

## ZANIECZYSZCZENIA FOSFOREM JAKO BARIERA JAKOŚCI WÓD ZBIORNIKÓW MAŁEJ RETENCJI NA PODLASIU

Joanna Ewa Szczykowska<sup>1</sup>, Anna Siemieniuk<sup>1</sup>, Józefa Wiater<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok, e-mail: j.szczykowska@pb.edu.pl

### STRESZCZENIE

Celem badań była ocena jakości wód dopływających do zbiorników małej retencji ze względu na stężenie w nich fosforu ogólnego i fosforanów. Do badań wybrano trzy zbiorniki małej retencji położone na terenie gmin: Brańsk, Dubicze Cerkiewne i Kleszczele w województwie podlaskim. Doboru obiektów badawczych dokonano z uwagi na podobieństwo rodzaju zagospodarowania zlewni ciek dopływającego, sposobów wykorzystania retencionowanej wody oraz niewielką powierzchnię zbiorników. Dopływający do zbiornika ciek wnosi wraz z wodą substancje biogenne, które wpływają na jakość jego wód w sposób bezpośredni, powodując wysokie stężenia w wodzie, albo pośredni polegający na inicjowaniu lub przyspieszaniu procesów degradacji zbiornika i utratę jego walorów użytkowych. Stwierdzono, że stężenia fosforu ogólnego jedynie w przypadku 20,8% próbek wody pobieranych z rzeki Nurzec, zasilającej zbiornik Otapy-Kiersnówek, około 25% próbek wody rzeki Orlanki, zasilającej zbiornik Bachmaty i 17% próbek pobieranych z ciek zasilającego zbiornik Repczyce odpowiadały wartościom określonym dla drugiej klasy w obowiązującym Rozporządzeniu Ministra Środowiska. Spowodowane jest to długotrwałym nawożeniem nawozami naturalnymi, co w konsekwencji doprowadziło do przesylenia gleb i przedostawania się związków fosforu do wód rzecznych na terenach użytkowanych rolniczo. Zwłaszcza w okresach wczesnowiosennych rosnąca temperatura wraz z opadami deszczu powodowała rozmarzanie gleby co skutkowało rosnącymi stężeniami zanieczyszczeń wnoszonymi wraz ze splukiwanymi cząsteczkami gleby podczas spływu powierzchniowego i podpowierzchniowego. Obliczone wartości TSI(TP) w zbiorniku Otapy-Kiersnówek wyniosły 112,4 w 2012 roku hydrologicznym a 112,7 w 2013 r., w zbiorniku Bachmaty 73,04–75,71 i w zbiorniku Repczyce 101,07–102,12, co pozwoliło je zakwalifikować jako hipertroficzne.

**Słowa kluczowe:** związki fosforu, eutrofizacja, zbiorniki małej retencji

## PHOSPHORUS CONTAMINATION AS A BARRIER TO WATER QUALITY OF SMALL RETENTION RESERVOIRS IN PODLASIE REGION

### ABSTRACT

The aim of study was to evaluate the quality of water flowing into small retention reservoirs in terms of the concentration of total phosphorus and phosphates. The study involved three small retention reservoirs located in the municipalities of: Bransk, Dubicze Cerkiewne and Kleszczele in Podlasie region. Selection of the research facilities was made due to the similarity in the soil management type within catchment of the flowing watercourse, retained water utilization ways, and a small surface of reservoirs. Watercourse reaching the reservoir provides biogens along with water, which directly affect the water quality resulting in high concentrations in water, either indirectly by initiating or accelerating the process of degradation of the reservoir and the loss of its usability. We found that total phosphorus only of 20.8% of water samples from Nurzec river feeding the Otapy-Kiersnówek reservoir, about 25% of water samples of Orlanka river feeding Bachmaty reservoir, and 17% of samples taken from the watercourse supplying Repczyce reservoir, corresponded to values specified for the second class in the current Regulation of the Minister of the Environment. It can be assumed that this situation is caused by a long-term fertilization using manure, which in consequence led to the oversaturation of soils and phosphorus compounds penetration into the river waters in areas used for agricultural purposes. Especially in the early spring periods, rising temperature together with rainfall caused soil thawing resulting in increasing concentrations of contaminants carried along with the washed soil particles during the surface and subsurface runoff. Values of TSI(TP) calculated for Otapy-Kiersnówek reservoir amounted to 112.4 in hydrological year 2012 and to 112.7 in 2013, for Bachmaty reservoir 73.04–75.71, and for Repczyce reservoir to 101.07–102.12, which allowed for qualifying them as hypertrophic.

