

## OCENA PODATNOŚCI NA DEGRADACJĘ ZBIORNIKA RETENCYJNEGO PRZEBĘDOWO

Mariusz Sojka<sup>1</sup>, Mariusz Korytowski<sup>1</sup>, Joanna Jaskuła<sup>1</sup>, Błażej Waligórski<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instytut Melioracji, Kształtowania Środowiska i Geodezji, Wydział Inżynierii Środowiska i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94, 60-649 Poznań, e-mail: masojka@up.poznan.pl, mario@up.poznan.pl, jaskula@up.poznan.pl

<sup>2</sup> Wielkopolski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych w Poznaniu, ul. Piekary 17, 61-823 Poznań, e-mail: blazej.waligorski@wzmuiw.pl

### STRESZCZENIE

W pracy dokonano oceny podatności na degradację zbiornika retencyjnego Przebędowo, który został oddany do eksploatacji w 2014 roku. Zbiornik Przebędowo zlokalizowany jest w zlewni rzeki Trojanki (Struga Goślińskiej), która uchodzi do rzeki Warty w km 218+500. Pole powierzchni zbiornika wynosi 12,03 ha, a pojemność całkowita 0,162 mln m<sup>3</sup>. Zbiornik Przebędowo charakteryzuje się wydłużonym kształtem, jego długość wynosi 1450 m, a szerokości maksymalna 120 m. W pierwszym etapie pracy przeprowadzono analizę potencjalnego dopływu związków biogenych ze zlewni do zbiornika oraz dokonano oceny podatności zbiornika na degradację. W drugim etapie dokonano oceny jakości wody rzeki Trojanki zasilającej zbiornik i następnie obliczono ładunki azotu i fosforu dopływające do zbiornika. Ładunki azotu i fosforu wprowadzane do zbiornika porównano wielkościami ładunków dopuszczalnych ( $L_{dop.}$ ) i niebezpiecznych ( $L_{nieb.}$ ) określone wg modelu hydraulicznego Vollenweidera. Pozwoliło to na określenie kategorii zagrożenia zbiornika. Przeprowadzone badania wykazują, że zbiornik Przebędowo jest silnie podatny na degradację. Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że wynika to przede wszystkim z geometrii zbiornika: kształtu, wydłużonej linii brzegowej i niskiej głębokości średniej. Analiza wykazała również, że ze względu na wysoki udział użytków rolnych w zlewni bezpośredniej, istnieje potencjalne zagrożenie wymywania związków biogenych do zbiornika Przebędowo.

**Słowa kluczowe:** zlewnia nizinna, zbiornik retencyjny, eutrofizacja, podatność na degradację

### ASSESSMENT OF VULNERABILITY TO DEGRADATION OF THE PRZEBĘDOWO RESERVOIR

#### ABSTRACT

The paper presents the results of the assessment pertaining to the Przebędowo reservoir, opened for exploitation in 2014, in terms of vulnerability to degradation. The reservoir is located in the catchment of Trojanka River (Struga Goślińska). Trojanka falls into the river Warta at km 218 + 500. The construction of the reservoir was completed in 2014. The surface area of the reservoir is 12.03 hectares and its total volume is 0.162 million m<sup>3</sup>. The reservoir has an elongated shape, its length is 1450 m and its maximum width is 120 m. In the first stage of the work, the potential inflow of biogenic compounds from the catchment area was analyzed and the reservoir vulnerability to degradation was assessed. In the second stage, the water quality of the Trojka River was evaluated and the nitrogen and phosphorus loads were calculated. Nitrogen and phosphorus loads flowing into the reservoir were compared with the allowable and critical values calculated according to the hydrological model of Vollenweider. This comparison permitted the classification of the reservoir vulnerability to degradation. The Przebędowo reservoir was found to be highly vulnerable to degradation. The obtained results show that this state is mainly due to the geometry of the reservoir: shape, elongated coastline and low average depth. Moreover, a high share of arable land in the catchment area increases the potential risk associated with the inflow of biogenic compounds into the reservoir.

