punkt:	1	2	3	4	5
Wskaźnik	Średnia Minimum – Maksimum				
P-PO ₄ [mg/l]	$\frac{1,623}{0,045 - 6,500}$	$\frac{1,595}{0,064 - 6,906}$	$\frac{1,680}{0,133 - 6,348}$	$\frac{0,817}{0,152 - 1,723}$	$\frac{0,734}{0,016 - 2,211}$
BZT ₅ [mg O ₂ /l]	$\frac{2,42}{0,00 - 10,00}$	$\frac{5,10}{0,00 - 22,00}$	$\frac{5,25}{0,00 - 48,00}$	$\frac{7,00}{0,00 - 45,00}$	$\frac{6,60}{0,00 - 23,00}$
Zawiesina ogólna [mg/l]	$\frac{9,11}{0,00 - 35,00}$	$\frac{14,05}{0,00 - 43,00}$	$\frac{20,90}{0,00 - 59,00}$	$\frac{18,70}{0,00 - 68,00}$	$\frac{11,15}{0,00 - 33,00}$
Mętność [NTU]	$\frac{5,58}{1,14 - 14,40}$	$\frac{19,19}{2,83 - 74,10}$	$\frac{18,28}{1,97 - 51,30}$	$\frac{20,79}{6,47 - 100,00}$	$\frac{20,16}{2,32 - 79,02}$
Przewodność elektryczna [mS/cm]	$\frac{1,15}{0,53 - 1,57}$	$\frac{1,12}{0,59 - 1,67}$	$\frac{1,13}{0,55 - 1,85}$	$\frac{0,74}{0,37 - 0,97}$	$\frac{0,68}{0,44 - 1,53}$
pH [-]	$\frac{-}{7,70 - 8,40}$	$\frac{-}{7,40 - 8,60}$	$\frac{-}{7,36 - 8,70}$	$\frac{-}{7,60 - 9,30}$	$\frac{-}{7,60 - 8,90}$

Tabela 3. Wartości średnie, minimalne i maksymalne poszczególnych wskaźników jakości wody w punktach pomiarowych w latach 2013-2017 w okresie jesienno-zimowym

Table 3. Average, minimum and maximum values of examined water quality indicators in each sampling points in autumn-winter period 2013-2017

Punkt:	1	2	3	4	5
Wskaźnik	Średnia Minimum – Maksimum				
P-PO ₄ [mg/l]	$\frac{0,791}{0,005 - 3,052}$	$\frac{0,715}{0,002 - 1,715}$	$\frac{0,695}{0,019 - 1,769}$	$\frac{0,527}{0,062 - 1,306}$	$\frac{0,639}{0,142 - 2,256}$
BZT ₅ [mg O ₂ /l]	$\frac{9,20}{0,00 - 39,00}$	$\frac{8,84}{0,00 - 26,00}$	$\frac{6,35}{0,00 - 39,00}$	$\frac{2,21}{0,00 - 10,00}$	$\frac{8,60}{0,00 - 34,00}$
Zawiesina ogólna [mg/l]	$\frac{12,25}{0,00 - 82,00}$	$\frac{9,63}{0,00 - 40,00}$	$\frac{8,65}{0,00 - 26,00}$	$\frac{8,32}{0,00 - 35,00}$	$\frac{5,60}{0,00 - 23,00}$
Mętność [NTU]	$\frac{14,85}{1,16 - 107,00}$	$\frac{10,62}{1,62 - 40,70}$	$\frac{9,53}{3,56 - 21,10}$	$\frac{8,30}{2,79 - 38,40}$	$\frac{8,54}{2,80 - 23,40}$
Przewodność elektryczna [mS/cm]	$\frac{0,95}{0,50 - 1,60}$	$\frac{0,96}{0,53 - 1,53}$	$\frac{1,20}{0,48 - 4,58}$	$\frac{0,83}{0,47 - 1,67}$	$\frac{0,84}{0,55 - 1,76}$
pH [-]	$\frac{-}{7,45 - 8,80}$	$\frac{-}{7,30 - 8,90}$	$\frac{-}{7,40 - 8,80}$	$\frac{-}{7,50 - 8,90}$	$\frac{-}{7,40 - 9,00}$