**Keywords:** phosphorus compound, eutrophication, small retention reservoirs

## WSTĘP

Substancje chemiczne dostające się do wód powierzchniowych mogą pochodzić z wielu źródeł, a ich ładunki są bardzo zmienne w czasie i zależą od: ukształtowania terenu, rodzaju i przepuszczalności gleb, sposobu zagospodarowania zlewni, stosunków wodnych i warunków klimatycznych [Koc i in. 2003]. Nawet przy bardzo dobrze rozwiniętym systemie oczyszczania ścieków oraz stosowaniu dobrych praktyk rolniczych rzeki nizinne są stale obciążone substancjami biogennymi pochodzącymi z powierzchni zlewni, co stanowi zagrożenie jakości ich wód. W Polsce przeważająca ilość związków azotu i fosforu migrujących do wód powierzchniowych i gruntowych pochodzi z rolnictwa. Szacuje się, że około 50–60% azotu i fosforu dopływającego do morza Bałtyckiego pochodzi z rolniczych źródeł obszarowych [Kiryluk, Rauba 2011]. W grudniu 1991 roku wprowadzono Dyrektywę Rady Wspólnot Europejskich dotyczącą ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego, potocznie zwaną dyrektywą azotanową [Dyrektywa Rady, 1999], jednak do dnia dzisiejszego brak jest ścisłych ustaleń obejmujących zanieczyszczenia wód związkami fosforu. Fosfor oprócz źródeł obszarowych do środowiska wodnego dostaje się ze źródeł punktowych przez odprowadzanie ścieków z gospodarstw domowych, budynków inwentarskich [Kiryluk, Rauba 2011, Wiśniowska-Kieljan, Niemiec 2006]. Nawozy naturalne podczas rozkładu wzbogacają glebę w próchnicę i polepszają jej właściwości, zwiększają także możliwości sorbowania w glebie i powolnego uwalniania fosforu (4 lata).

Parametrem decydującym o przyswajalności fosforu przez rośliny jest odczyn gleby. W glebach o pH 4,5–7,0 przeważają jony  $H_2PO_4^-$ , które są bezpośrednio pobierane przez korzenie roślin z roztworu glebowego. Na glebach o odczynie bardzo kwasowym przy pH (w 1M KCl) poniżej 4,5 dochodzi do uwsteczniania fosforu czyli spadku jego przyswajalności dla roślin. W środowisku zasadowym fosfor tworzy trudnodostępne dla roślin fosforany metali: wapnia, magnezu. W miarę upływu czasu strącone fosforany mogą przybierać formy krystaliczne takie jak warycyt i strengit (starzenie się fosforanów), stanowiące fosfor zapasowy [http://e.sggw.pl/mod/page/view.php?id=20305]. Sorpcja chemiczna fosforu przyswajalnego w glebach jest procesem ograni-

czającym przemieszczanie się fosforanów do wód w wyniku migracji. Fosfor przedostaje się do wód otwartych w wyniku spływu powierzchniowego wraz z cząsteczkami gleby.