**Keywords:** lowland catchment, reservoir, eutrophication, degradation vulnerability

## WSTĘP

Zagrożeniem dla prawidłowego funkcjonowania i spełniania zamierzonych funkcji przez zbiorniki retencyjne jest zanieczyszczenie wody [Szczykowska i in. 2013, Wiatkowski i in. 2013]. Zła jakość wód retencjonowanych w zbiornikach wynika z występowania punktowych i obszarowych źródeł zanieczyszczeń w ich zlewniach [Szczykowska i Siemieniuk 2011, Kornaś i Grześkowiak 2011, Sojka i in. 2016]. Zbiorniki retencyjne lokalizowane są najczęściej w zlewniach o rolniczym sposobie użytkowania [Przybyła i in. 2014], dlatego są narażone na nadmierną dostawę związków biogenych, przede wszystkim organicznych i nieorganicznych związków azotu i fosforu oraz środków ochrony roślin [Oszczapińska i Szczykowska 2016]. W konsekwencji może prowadzić to do pogorszenia jakości wód retencjonowanych w zbiornikach, a następnie ich eutrofizacji [Przybyła i in. 2014, Dąbrowska i in. 2016, Szczykowska i in. 2016].

Sztuczne zbiorniki retencyjne w przeciwieństwie do jezior są znacznie bardziej podatne na degradację. Zbiorniki retencyjne mają znacznie większe powierzchnie zlewni, co może wpływać na zwiększoną dostawę związków biogenych [Skoczko i Szatyłowicz 2015]. Również cechy morfometryczne zbiorników retencyjnych takie jak: niewielka głębokość średnia, niska pojemność w stosunku do długości linii brzegowej, brak wykształconej stratyfikacji oraz niewielka wymiana wody czyni je bardziej wrażliwymi na działanie czynników zewnętrznych [Bieroński 2014, Pęczuła i Suchora 2011, Oszczapińska i Szczykowska 2016]. Częstsze zmiany poziomu wody w zbiornikach retencyjnych powodują naprzemienne odślanianie i zalewanie dużych obszarów dna. Ogranicza to rozwój typowej strefy litoralnej, w tym roślinności wyższej [Traczewska 2012]. Limniczny ustrój zbiorników retencyjnych, wyrażający się długim czasem retencji wody sprzyja deponowaniu zanieczyszczeń w osadach dennych [Jachniak i Jaguś 2011]. Przy wysokim i długotrwałym zasilaniu zbiornika retencyjnego związkami fosforu, duża ich ilość ulega akumulacji w osadach dennych. Skutkuje to tym, że nawet po uporządkowaniu gospodarki wodno-ściekowej w zlewni oraz ograniczeniu stosowania nawozów, związki fosforu mogą przez długi czas być aktywowane z osadów dennych i podtrzymywać proces eutrofizacji [Gruca-Rokosz 2013]. Przejawem eutrofizacji wód zbiorników są intensywne zakwity fitoplanktonu [Jodłowski i Gutkowska

2012]. W przypadku zbiorników retencyjnych podatnych na degradację już w pierwszych latach funkcjonowania może dojść do pogorszenia się jakości wody i zakwitów sinic.

Aby zapewnić prawidłowe funkcjonowanie zbiorników retencyjnych, na etapie projektowania należy dokonać oceny podatności zbiornika na degradację [Cooke i in. 2005]. W przypadku istniejących zbiorników, w celu poprawy ich funkcjonowania lub wprowadzenia działań mających na celu ograniczenie dopływu zanieczyszczeń ze zlewni, stosuje się metodę kombinowaną bazującą na ocenie odporności zbiornika wodnego na degradację oraz wpływu zlewni na dostawę materii do zbiornika [Bajkiewicz-Grabowska 1985, Kudelska i in. 1994, Szyper 2000, Miazga 2013, Bartoszek i Czech 2014]. Analizy te są istotne z punktu widzenia wskazania zakresu działań naprawczych jakie należy podjąć, w celu poprawy jakości retencjonowanych wód [Kubiak i Tórz 2005].

Celem pracy było dokonanie oceny podatności zbiornika retencyjnego Przebędowo na degradację oraz analiza wpływu zlewni na dostawę związków biogenych do zbiornika.