Przeprowadzona analiza testem t-Studenta i U Manna-Whitneya w okresie wiosenno-letnim (tabela 4) wykazała istotne różnice dla: P-PO₄ na odcinku o charakterze półnaturalnym, przewodności elektrycznej na odcinku rzeki o charakterze półnaturalnym i dla zbiornika głównego oraz dla mętności na odcinku użytkowanym rolniczo. Istotne różnice w okresie jesienno-zimowym (tabela 5) odnotowano dla BZT₅ po przepłynięciu wody przez czaszę zbiornika głównego oraz dla mętności na odcinku o charakterze półnaturalnym. W pozostałych przypadkach jeśli różnice występowały, to nie były one istotne statystycznie.

Tabela 4. Wyniki testów t-Studenta i U Manna-Whitneya istotności różnic średnich stężeń wskaźników jakości wody w sezonie wiosenno-letnim w analizowanych odcinkach

Table 4. Results of t-Student and U Mann-Whitney tests of significance of mean concentrations differences of water quality indicators in spring – summer season examined sections

Wskaźnik	Odcinek rolniczy		Zbiornik wstępny		Odcinek półnaturalny		Zbiornik główny	
	Test		Test		Test		Test	
	t-Studenta	U Manna-Whitneya	t-Studenta	U Manna-Whitneya	t-Studenta	U Manna-Whitneya	t-Studenta	U Manna-Whitneya
P-PO ₄	-	1,0000	-	0,7048	0,0102*		0,6162	
BZT ₅	-	0,0646	-	0,2434	-	0,2481	-	0,7440
Zawiesina ogólna	-	0,3188	-	0,1977	-	0,6257	-	0,1192
Mętność	0,0042*		-	0,5791	-	0,4487	-	0,4092
EC	0,8509		0,9095		0,0000*		-	0,0324*
pH	0,2138		0,6495		0,0962		0,2685	

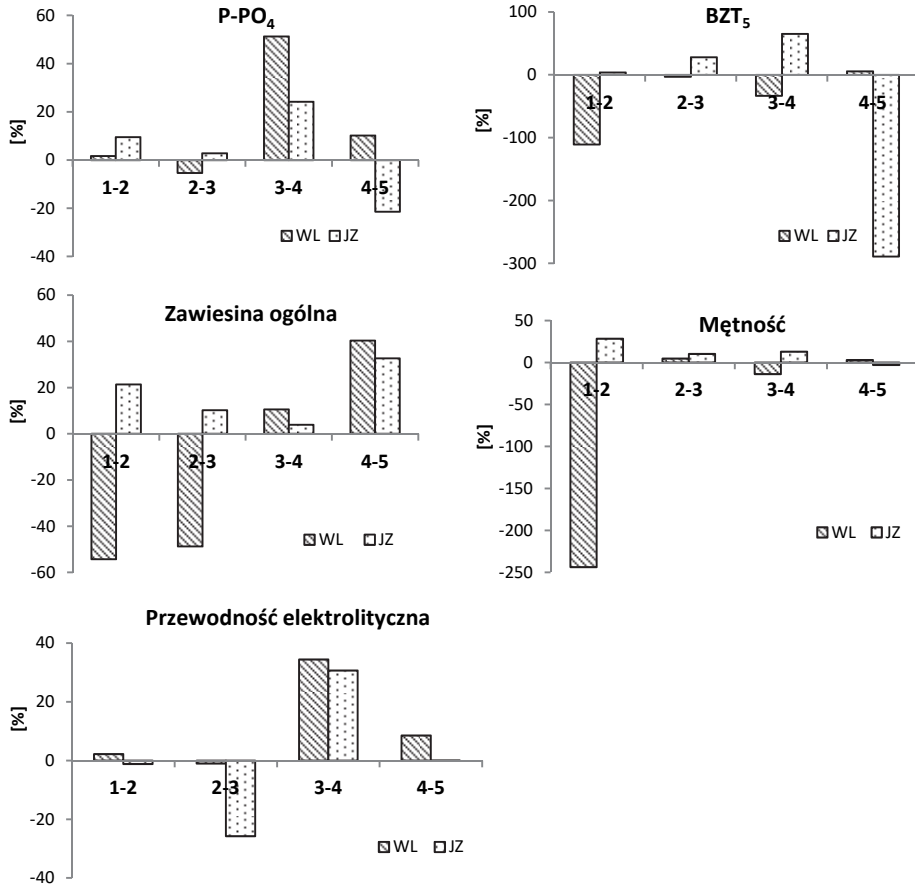
* różnice istotne dla $\alpha = 0,05$ przy $p < 0,05$; „-” nie spełnia założeń testu t-Studenta