Zaporowe zbiorniki retencyjne tworzone na rzekach odgrywają szczególną rolę jako proekologiczne formy zatrzymywania i spowolnienia odpływu wód [Wiater i wsp. 2012, Szczykowska, Siemieniuk 2014]. Na ogół zbiorniki małej retencji, utworzone na terenach rolniczych, pełnią wiele funkcji, które nie kolidują ze sobą podczas ich eksploatacji. Jednak o jakości wody w zbiorniku decydują w znacznej mierze dopływające wody ciekłu, na którym wybudowano obiekt hydrotechniczny [Szczykowska, Siemieniuk, 2011]. Z tego powodu niezbędna jest ocena jakości zbiorników w kontekście ich podatności na degradację uwzględniającą zarówno analizę jakości wód ciekłu dopływającego jak też cech morfometrycznych, hydrograficznych i zlewniowych. Wieloletnie badania zaprezentowane w literaturze pozwalają stwierdzić, że o jakości wody w zbiornikach małej retencji na Podlasiu decydują dopływające wraz z wodą rzeki zanieczyszczenia fosforowe [Siemieniuk i wsp. 2013, Szczykowska i wsp. 2014, Wiater i wsp. 2012]. Celem podjętych badań była ocena jakości wód dopływających do zbiorników małej retencji ze względu na stężenie w nich fosforu ogólnego i fosforanów.

## TEREN I METODYKA BADAŃ

Do badań wybrano trzy zbiorniki małej retencji położone na terenie gmin: Brańsk, Dubicze Cerkiewne i Kleszczele w województwie podlaskim. Doboru obiektów badawczych dokonano z uwagi na podobieństwo rodzaju zagospodarowania zlewni ciekłu dopływającego, sposobów wykorzystania retencionowanej wody oraz niewielką powierzchnię zbiorników, których podstawowe dane techniczne zamieszczono w tabeli 1.

Zbiornik Otapy-Kiersnówek zbudowano w roku 2008 w obniżeniu terenu doliny rzeki Nurzec, we wsi Kiersnówek, gmina Brańsk. Największą powierzchnię gminy zajmują użytki zielone, których łącznie znajduje się około 2191 ha, co stanowi 78% powierzchni. Grunty orne zajmują 51,2% natomiast lasy niecałe 20%. Ze względu na płasko-równinną rzeźbę terenu rolnictwo jest dominującą gałęzią gospodarki gminy. Wskaźnik bonitacji rzeźby terenu, który dla całego województwa podlaskiego wynosi 7,7 pkt w dziesię-

ciopunktowej skali IUNC, w gminie Brańsk sięga 8,3 pkt i jest najwyższy w całym województwie. Na obszarze dorzecza rzeki Nurzec występuje najwięcej użytków zielonych, około 45%, położone są na glebach IV klasy bonitacyjnej. Południowa część pokryta jest madami, zaś wschodnie części stanowią gleby piaskowe (bielicowe). Tereny rolnicze gminy Brańsk znajdujące się od zachodu na północ pokryte są glebami o średniej i dobrej przydatności rolniczej. Tworzą ją czarne ziemie, gleby pseudobielicowe i gleby brunatne właściwe. Szczegółowe współrzędne terenu, na którym zbiornik się znajduje to: 52 43' 58.81" N i 22 53' 3.04" E. Zbiornik zaprojektowano jako boczny, oddzielony od rzeki groblą ziemną wykonaną z gruntu ukopanego z czaszy. Do najważniejszych funkcji zbiornika Otapy-Kiersnówek można zaliczyć: magazynowanie wody na cele rolnicze i przeciwpożarowe, poprawa mikroklimatu, zapobieganie erozji wodnej, hodowla ryb oraz cele rekreacyjne, takie jak wędkowanie i uprawa sportów wodnych.