## MATERIAŁY I METODY

W pierwszym etapie pracy dokonano ogólnej charakterystyki zlewni rzeki Trojanki. Lokalizację zlewni pod względem hydrograficznym określono na podstawie Mapy Podziału Hydrograficznego Polski w skali 1:50000 (KZGW, 2010). Położenie zlewni pod względem geograficznym określono na podstawie regionalizacji fizyczno-geograficznej Polski [Kondracki 2002], a pod względem administracyjnym na podstawie Państwowego Rejestru Granic i Powierzchni Podziałów Terytorialnych Kraju (CODGiK, 2017). Do opisu rzeźby terenu wykorzystano Numeryczny Modelu Terenu (NMT) opracowany na podstawie danych dotyczących NMT o interwale siatki 100 m (CODGiK, 2015). Na podstawie NMT określono pole powierzchni zlewni bezpośredniej i całkowitej zbiornika, obliczenia i analizy wykonano w środowisku SAGA GIS. Charakterystykę struktury użytkowania terenu opisano na podstawie Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT10k) udostępnionej przez Wojewódzki Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Poznaniu. Charakterystykę pokrywy glebowej w zlewni dokonano na podstawie mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25 000.

W drugim etapie pracy opisano cechy limnologiczne i morfometryczne zbiornika oraz sposób prowadzenia gospodarki wodnej. Wykorzystano w tym celu dane zawarte w: operacie wodno-prawnym, instrukcji gospodarowania wodą w zbiorniku, a także projekcie wykonawczym zbiornika Przebędowo, opracowanych przez Biuro Projektów Wodnych Melioracji i Inżynierii Środowiska „BIPROWODMEL” w Poznaniu. Opis warunków hydrologicznych w zlewni w zakresie miesięcznych, półrocznych i rocznych przepływów charakterystycznych oraz przepływów o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia dokonano na podstawie opracowania Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej [2009] „Dane hydrologiczne dla rzeki Trojanki w latach 1951–2005”.

W trzecim etapie pracy dokonano analizy podatności zbiornika retencyjnego Przebędowo na degradację, do oceny wykorzystano metodykę oceny jezior zaproponowaną przez Kudelską i in. [1994] oraz Bajkiewicz-Grabowską [2002]. Wskaźnikami wykorzystanymi do oceny były: głębokość średnia zbiornika, stosunek pojemności zbiornika do długości linii brzegowej, procent stratyfikacji wód w zbiorniku, stosunek powierzchni dna czynnego (leżącego w zasięgu epilimnionu) do objętości epilimnionu, intensywność wymiany wód w zbiorniku oraz współczynnik Schindlera. Każdemu wskaźnikowi przypisano punkty od 0 (mało) do 3 (silnie), które określają podatność zbiornika na degradację. Ocenę końcową, obliczano jako średnią arytmetyczną na podstawie punktów przypisanych do poszczególnych wskaźników. Pozwoliło to na zaliczenie zbiornika do jednej z czterech klas podatności na degradację: klasa I (ocena  $\leq 0,8$  – zbiornik mało podatny na degradację), klasa II (ocena od 0,9 do 1,6 – zbiornik średnio podatny na degradację), klasa III (ocena od 1,7 do 2,4 – zbiornik bardzo podatny na degradację) i klasa IV (ocena  $> 2,5$  – zbiornik silnie podatny na degradację).

W czwartym etapie dokonano analizy oddziaływania zlewni na zbiornik Przebędowo w kontekście potencjalnej dostawy związków biogenych wg metodyki Bajkiewicz-Grabowskiej [2002]. Analizę przeprowadzono na podstawie wskaźników charakteryzujących zlewnię całkowitą i bezpośrednią tj.: współczynnika Ohlego, typu bilansowego zbiornika, gęstości sieci rzecznej, średniego spadku terenu zlewni, budowy geologicznej zlewni (decydująca o przepuszczalności gruntów), sposobu użytkowania terenu oraz udziału obszarów bezodpływowych. W celu

dostosowania metodyki Bajkiewicz-Grabowskiej [2002] do oceny zbiorników retencyjnych zmodyfikowano wskaźnik dotyczącego typu bilansowego. Na podstawie przeglądu literatury dotyczącego typów konstrukcyjnych zbiorników retencyjnych wydzielono zbiorniki: zaporowe, zaporowe z wydzieloną częścią wstępną i lateralne. Następnie każdemu wskaźnikowi przypisano punkty od 0 (małe zagrożenie związane z dopływem materii ze zlewni) do 3 (silne zagrożenie związane z dopływem materii ze zlewni). Ocena końcowa, obliczana została jako średnia arytmetyczna z punktów przypisanych do poszczególnych wskaźników. Pozwoliło to na zaliczenie zlewni do jednej z czterech klas pod względem potencjalnego dopływu związków biogenych do zbiornika: klasa I (ocena  $\leq 1,0$  – mały ładunek zanieczyszczeń odpływający ze zlewni), klasa II (ocena od 1,1 do 1,4 – średni ładunek zanieczyszczeń odpływający ze zlewni), klasa III (ocena od 1,5 do 1,9 – wysoki ładunek zanieczyszczeń odpływający ze zlewni) i klasa IV (ocena  $\geq 2,0$  – silny ładunek zanieczyszczeń odpływający ze zlewni).