Tabela 5. Wyniki testów *t*-Studenta i U Manna-Whitneya istotności różnic średnich stężeń wskaźników jakości wody w sezonie jesienno-zimowym w analizowanych odcinkach

Table 5. Results of *t*-Student and U Mann-Whitney tests of significance of mean concentrations differences of water quality indicators in autumn – winter season examined sections

Wskaźnik	Odcinek rolniczy		Zbiornik wstępny		Odcinek półnaturalny		Zbiornik główny	
	Test		Test		Test		Test	
	t-Studenta	U Manna-Whitneya	t-Studenta	U Manna-Whitneya	t-Studenta	U Manna-Whitneya	t-Studenta	U Manna-Whitneya
P-PO ₄	0,7323		0,9026		0,2737		0,4119	
BZT ₅	-	0,6530	-	0,0743	-	0,1031	0,0146*	
Zawiesina ogólna	-	0,5934	-	0,8330	-	0,6130	-	0,1188
Mętność	-	0,8771	-	0,7572	-	0,0189*	-	0,6429
EC	-	0,8330	-	0,9440	-	0,3177	-	1,0000
pH	0,9395		0,9789		0,7915		0,6711	

* różnice istotne dla $\alpha = 0,05$ przy $p < 0,05$; „-” nie spełnia założeń testu t-Studenta



Rys. 2. Procentowa redukcja zanieczyszczeń pomiędzy badanymi punktami pomiarowymi (1-2 odcinek rolniczy; 2-3 zbiornik wstępny; 3-4 odcinek półnaturalny; 4-5 zbiornik główny) w okresie wiosenno-letnim (WL) i jesienno-zimowym (JZ)

Fig. 1. Percentages reduction of contamination between examined sampling points (1-2 agricultural section; 2-3 water pre-reservoir; 3-4 semi-natural section; 4-5 main reservoir) during spring-summer (SS) and autumn-winter (AW) periods