Zbiornik wodny Bachmaty został utworzony w 1986 roku na terenie gminy Dubicze Cerkiewne, na rzece Orłanka, lewobrzeżnym dopływie Narwi. Zimą 2010 roku zalew został m. in. odmulony i pogłębiony, uszczelniono tamę a brzegom nadano łagodniejsze nachylenie. Na terenie zlewni bezpośredniej zbiornika występują pastwiska oraz łąki, przeważają kompleksy użytków zielonych użytkowanych ekstensywnie [Kruszewski, Późniak, 2005]. Zasadniczą część powierzchni (51%) gminy Dubicze Cerkiewne zajmują lasy i tereny zadrzewione. Użytki rolne stanowią około 43% powierzchni ogólnej gminy, z tego grunty one stanowią 26% powierzchni, łąki i pastwiska 17% a pozostałe grunty zajmują 6% całkowitej powierzchni gminy. Na terenie gminy Dubicze Cerkiewne występują gleby, które zaliczane są do glin, piasków gliniastych oraz piasków słabo gliniastych całkowitych i pościelonych piaskiem luźnym oraz piasków luźnych całkowitych.

Zgodnie z typologią gleb zaliczane są do gleb piaskowych i są to na przykład gleby bielicowe, rdzawe, brunatne kwaśne [<http://bip.ug.dubicze.wrotapodlasia.pl/ff9d3cab4ed/a619274dab4/uchwaly2013/var/resources/102/145/97/uchwala231522013.pdf>].

Zbiornik Repczyce powstawał w latach 2001-2002 w gminie Kleszczele na rzece Nurzec, która jest lewym dopływem Bugu. Przy budowie zbiornika wykorzystano dogodne warunki topograficzne doliny rzecznej. Obszar zlewni bezpośredniej stanowią utwory czwartorzędowe, wśród których przeważają piaski zajmujące około 60% powierzchni użytków rolnych gminy. Grunty użytkowane są rolniczo i należą do kompleksu żytniego, bardzo słabego. Niższe stanowiska w dolinie wykorzystywane są jako słabe pastwiska, natomiast tereny w pobliżu rzeki i zbiornika jako łąki.

Badania prowadzono w roku hydrologicznym 2012 oraz roku hydrologicznym 2013, w oparciu o próbki wody pobierane z cieków dopływających do wytypowanych zbiorników małej retencji, w których oznaczano stężenia fosforu fosforanowego i fosforu ogólnego zgodnie z obowiązującą metodyką badań [Hermanowicz, 1999, Namieśnik J. i współaut. 1995]. Ponadto oceniono również stan troficzny zbiorników według średniorocznych kryteriów stężeniowych fosforu ogólnego.

## WYNIKI I DYKUSJA

Wyniki badań stężenia fosforu fosforanowego i fosforu całkowitego, które oznaczono w próbkach wody pochodzących z cieków dopływających do zbiorników małej retencji Otapy-Kiersnówek, Bachmaty i Repczyce w poszczególnych latach hydrologicznych, z podziałem na pory roku: wiosna, lato, jesień i zima przedstawiono w tabeli 2. Natomiast w tabeli 3 zaprezentowano procentowy udział fosforu fosforano-

**Tabela 1.** Podstawowe parametry zbiorników małej retencji

Parametr	Jednostka	Otapy-Kiersnówek	Bachmaty	Repczyce
Rzeka	–	Nurzec	Orłanka	Nurzec
Normalny poziom piętrzenia	m n.p.m.	127,4	161,25	167,5
Powierzchnia zalewu zbiornika przy NPP	ha	4,8	5,5	10,69
Objętość zbiornika przy NPP	m <sup>3</sup>	62 000	75 350	205 460
Średnia głębokość przy NPP	m	1,6	1,5	1,98
Powierzchnia zlewni	km <sup>2</sup>	970,2	22,8	47,4