W ostatnim etapie analizy przeprowadzono charakterystykę stanu fizyko-chemicznego wód powierzchniowych w zlewni. W tym celu wykorzystano dane udostępnione przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska (WIOŚ) w Poznaniu. Badania jakości wody zostały przeprowadzone przez WIOŚ w 2015 roku w punkcie pomiarowo-kontrolnym Mściszewo, który zlokalizowany jest w 0,8 km biegu rzeki Trojanki około 6 km poniżej zapory czołowej zbiornika Przebędowo. Uwzględniając średnie stężenia fosforu ogólnego oszacowano ładunki dopływające do zbiornika. Na podstawie modelu hydraulicznego Vollenweidera [1968] obliczono wielkości dopuszczalne ( $\mathcal{L}_{dop.}$ ) i niebezpieczne ( $\mathcal{L}_{nieb.}$ ) ładunków fosforu. Porównanie wartości ładunków dopływających do zbiornika z ładunkami dopuszczalnymi i niebezpiecznymi pozwoliło na określenie zagrożenia zbiornika eutrofizacją.

## WYNIKI I DISKUSJA

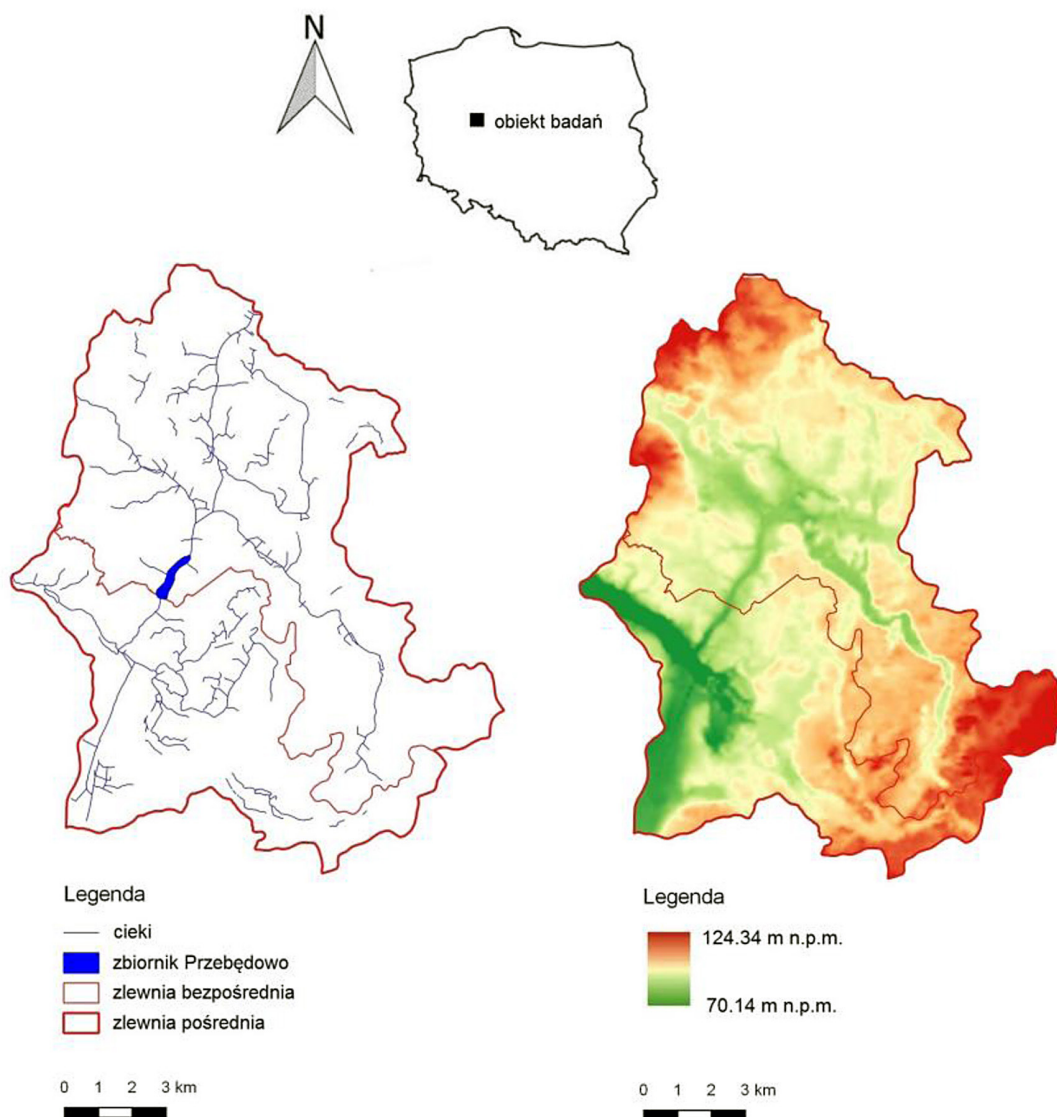
Zlewnia rzeki Trojanki zlokalizowana jest w dorzeczu Odry, w Regionie Wodnym Warty. Trojanka zwana także Goślińską Strugą jest prawobrzeżnym dopływem Warty uchodzącym do niej w 218+500 km (rys. 1). Zgodnie z podziałem hydrograficznym Polski analizowana zlewnia została oznaczona kodem 185969. Zlewnia Trojanki stanowi odrębną jednolitą część wód powierzch-