Zestawienie wartości redukcji dla poszczególnych odcinków rzeki w okresach wiosenno-letnim i jesienno-zimowym przedstawiono na rys. 2. Korzystny wpływ na obniżenie wartości analizowanych wskaźników można zaobserwować na odcinku półnaturalnym. Widoczna jest tu całoroczna redukcja stężeń P-PO₄, w okresie wiosenno-letnim (51,4%) i jesienno-zimowym (24,2%), BZT₅ w okresie jesienno-zimowym (65,2%), przewodności elektrolitycznej zarówno w okresie wiosenno-letnim i jesienno-zimowym (odpowiednio 34,4% i 30,7%), mętności w okresie jesienno-zimowym (13,0%) oraz całoroczna redukcja zawiesiny ogólnej: 10,5% w okresie wiosenno-letnim i niższa bo tylko niepełna 4% w okresie jesienno-zimowym. W przypadku pozostałych wskaźników widoczne brak redukcji stężeń wartości analizowanych wskaźników (BZT₅ i mętność w okresie wiosenno-letnim). W przypadku odcinka użytkowanego rolniczo, zauważalna jest 21% i 28% redukcja zawiesiny ogólnej i mętności oraz 9,5% redukcja stężeń P-PO₄ w okresie jesienno-zimowym. W przypadku pozostałych wskaźników obserwujemy niską redukcję stężeń lub podniesienie wartości stężeń poszczególnych wskaźników po przepłynięciu wody przez badany odcinek. W przypadku zbiornika wstępnego, najwyższą redukcję stężeń zaobserwowano w przypadku BZT₅ (28,2%) i nieco niższą w przypadku zawiesiny ogólnej (10,2%) i mętności (10,3%) w okresie jesienno-zimowym. W przypadku pozostałych wskaźników, szczególnie w okresie wiosenno-letnim (P-PO₄ i mętność) obserwuje się nieznacznie obniżenie wartości stężeń lub nawet ich podwyższenie na wylocie ze zbiornika (przewodność elektrolityczna, BZT₅, zawiesina ogólna). Brak lub niskie redukcje stężeń poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń w przypadku zbiornika wstępnego Kupientyn są spowodowane dennym upustem wody ze zbiornika. Zbiorniki wstępne powinny być wyposażone w górny, przepływowy upust wody, tak aby woda odpływająca ze zbiornika zawierała najniższe stężenia zarówno fosforu i zawiesiny (Pütz i Benndorf 1998.). Zbiornik główny obniża stężenia zawiesiny ogólnej zarówno w okresie wiosenno-letnim (40,4%) jak i jesienno-zimowym (32,7%). Widoczne jest także obniżenie wartości P-PO₄ w okresie wiosenno-letnim (10,2%). W przypadku pozostałych wskaźników, nie zaobserwowano redukcji stężeń (P-PO₄, mętność, BZT₅ i przewodność elektrolityczna w okresie jesienno-zimowym) lub też niską redukcję ich wartości (mętność, BZT₅ i przewodność elektrolityczna w okresie wiosenno-letnim).

Porównując notowane wartości stężeń w wodzie dopływającej i odpływającej z obu zbiorników z wartościami literaturowymi dla innych zbiorników, można stwierdzić, że wody rzeki Cetyni należą do silnie zanieczyszczonych. Zbiornik wstępny zlokalizowany na rzece Por przyczynił się do redukcji P-PO₄ o 42% (Mazur 2013). Stężenie P-PO₄ w wodach dopływających wahało się w przedziale od 0,17 mg/l do 0,78 mg/l, a w wodzie odpływającej ze zbiornika notowano wartości od 0,10 mg/l do 0,39 mg/l. Zbiornik ten wpływał także na redukcję zawiesiny ogólnej (o 73%), BZT₅ (o 2%) i przewodności elektrolitycznej (o 1%). Niższe wartości poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń notowano również w zbiorniku Dobczyce podczas dwuletniego okresu obserwacyjnego (2008-2009). Maksymalna zawartość fosforanów nie przekroczyła 0,12 mg/l, zaś notowane wartości średnie dla poszczególnych sezonów obserwacyjnych wahały się w granicach od 0,024 mg/l do 0,063 mg/l (Bogdał i in. 2015). Obserwowane średnie wartości przewodności elektrolitycznej wynosiły 0,260 i 0,264 mS/cm, odpowiednio w 2008 i 2009 roku. Również średnie wartości zawiesiny ogólnej (2,3 mg// i 4,2 mg/l w 2008r. i 2009 r.) i mętności (3,18 NTU i 4,71 NTU w 2008 r. i 2009 r.) były znacząco niższe niż w przypadku zbiornika Kupientyn. Ignatius i Rasmussen (2016) badali wodę w dziewięciu niewielkich zbiornikach o powierzchni od 0,15 ha do 2,17 ha w latach 2012-2013. W badanych zbiornikach średnia wartość fosforu wynosiła 0,0034 mg/l przy notowanych wartościach ekstremalnych 0,0001-0,144 mg P/l. Są to wartości znacząco niższe aniżeli te notowane w badanych zbiornikach na rzece Cetyni. Również średnia wartość przewodności elektrolitycznej była niższa w przypadku badanych zbiorników i wynosiła 0,05 mS/cm. Średnia wartość mętności była zbliżone do tych notowanych w rzece Cetyni i obu zbiornikach i wynosiła 10,5 NTU. Odpowiednio zaprojektowany i zarządzany zbiornik wstępny jest w stanie efektywnie usuwać zanieczyszczenia i wpływać na poprawę jakości wody przez niego przepływającej. Zbiornik wstępny Mściwojów w początkowym okresie eksploatacji przyczynił się do znaczącej redukcji P-PO₄ (56,25%) oraz N-NO₃ (76,69%) (Pikul i Rackiewicz 2003). Dąbrowska i Makowska (2012), po 10 latach eksploatacji wykazały, że zbiornik wstępny Mściwojów charakteryzuje się wysoką redukcją N-NO₃ (85%) oraz niską, bo zaledwie 8% redukcją stężeń P-PO₄, która jest nieistotna statystycznie.