wego w fosforze całkowitym w poszczególnych okresach (wiosna, lato, jesień, zima) dwóch lat hydrologicznych. Średnioroczne stężenia zarówno jonów fosforanowych jak też fosforu całkowitego nie różniły się znacząco w latach badań. Jednak analiza otrzymanych wyników stężeń fosforu fosforanowego w ciągu dwóch lat hydrologicznych wskazuje na dużą zmienność w zakresie  $0,1 \div 2,297 \text{ mgP/dm}^3$  oraz w przypadku fosforu całkowitego od  $0,1 \text{ mgP/dm}^3$  do  $6,254 \text{ mgP/dm}^3$  (tab. 2). Najniższe stężenie jonów fosforanowych  $0,26 \text{ mgPO}_4^{3-}/\text{dm}^3$  oznaczono jednorazowo w próbce wody pobranej z rzeki Nurzec dopływającej do zbiornika Repczyce w sierpniu 2012 roku. Najniższe stężenia obu form fosforu w wodach dopływających do wszystkich zbiorników odnotowano w okresie letnim, a zwłaszcza w sierpniu, co wiąże się z małym dopływem fosforu ze zlewni, który to ograniczały rośliny. W próbkach pobranych w pozostałych kwartałach stężenia obu form fosforu były znacznie wyższe niż w kwartale letnim i zbliżone względem siebie. Przystawanie fosforu przez rośliny zależy od szybkości ich metabolizmu. Im roślina ma więcej światła i panują optymalne warunki do przebiegu wegetacji to pobieranie składników na-

wozowych jest większe a ich straty poza środowisko glebowe do ekosystemów wodnych obniżają się. Na stabilizację fosforu w glebie korzystnie wpływa odpowiednia zawartość glebowej materii organicznej. Niska zawartość przyspiesza mineralizację fosforu, czyli jego uwalnianie, natomiast wyższa zawartość materii organicznej w glebie przyspiesza jego immobilizację [Kowalski, 2013]. Mimo ograniczonego dopływu fosforu w okresie wegetacji roślin w analizowanych wodach wystąpiły ponadnormatywne stężenia jonów fosforanowych w okresie objętym badaniami przekraczając wartość  $0,31 \text{ mg PO}_4^{3-}/\text{dm}^3$  [Rozporządzenie 2014]. Biorąc pod uwagę stężenia fosforu ogólnego można stwierdzić, że jedynie w przypadku 20,8% próbek wody pobieranych z rzeki Nurzec, zasilającej zbiornik Otapy-Kiersnówek, około 25% próbek wody rzeki Orlanki, zasilającej zbiornik Bachmaty i 17% próbek pobieranych z cieku zasilającego zbiornik Repczyce odpowiadały wartościom określonym dla drugiej klasy w obowiązującym Rozporządzeniu Ministra Środowiska [Rozporządzenie 2014]. Można przypuszczać, że taka sytuacja spowodowana jest długotrwałym nawożeniem nawozami naturalnymi, co w konsekwencji doprowadziło do