niowych (JCWP), która została oznaczona kodem PLRW600017185969. Trojanka jest ciekim naturalnym, zgodnie z typologią abiotyczną powierzchniowych wód płynących została uznana za potok nizinny piaszczysty (Typ 17). Zlewnia Trojanki zlokalizowana jest w obrębie jednej jednolitej części wód podziemnych oznaczonej kodem PLGW600060. Pod względem geograficznym zlewnia położona jest w makroregionie Pojezierze Wielkopolskie, w Mezoregionie Pojezierze Gnieźnieńskie (99,7%) i w Mezoregionie Poznański Przełom Warty (0,3%). Pod względem administracyjnym analizowana zlewnia znajduje się w zasięgu województwa wielkopolskiego. Grunty położone w obrębie zlewni administrowane są przez gminę Murowana Goślina (86,2%), Czerwonak (8,7%) i Skoki (4,6%). W obrębie zlewni położone są jeszcze 3 gminy

Rogoźno, Pobiedziska i Kiszkowo, a ich udział nie przekracza 0,3%.

Pole powierzchni zlewni Trojanki wynosi 145,34 km<sup>2</sup>. Od źródła zlokalizowanego na wysokości 89,50 m n.p.m. do ujścia do Warty na wysokości 70,14 m n.p.m., rzeka pokonuje 15,14 km. Spadek cieków wynosi 1,28‰. Zlewnia Trojanki ma charakter nizinny, najniższy punkt w zlewni zlokalizowany jest na wysokości 70,14 m n.p.m., a najwyższy na wysokości 124,43 m n.p.m.. Deniwelacja terenu wynosi 54,29 m a średni spadek zlewni jest równy 29,4‰. Pod względem struktury użytkowania, w analizowanej zlewni dominują użytki rolne i lasy, które pokrywają odpowiednio 47,5% i 45,6%.

W roku 2013 na terenie zlewni rozpoczęto prace związane z budową zbiornika retencyjnego, który oddano do eksploatacji w roku 2014. Zbior-



**Rys. 1.** Lokalizacja zbiornika Przebędowo  
**Fig. 1.** Location of the Przebędowo reservoir



nik Przebędowo jest zbiornikiem zaporowym, który powstał w wyniku przegrodzenia doliny rzeki zaporą zlokalizowaną w 6+915 km rzeki Trojanki [Korytowski i Waligórski 2017]. Pole powierzchni zbiornika przy normalnym poziomie piętrzenia (NPP= 72,50 m n.p.m.) wynosi 12,03 ha, a pojemność 0,162 mln m<sup>3</sup> (tab. 1). Zbiornik Przebędowo ma kształt wydłużony, jego długość wynosi 1450 m, a szerokość maksymalna 120 m. Przeprowadzone obliczenia i analizy w środowisku SAGA GIS pozwoliły na wyznaczenie w sposób automatyczny, na podstawie NMT, linii wododziałowej do profilu Przebędowo. Obliczenia wykazały, że pole powierzchni zlewni całkowitej wynosi 91,50 km<sup>2</sup>, natomiast pole powierzchni zlewni bezpośredniej 6,62 km<sup>2</sup>.