Proponowanym rozwiązaniem do podczyszczenia wód Nysy Szalonej i ograniczenia zanieczyszczeń dopływających do zbiornika Słup jest wybudowanie zbiornika wstępnego wraz z wykonaniem filtra biologicznego (Wiatkowski i Rosik-Dulewska 2016). Średnie stężenia P-PO₄, BZT₅ i przewodności elektrolitycznej notowane w rzece w latach 2007-2008 wynosiły odpowiednio 0,43 mg P-PO₄/l, 3,65 mg O₂/l i 0,503 mS/cm i są one niższe od średnich stężeń notowanych dla rzeki Cetyni i obu zbiorników (za wyjątkiem BZT₅ w 1 punkcie pomiarowym w okresie wiosenno-letnim i 4 punkcie pomiarowym w okresie jesienno-zimowym).

Na obszarach użytkowanych rolniczo, gdzie często lokalizowane są zbiorniki wodne, zagrożeniem dla odpowiedniej jakości wody są nawozy mineralne i naturalne stosowane na obszarze zlewni oraz spływy powierzchniowe. Szejba i in. (2016) notuje stężenia P-PO₄ w wodzie odprowadzanej systemem drenarskim wahające się w granicach od 0 do nawet 2,0 mg/l, co odpowiada ładunkowi fosforu 0,1-2,0 kg/ha. Podobne wartości ładunku fosforu uzyskano w badaniach prowadzonych przez Pulikowskiego i in. (2015) wynoszące 0,15 kg P/ha w przypadku małych zlewni użytkowanych rolniczo.

Wody rzeki Cetyni należą do jednych z najbardziej zanieczyszczonych w województwie mazowieckim (WIOŚ 2016). Ze względu na przekroczenia wartości dopuszczalnych dla większości z analizowanych stężeń, niska jakość wód zagraża prawidłowej eksploatacji zarówno zbiornika wstępnego Kupientyn jak i zbiornika głównego Niewiadoma. Dopuszczalne stężenie fosforu ogólnego na odpływie z oczyszczalni ścieków w Sokołowie Podlaskim wynosi 2,0 mg/l (Rozporządzenia Ministra Środowiska Dz. U. z 2014 r. poz. 1800), a dopuszczalne stężenie dla fosforu ogólnego w wodzie rzeki Cetyni wynosi 0,300 mg/l dla II klasy (Rozporządzenie Ministra Środowiska Dz. U. z 2016 r., poz.1187), a więc do wód powierzchniowych wprowadzane są oczyszczone ścieki o stężeniu fosforu ogólnego ponad 6-krotnie wyższym niż wartość dopuszczalna dla wód.

W celu poprawy jakości wody, na obszarze zlewni należałoby uporządkować gospodarkę ściekową, ponieważ w latach 2013-2016 w gminach, które stanowią większość zlewni rzeki (jedna gmina miejska i trzy gminy wiejskie) udział ludności korzystającej z sieci kanalizacyjnej wahał się w następujących przedziałach: 89,1-89,3% w gminie miejskiej Sokołów Podlaski i odpowiednio: 5,6-6,9%, 0,5% (bez zmian w analizo-