**Tabela 2** Wybrane wskaźniki jakości wód cieków dopływających do poszczególnych zbiorników małej retencji

Zbiornik	Pora roku		Wiosna	Lato	Jesień	Zima
	rok hydrologiczny	badany parametr mg p/dm <sup>3</sup>	min – max średnia	min – max średnia	min – max średnia	min – max średnia
Otapy-Kiersnówek	2012	P-ogólny	<u>1.649–4.74</u> 3,07	<u>1.162–2.071</u> 1,583	<u>3.273–3.752</u> 3,547	<u>1.240–5.302</u> 3,767
		P-fosforany	<u>1.412–2.26</u> 1,788	<u>0.572–1.275</u> 0,673	<u>0.948–2.99</u> 1,652	<u>0.376–2.297</u> 1,231
	2013	P-ogólny	<u>1.511–4.861</u> 2,67	<u>0.231–0.921</u> 0,473	<u>0.1–4.51</u> 1,603	<u>1.671–6.254</u> 3,325
		P-fosforany	<u>1.513–2.209</u> 1,481	<u>0.143–0.822</u> 0,384	<u>0.105–2.153</u> 0,82	<u>0.395–2.23</u> 1,063
Bachmaty	2012	P-ogólny	<u>0.754–3.06</u> 1,986	<u>0.315–0.396</u> 0,3537	<u>0.592–3.125</u> 1,565	<u>1.985–3.145</u> 2,534
		P-fosforany	<u>0.256–2.231</u> 1,134	<u>0.223–0.31</u> 0,211	<u>0.472–1.621</u> 0,924	<u>0.827–1.742</u> 1,196
	2013	P-ogólny	<u>1.264–1.683</u> 1,805	<u>0.395–0.925</u> 0,593	<u>0.671–3.254</u> 2,039	<u>1.125–2.974</u> 1,894
		P-fosforany	<u>0.663–2.232</u> 1,213	<u>0.223–0.386</u> 0,303	<u>0.409–1.316</u> 0,771	<u>0.728–1.791</u> 1,018
Repczyce	2012	P-ogólny	<u>1.03–2.04</u> 1,73	<u>0.29–0.86</u> 0,583	<u>0.97–2.386</u> 1,777	<u>0.98–2.253</u> 1,590
		P-fosforany	<u>0.692–1.324</u> 1,048	<u>0.085–0.503</u> 0,307	<u>0.317–1.281</u> 0,620	<u>0.366–1.618</u> 0,992
	2013	P-ogólny	<u>0.292–1.987</u> 1,268	<u>0.264–0.564</u> 0,386	<u>1.825–2.562</u> 2,216	<u>1.154–2.431</u> 1,891
		P-fosforany	<u>0.696–1.324</u> 1,028	<u>0.019–0.512</u> 0,252	<u>0.252–1.683</u> 0,733	<u>0.353–1.432</u> 0,911

**Tabela 3.** Procentowy udział fosforu fosforanowego w fosforze całkowitym

Zbiornik Pora roku/rok	Otapy-Kiersznówek		Bachmaty		Repczyce	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013
Wiosna	58,2%	73,8%	57,1%	81,8%	60,6%	81,3%
Lato	42%	81,2%	81,2%	59,7%	52,6%	65,3%
Jesień	46,6%	51,2%	59%	37,8%	34,9%	33,1%
Zima	32,7%	32,7%	47,2%	53,7%	62,4%	48,2%

przesycenia gleb i przedostawania się związków fosforu do wód rzecznych na terenach użytkowanych rolniczo. Zwłaszcza w okresach wczesnowiosennych rosnąca temperatura wraz z opadami deszczu powodowała rozmarzanie gleby co skutkowało rosnącymi stężeniami zanieczyszczeń wnoszonymi wraz ze splukiwanymi cząsteczkami gleby podczas spływu powierzchniowego i podpowierzchniowego. Sapek [2010] wykazała, że główną rolę w uwalnianiu fosforu odgrywają warunki wilgotnościowe gleby i opady atmosferyczne, z którymi są związane. Na przełomie lutego i marca, w trakcie wezbrań wiosennych, związanych z odwilżą i opadami deszczu, obserwowano gwałtowny wzrost koncentracji związków fosforu w wodach rzecznych dopływających do badanych zbiorników małej retencji i jednocześnie był to okres w którym wystąpiły najwyższe stężenia w analizowanych wodach. Potwierdzają to badania Sapek [2014], w których stwierdza, że straty fosforu w wyniku spływu powierzchniowego wymagają szczególnej uwagi ponieważ spływ ten jest ważną drogą transportu fosforu do wód powierzchniowych. Po tym okresie intensywność przepływu wody w rzekach ulegała spowolnieniu, co prawdopodobnie wpływało na dynamikę zachodzących przemian. Pula fosforu trwale związanego zawiera jego nieorganiczne, trudno rozpuszczalne związki oraz związki organiczne, które są odporne na mineralizację przez mikroorganizmy glebowe. Tego rodzaju połączenia mogą być obecne w glebie przez wiele lat, nie są jednak dostępne dla roślin i mają bardzo mały wpływ na żyzność gleby. Około połowa całkowitej rezerwy fosforu w glebie jest akumulowana w glebowej materii organicznej. Druga połowa tej rezerwy to fosfor nieorganiczny, o małej mobilności, w większości związany z mineralnymi cząstkami gleby [Sapek 2010, Sapek 2014]. O zmiennej mobilności fosforu świadczy udział fosforanów w fosforze ogólnym (tab. 3). Autorzy uważają, że nie jest to rzeczywiste wymycie, jak w przypadku związków azotu. Proces jest rodzajem przepływu związków fosforu przez duże pęknięcia w grun-