Średni roczny przepływ (SSQ) rzeki Trojanki z wielolecia 1951–2005 w profilu Przebędowo wynosi 0,38 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, w tym w półroczu zimowym i letnim odpowiednio 0,54 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> i 0,22 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>. Zdecydowanie niższe przepływy notowano w roku 1992, suchym pod względem opadów atmosferycznych, w którym średnie miesięczne przepływy Trojanki od czerwca do października wahały się od 0,03 do 0,05 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>. Średni jednostkowy odpływ (SSq) ze zlewni Trojanki wynosi 3,73 dm<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>·km<sup>-2</sup>, a przepływ nienaruszalny 0,07 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>. Rzeka Trojanka charakteryzuje się niwalnym reżimem hydrologicznym. Obliczenia przepływów charakterystycznych rzeki Trojanki zostały przeprowadzone przez IMGW [2009] przy założeniu, że pole powierzchni zlewni w profilu Przebędowo wynosi 101,91 km<sup>2</sup>. Biorąc pod

uwagę, że pole powierzchni zlewni do profilu zapory czołowej Przebędowo wynosi 91,5 km<sup>2</sup>, średni przepływ może być niższy o około 10% od obliczonego przez IMGW.

Analiza cech morfometrycznych oraz warunków hydrologicznych za pomocą metodyki zaproponowanej przez Kudelską i in. [1994] oraz Bajkiewicz-Grabowską [2002] pozwoliła zakwalifikować zbiornik Przebędowo do IV klasy podatności na degradację. Wynika to głównie z niskiej głębokości średniej zbiornika, bardzo niskiego stosunku pojemności zbiornika do długości linii brzegowej, braku stratyfikacji wód, wysokiego stosunku powierzchni dna czynnego (leżącego w zasięgu epilimnionu) do objętości epilimnionu oraz bardzo wysokiego współczynnika Schindlera (tab. 2). Każdemu z wymienionych parametrów przypisano trzy punkty. Oznacza to, że parametry te sprzyjają procesowi degradacji zbiornika.

Jedynym parametrem, który korzystnie wpływa na ograniczenie procesu degradacji jest bardzo wysoka intensywność wymiany wody w zbiorniku, która wynosi aż 66 razy w ciągu roku (średni czas wymiany wody wynosi 5,5 doby). Intensywność wymiany wody pozwala zakwalifikować zbiornik Przebędowo do zbiorników o charakterze reolimnicznym. Według Picińskiej-Fałtynowicz i Błachuty [2012] zbiorniki reolimniczne o czasie retencji wody mniejszym niż 20 dob zaliczane są do obiektów o przewadze cech rzecznych. Jest to cecha korzystna z punktu widzenia degradacji zbiorników zaporowych, w których rozwój planktonu zależy nie tylko od zawartości

**Tabela 1.** Podstawowe parametry techniczne i morfometryczne zbiornika retencyjnego Przebędowo  
**Table 1.** Basic technical and morphometrical parameters of the Przebędowo reservoir

Lp.	Parametr	Jednostka	Wartość
1	Długość zbiornika	m	1450
2	Szerokość maksymalna zbiornika	m	120
3	Długość linii brzegowej	m	2847
4	Poziom piętrzenia: – MaxPP – NPP – MinPP	m n.p.m. m n.p.m. m n.p.m.	73,00 72,50 71,50
5	Średnia głębokość zalewu przy: – NPP – MinPP	m m	0 0,94 0,38
6	Powierzchnia zalewu przy: – NPP – MinPP	ha ha	12,03 10,64
7	Pojemność zbiornika: – maksymalna $V_{max}$ (przy MaxPP) – całkowita $V_c$ (przy NPP) – martwa $V_m$ (przy MinPP) – użytkowa $V_u$ ( $V_c - V_m$ ) – powodziowa $V_p$ ( $V_{max} - V_c$ )	m <sup>3</sup> m <sup>3</sup> m <sup>3</sup> m <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	229 450 162 350 49 000 113 350 67 100