wanym okresie) i 17,8-20,7% w gminach wiejskich: Sokołów Podlaski, Sabnie i Sterdyń (BDL 2016). Wysokie stężenia fosforu które zagrażają prawidłowej eksploatacji obu zbiorników, mogą być usunięte poprzez odpowiednio zaprojektowany system mokradłowy znajdujący się na dopływie do zbiornika wstępnego. W celu wspomaganie usuwania fosforu z wody, system mokradłowy powinien zostać wyposażony w filtry wypełnione odpowiednio dobranym materiałem reaktywnym. W celu obniżenia stężenia fosforu do poziomu 0,01 mg P-PO₄/l zaproponowano normogram (Bus i Karczmarczyk 2017) służący do ustalenia odpowiedniej powierzchni mokradła i masy materiału reaktywnego. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że mokradło o powierzchni 3,0 ha wyposażone dodatkowo w filtry zawieszane o masie 5000 kg, wypełnione pokruszonym betonem komórkowym pełniącym rolę materiału reaktywnego względem fosforu, są w stanie obniżyć stężenie fosforu nawet do poziomu 0,01 mg/l.

4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań jakości wody w rzece Cetyni, można stwierdzić iż jej wody są silnie zanieczyszczone. Notowane wysokie wartości P-PO₄ i BZT₅ zagrażają prawidłowemu funkcjonowaniu ekosystemu wodnego. Niska jakość wód zagraża także eksploatacji obu zbiorników prowadząc do ich eutrofizacji, intensywnego rozwoju rzęsy wodnej i wyłączenia z użytkowania. Na obszarze zlewni należałoby wdrożyć szereg działań mających na celu poprawę stanu jakości wód, głównie na poziomie lokalnym (uporządkowanie gospodarki ściekowej, działania poprawiające jakość wód powierzchniowych). W przypadku rzeki Cetyni, pozytywny wpływ na redukcję zanieczyszczeń w ciągu całego roku można odnotować w przypadku odcinka półnaturalnego (obniżenie wartości przewodności elektrolitycznej, BZT₅ i P-PO₄), na którym rzeka meandruje i spowolnia swój przepływ. Zbiornik wstępny wpływa na obniżenie stężeń BZT₅, zawiesiny ogólnej oraz mętności ale tylko w okresie jesienno-zimowym. Zbiornik główny redukuje stężenia zawiesiny ogólnej w ciągu całego roku oraz P-PO₄ i przewodności elektrolitycznej w okresie wiosenno-letnim.

Literatura

- Adamczyk, W., Jachimowski, A., (2013). Wpływ składników biogenych na jakość i eutrofizację powierzchniowych wód płynących, stanowiących źródło wody pitnej dla Krakowa. *ŻYWNOŚĆ Nauka Technologia Jakość*, 6(91), 175-190.
- BDL 2016. Bank Danych Lokalnych <https://bdl.stat.gov.pl/BDL/start> dostęp: 04.06.2018 r.
- Bedla, D. i Misztal, A. (2014). Zmienność chemizmu wód małych zbiorników wodnych o zróżnicowanej strukturze użytkowania terenów przyległych. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 16, 421-439.
- Bogdał, A., Policht-Latawiec, A., Kołdras, S. (2015). Zmiany wartości wskaźników jakości wody wraz z głębokością przy ujęciu wody pitnej ze zbiornika Dobczyce. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 17, 1239-1258.
- Bus, A. i Karczmarczyk, A. (2017). Supporting constructed wetlands in P removal efficiency from surface water. *Water Science and Technology*, 75(11), 2554-2561.
- Dąbrowska, J. i Markowska, J. (2012). Wpływ zbiornika wstępnego na jakość wód retencjonowanych w zbiorniku Mściwojów. *Nauka Przyroda Technologia*, 6(2), 1-11.
- Frankowski, P., Zbierska, J. (2015). Ocena jakości wody i potencjału ekologicznego małych zbiorników wodnych odbudowanych w krajobrazie rolniczym wielkopolski. *Nauka Przyroda Technologia*, 9(1), #7.
- Grzywna, A., Sender, J., Bronowicka-Mielniczuk U. (2017). Analysis of the Ecological Status of Surface Waters in the Region of the Lublin Conurbation. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 19, 439-450.
- Ignatius, A.R. i Rasmussen, T.C. (2016). Small reservoir effects on headwater water quality in the rural-urban fringe, Georgia Piedmont, USA. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 8, 145-161.
- Karczmarczyk, A. i Bus, A. (2017). Removal of phosphorus using suspended reactive filters (SRFs) - efficiency and potential applications. *Water Science Technology*, 76(5), 1101-1111.
- Kondracki, J., 2000. Geografia regionalna Polski. Wyd. PWN, Warszawa.
- Mazur, A. (2013). Ocena skuteczności działania zbiornika wstępnego na rzece Por. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 1(4), 299-310.
- Miler, A.T. (2015). Mała retencja wodna w polskich lasach nizinnych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 4(1), 979-992.
- Mosiej J. i Bus A. (2015). New challenges in rural water management in Poland. Proceedings of the International Scientific Conference Rural Development 2015: Towards the Transfer of Knowledge, Innovation and Social Progress, Kaunas, Lithuania. Article DOI: <http://doi.org/10.15544/RD.2015.078>.