cie, rozpadliny i kanały drażnione przez dżdżownice [Sapek B. 2014]. W odróżnieniu od azotu fosfor jest pierwiastkiem mało mobilnym w glebie i na ogół pozostaje w tej warstwie gleby, do której został wprowadzony z nawozami. Zmienia on jedynie swoją formę chemiczną na mniej lub bardziej dostępną dla roślin. W pewnych warunkach część fosforu może ulec jednak wymyciu lub przemieszczeniu z fazą stałą gleby w głąb profilu pod wpływem opadów szczególnie na glebach zawierających duże ilości substancji organicznej lub na glebach kwaśnych i bardzo lekkich. W zlewniach użytkowanych rolniczo poziom wymywanych biogenów jest zróżnicowany i może wynosić w przypadku fosforu około 0,5 kg/ha, azotu od 4,5 do 20 kg/ha, natomiast potasu od 2 do 17 kg/ha [Koc i in. 2003, Jadczyzyn i in. 2014]. Chociaż ładunki fosforu w spływie powierzchniowym nie są bardzo duże w porównaniu na przykład z azotem to ze względu na funkcję, jaką ten pierwiastek odgrywa w środowisku w procesie eutrofizacji wód powierzchniowych jego znaczenie jest kluczowe. Stężenie obu form fosforu w wodach dopływających do zbiorników jest wysokie i przyczynia się do eutrofizacji ich wód (tab. 2 i 3).

Funkcje rekreacyjne zbiorników małej retencji, związane ze stworzeniem korzystnych warunków do rekreacji i wypoczynku przyczyniają się do wzrostu atrakcyjności terenów wiejskich, które nie powinny być tylko zachętą do rozwoju agroturystyki, lecz stwarzać bardziej komfortowe warunki życia miejscowej ludności. Dopływający do zbiornika ciek wnosi wraz z wodą substancje biogeniczne, które wpływają na jakość jego wód w sposób bezpośredni, powodując wysokie stężenia w wodzie, albo pośredni polegający na inicjowaniu lub przyspieszaniu procesów degradacji zbiornika i utratę jego walorów użytkowych. Dopływ nutrietów ze zlewni użytkowanej rolniczo wraz ze spowolnieniem przepływu wody w zbiornikach wodnych w porównaniu do cieków zasilających, sprzyjają procesom eutrofizacji stanowiąc jednocześnie barierę dobrego stanu ekologicznego. Ocenę stopnia eutrofizacji zbiorni-

ków wodnych przeprowadza się wykorzystując do obliczeń średnioroczne stężenia związków biogenych. O stanie trofii zbiorników decyduje dopływ fosforu ze źródeł zewnętrznych oraz uruchamianie się z osadów dennych [Siemieniuk i in. 2015]. Obliczone wartości TSI(TP) w zbiorniku Otapy-Kiersnówek wyniosły 112,4 w 2012 roku hydrologicznym a 112,7 w 2013 roku, w zbiorniku Bachmaty 73,04–75,71 i w zbiorniku Repczyce 101,07–102,12, co pozwoliło je zakwalifikować jako hipertroficzne.