**Tabela 2.** Ocena podatności na degradację zbiornika retencyjnego Przebędowo  
**Table 2.** Assessment of degradation vulnerability of the Przebędowo reservoir

Parametr	Zbiornik Przebędowo		Punktacja			
	wartości	punktacja	0	1	2	3
Głębokość średnia [m]	0,94	3	> 10	5–10	3–5	< 3
Pojemność zbiornika [tys. m <sup>3</sup> ] do długości linii brzegowej [m]	0,06	3	> 5	3–5	1–3	< 1
Stratyfikacja wód [%]	0	3	> 35	20–35	10–20	< 10
Powierzchnia dna czynnego [m <sup>2</sup> ] do pojemności epilimnionu [m <sup>3</sup> ]	0,71	3	< 0,10	0,10–0,15	0,15–0,30	> 0,30
Intensywność wymiany wód [-]	66,3	0	> 10	5–10	1–5	< 1
Współczynnik Schindlera [m <sup>-1</sup> ]	564	3	< 10	10–30	30–100	> 100
Ocena	2,5		IV klasa podatności na degradację			

substancji biogenych w wodzie, ale również od czasu retencji wody. W zbiornikach o intensywnej wymianie wody warunki do rozwoju planktonu są mało korzystne. Jednak biorąc pod uwagę, że zakresy sinicowe występują w okresie letnim należy przeanalizować intensywność wymiany wody na przełomie czerwca i września. W latach przeciętnych i suchych czas wymiany wody na przełomie czerwca i września może być zdecydowanie dłuższy i wynosić odpowiednio ok. 10 i 54 dni. Niska wymiana wody w okresie letnim pozwala zakwalifikować go do zbiorników limnicznych. Niska wymiana wody w zbiorniku w okresie letnim prowadzi do wzrostu temperatury wody, co wraz z dostateczną zawartością związków biogenych i nasłonecznieniem stwarza korzystne warunki do rozwoju fito i zooplanktonu [Bartoszek i Czech 2014].

Czynnikami kształtującymi dostawę związków biogenych do zbiornika retencyjnego są procesy naturalne i antropogeniczne zachodzące

w zlewni. Stopień potencjalnego oddziaływania zlewni na zbiornik retencyjny określany jest na podstawie cech charakteryzujących jego zlewnię całkowitą (współczynnik Ohlego, typ bilansowy zbiornika i gęstość sieci rzecznej) oraz jego zlewnię bezpośrednią (średni spadek zlewni, udział obszarów bezodpływowych, budowa geologiczna i sposób użytkowania zlewni). Na podstawie analizy powyższych cech zlewnię zbiornika Przebędowo zaliczono do IV klasy zlewni, tj. takich w których może występować silne wymywanie związków biogenych (tab. 3). Wysokie zagrożenie uruchamiania ładunków zanieczyszczeń ze zlewni wynika z wysokiego współczynnika Ohlego, zaporowego charakteru zbiornika, wysokich spadków terenu zlewni bezpośredniej oraz niskiego udziału obszarów bezodpływowych. Wysoka wartość współczynnika Ohlego jest cechą charakterystyczną dla zbiorników retencyjnych. Większe pole powierzchni zlewni w stosunku do powierzchni samego zbiornika może

**Tabela 3.** Ocena podatności zlewni na dostawę materii do zbiornika wodnego  
**Table 3.** Basin susceptibility assessment for the supply of matter into the reservoir

Parametry	Wartości	Punkty	Punktacja			
			0	1	2	3
Współczynnik Ohlego	760	3	< 10	10–40	40–150	> 150
Typ bilansowy zbiornika	z	3		l	z-w	z
Gęstość sieci rzecznej [km km <sup>-2</sup> ]	0,86	1	< 0,5	0,5–1,0	1,0–1,5	> 1,5
Średni spadek zlewni [%]	22,03	3	< 5	5–10	10–20	> 20
Obszary bezodpływowe [%]	1,7	3	> 60	45–60	20–45	< 20
Budowa geologiczna zlewni	pi/gl	2	gl, t	pi/gl	gl/pi	pi
Użytkowanie zlewni	r/z	3	l, b, r/l, p/r/l, p, p/l	r/l, p/r	r, p/r/l/z, l/z	l/r/z, p/r/z, r/z
Ocena	2,57		IV klasa zlewni			