- Pikul, K. i Rackiewicz D. 2003. Zbiornik wstępny Mściwojów jako przykład ochrony retencjonowanej wody. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. Melioracje i Inżynieria Środowiska*, 24, 183-190.
- Projekt budowlany, 2002. Zbiornik retencyjny „Niewiadoma” na rzece Cetyni. BSiPGWR „Bipromel”, Warszawa (maszynopis).
- Pulikowski, K., Pawęska, K., Bawiec, A. (2015). Seasonal changes in phosphorus load flowing out of small agricultural catchments. *Journal of Ecological Engineering*, 16(1), 81-86.
- Pütz, K. i Benndorf, J. (1998). The importance of pre-reservoirs for the control of eutrophication of reservoirs. *Water Science Technology*, 37(2), 317-324.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz. U. 2014 poz. 1800).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 lipca 2016 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz.U. 2016 poz. 1187).
- Rzętała, M.A., Jaguś, A., Rzętała, M. (2011). Wpływ eutroficznego środowiska limnicznego na fluwialny transport zanieczyszczeń (zbiornik zaporowy Przeczyce). *Nauka Przyroda Technologie*, 5(4), #46.
- Szejba, D., Papierowska, E., Cymes, I., Bańkowska, A. (2016). Nitrate nitrogen and phosphate concentrations in drain flow: An example of clay soil. *Journal of Elementology*, 21(3), 899- 913.
- Vollenweider, R.A. (1968). Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters. Paris OECD, 135.
- Wiatkowski, M., Rosik-Dulewska, C. (2016). Hydrologiczne i hydrauliczne uwarunkowania budowy zbiornika wstępnego w cofce zbiornika Słup. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 18, 468-479.
- Wiatkowski, M., Rosik-Dulewska, C., Nickel, D., Karwaczyńska, U. (2018). Water quality in forests small retention reservoirs in southern Poland – case study. *Ann. Warsaw Univ. Life Sci. – SGGW Land Reclam.*, 50, 3-14.
- WIOŚ 2016. Monitoring rzek w latach 2011-2016. <http://www.wios.warszawa.pl/pl/monitoring-srodowiska/monitoring-wod/monitoring-rzek> dostęp: 25.11.2017.
- Żelazny, M., Siwek, J.P., Fidelus, J., Stańczyk, T., Siwek, J., Rutkowska A., Kruk, P., Wolanin, A., Jelonekiewicz, Ł. (2017). Wpływ wiatrołomu i degradacji drzewostanu na zróżnicowanie chemizmu wód w zlewni Potoku Kościeliskiego w obszarze Tatrzańskiego Parku Narodowego. *Sylwan*, 161(1), 27-33.