## WNIOSKI

1. Stężenia fosforu fosforanowego i fosforu ogólnego oraz drogi ich migracji ze zlewni rolniczej do rzeki są zmienne i zależą w dużej mierze od warunków hydrometeorologicznych.
2. Stężenie jonów fosforanowych oraz fosforu ogólnego w wodach dopływających do zbiorników małej retencji podlegały wahaniom sezonowym i najniższe były w okresie letnim.
3. Wody dopływające do zbiorników zawierały ponadnormatywne stężenia fosforanów które przyczyniają się do ich eutrofizacji.

## LITERATURA

1. Dyrektywa Rady 91/676EWG z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego, Dz.U.UE L z dn. 31 grudnia 1991 r.
2. Hermanowicz W., Dojlido J., Dożańska w., Kozirowski B., Zerbe J., 1999. Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków. Wyd. Arkady, Warszawa.
3. <http://e.sggw.pl/mod/page/view.php?id=20305>
4. <http://bip.ug.dubicze.wrotapodlasia.pl/ff9d-3cab4ed/a619274dab4/uchwaly2013/var/resources/102/145/97/uchwala231522013.pdf>
5. Jadczyzyn J., Mroczkowski W., Gosek S., 2014. Erozyjne straty fosforu w doświadczeniu modelowym. Inżynieria i Ochrona Środowiska, 17(1), 89–103.
6. Kiryluk A., Rauba M. 2011. Wpływ rolnictwa na stężenie fosforu ogólnego w wodach powierzchniowych rzeki Śliny. Inżynieria Ekologiczna, 26, 122–132.

7. Koc J., Szymczyk S., Cymes I., 2003. Odptyw substancji z gleb. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 493, 395–400.
8. Kowalski Ł., 2013. Nawozy organiczne stosowane w rolnictwie, <http://wodr.poznan.pl/ubezpieczenia-rolnicze/item/3276-nawozy-organiczne-stosowane-w-rolnictwie?tmpl=component&print=1>.
9. Kruszewski R., Późniak M., 2005. Projekt budowlany na remont zbiornika wodnego Dubicze Cerkiewne na rzece Orlanka w miejscowości Dubicze Cerkiewne na dz. Nr 623,634,636 i dz. Nr 652 – rzeka Orlanka, Białystok.
10. Namieśnik J., Łukasiak J., Jamrógielcz Z., 1995. Pobieranie próbek środowiskowych do analizy. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
11. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 października 2014 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych, Dz.U. poz. 1482, z późn. zm.
12. Sapek B. 2010. Uwalnianie azotu i fosforu z materii organicznej gleby. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, T. 10., z. 3 (31), 229–256.
13. Sapek B., 2014. Nagromadzenie i uwalnianie fosforu w glebach-źródła, procesy, przyczyny, Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, T. 14., z. 1 (45), 78–100.
14. Siemieniuk A., Szczykowska J., Wiater J., 2015. Operating difficulties of small water reservoir located in Wasilków. Journal of Ecological Engineering, 16(1), 122–126.
15. Szczykowska J., Siemieniuk A., 2011. Znaczenie zbiorników retencyjnych na terenach rolniczych oraz jakość ich wód. Inżynieria Ekologiczna, 26, 103–111.
16. Siemieniuk A., Szczykowska J., Wiater J., 2013. Problemy ekologiczne zbiorników małej retencji na Podlasiu. Ekonomia i Środowisko, 4, 234–244.
17. Szczykowska J., Siemieniuk A., 2014. The present condition of small water retention and the prospect of its development Rusing the exaple of Podlaskie Voivodeship. J. Ecol. Eng., 15(3), 90–96.
18. Wiater J. Siemieniuk A., Szczykowska J., 2012. Rola zbiornika małej retencji w kształtowaniu jakości wód powierzchniowych. Gaz Woda, 86(6), 277–280.
19. Wiśniowska-Kielian B., Niemiec M., Ocena zawartości azotanów w wodach rzeki Dunajec. Annales UMCS, Sec. E., z. 61, 147–156.