Water Quality Changes of Inflowing and Outflowing Water from Complex of Niewiadoma Reservoirs Located at Cetynia River

Abstract

The paper presents the results of the changing Cetynia River water quality in the system of two retention reservoirs (Kupientyn pre-reservoir and main Niewiadoma reservoir), located in the area of East Mazovia, Poland. The water samples were taken from October 2013 to October 2017 at five sampling points: 1. at the river, above Kupientyn pre-reservoir, 2. at the inlet of Kupientyn pre-reservoir, 3. at the outlet of Kupientyn pre-reservoir, 4. at the inlet of main Niewiadoma reservoir and 5. at the outlet of main Niewiadoma reservoir. Between 1-2 sampling points, there is intensively used agriculture area (arable fields, meadows). The section between 3-4 sampling points, the river is semi-natural and flow through natural wetland. Based on the conducted research (P-PO₄, BOD₅, suspended soils, pH, turbidity), it can be stated that the water of Cetynia River is heavily polluted. The ecological status is below good. In case of Cetynia River, the positive influence on reduction of contamination is seen for semi-natural section (decreasing of electronic conductivity, BOD₅ and P-PO₄) where the river meanders and slows down the flow. The Kupientyn pre-reservoir decrease the concentration of BOD₅ (28.2%), suspended soils (10.2%) and turbidity (10.3%) but only during autumn-winter periods. The main Niewiadoma reservoir, reduces the concentration of suspended soils during both spring-summer (40.4%) and autumn-winter (32.7%) periods and P-PO₄ (10.2%) but only during spring-summer period. At the rest of examined sections, there are observed low or lack reduction of contaminations.

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki obserwacji kształtowania się jakości wody w systemie dwóch zbiorników (zbiornik wstępny i główny) zlokalizowanych na rzece Cetyni w miejscowości Niewiadoma na obszarze Wschodniego Mazowsza, prowadzonych w latach 2013-2017. Próbkę wody pobierano od października 2013 do października 2017 w pięciu punktach pomiarowych: 1. zlokalizowany powyżej zbiornika wstępnego, 2. na dopływie do zbiornika wstępnego, 3. na odpływie ze zbiornika wstępnego, 4. na dopływie do zbiornika głównego oraz 5. na odpływie z zbiornika głównego. Odcinek pomiędzy punktami 1-2 jest obszarem intensywnie użytkowanym rolniczo (pola uprawne, łąki), na odcinku pomiędzy punktami 3-4 rzeka ma charakter półnaturalny, na którym meandruje i przepływa przez naturalne trzcinowisko. Na podstawie przeprowa-

dzonych badań, można stwierdzić iż wody rzeki Cetyni są silnie zanieczyszczone. W przypadku rzeki Cetyni, pozytywny wpływ na redukcję zanieczyszczeń w ciągu całego roku można odnotować w przypadku odcinka półnaturalnego. Odnotowano obniżenie wartości przewodności elektrolitycznej o 34,4% i 30,7% oraz P-PO₄ o 51,4% i 24,2%, odpowiednio w okresach wiosenno-letnim i jesienno-zimowym. Zanotowano także obniżenie wskaźnika BZT₅ o 65% w okresie jesienno-zimowym. Zbiornik wstępny Kupientyn wpływa na obniżenie BZT₅ (28,2%), zawiesiny ogólnej (10,2%) oraz mętności (10,3%) tylko w okresie jesienno-zimowym. Zbiornik główny Niewiadoma korzystnie redukuje stężenia zawiesiny ogólnej w ciągu całego roku (odpowiednio 40,4% i 32,7% w okresie wiosenno-letnim i jesienno-zimowym) oraz P-PO₄ (o 10,2%) i przewodności elektrolitycznej (o 8,5%) w okresie wiosenno-letnim. Odcinek użytkowany rolniczo wpływa na obniżenie stężenia zawiesiny ogólnej (o 21,4%), mętności (o 28,4%) oraz P-PO₄ (o 9,5%) tylko w okresie jesienno-zimowym. W przypadku pozostałych wskaźników notuje się niską lub brak redukcji wskaźników w analizowanych okresach.

Słowa kluczowe:

rzeka Cetynia, jakość wody, kompleks zbiorników Niewiadoma, zanieczyszczenie

Keywords:

Cetynia River, water quality, complex of Niewiadoma reservoirs, pollution