**Objaśnienia:** o – odpływowe, bo – bezodpływowe, p – przepływowe, gl – gliniasta, t – torfiasta, pi – piaszczysta, pi/gl – piaszczysto-gliniasta, gl/pi – gliniasto-piaszczysta, l – leśna, b – bagienna, r/l – rolniczo-leśna, p/r/l – pastwiskowo-rolniczo-leśna, p – pastwiskowa, p/l – pastwiskowo-leśna, l/r – leśno-rolnicza, p/r – pastwiskowo-rolnicza, r – rolnicza, p/l/r/z – pastwiskowo-leśna-rolnicza z zabudową, l/z – leśna z zabudową, l/r/z – leśno-rolnicza z zabudową, p/r/z – pastwiskowo-rolnicza z zabudową, r/z – rolnicza z zabudową

wpływać na obciążenie związkami biogennymi. Również przepływowy charakter zbiornika przyczynia się do przyspieszonego transportu zanieczyszczeń oraz ich akumulacji. Niekorzystne są również parametry zlewni bezpośredniej tj. wysokie spadki terenu, rolnicze użytkowanie zlewni z zabudową rozproszoną oraz niewielki udział obszarów bezodpływowych. Szczególne niebezpieczeństwo dla prawidłowego funkcjonowania zbiornika stanowią grunty orne bezpośrednio przylegające do zbiornika. Może to wpływać na wysoką dostawę związków biogennych ze źródeł obszarowych oraz punktowych.

Przeprowadzone badania jakości wody rzeki Trojanki w punkcie pomiarowo-kontrolnym Mściszewo w 2015 roku wykazały, że stężenia związków azotu i fosforu były na niskim i średnim poziomie. Stężenia azotu ogólnego wahały się w zakresie od 2,07 do 5,96 mg N·dm<sup>-3</sup> przy wartości średniej wynoszącej 3,75 mg N·dm<sup>-3</sup>. Stężenia fosforu ogólnego wynosiły od 0,07 do 0,44 mg Pdm<sup>-3</sup> przy wartości średniej 0,21 mg Pdm<sup>-3</sup>. Utrzymujące się na obecnym poziomie stężenia azotu i fosforu w wodach ciekłu Trojanki wynikają z uporządkowania gospodarki wodnościekowej w gminach położonych na terenie zlewni. Biorąc pod uwagę średnie i maksymalne stężenia fosforu ogólnego w wodach ciekłu Trojanka oraz średnie roczne i średnie półroczna zimowego wielkości odpływu jednostkowego ze zlewni, obliczono obciążenie zbiornika fosforem ogólnym. Uzyskane ładunki średnie i maksymalne odniesiono do wartości obliczonych wg modelu hydraulicznego Vollenweidera [1976], który zalecany jest dla zbiorników przepływowych. Model hydrauliczny uwzględnia tempo wymiany wody w zbiorniku. Przeprowadzone obliczenia wykazały, że zarówno maksymalne jak i średnie ładunki fosforu do-

pływającego do zbiornika Przebędowo są niższe od wartości ładunku dopuszczalnych (tab. 4).

Pomimo niższego obciążenia ładunkami fosforu zbiornika Przebędowo, już w pierwszych latach funkcjonowania obserwowany jest bardzo intensywny proces zarastania zbiornika (rys. 2). Wynika to prawdopodobnie z bardzo niskiej średniej głębokości zbiornika. Całkowite prześwietlenie zbiornika stwarza korzystne warunki do rozwoju roślinności wodnej.

## WNIOSKI

Przeprowadzone analizy pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- Przyjęte na etapie projektowania parametry techniczne czaszy zbiornika Przebędowo takie jak: głębokości, objętość oraz kształt, czynią go silnie podatnym na degradację.
- W celu poprawy stanu i funkcjonowania zbiornika należy wziąć pod uwagę możliwość przebudowy czaszy zbiornika, uwzględniając szczególnie prace związane z jego pogłębieniem.

**Tabela 4.** Kategoria zagrożenia zbiornika Przebędowo eutrofizacją

**Table 4.** Eutrophication risk assessment of the Przebędowo reservoir

Ładunek fosforu	Wartość
Ładunek średni dopływający do zbiornika, $\lambda_{sr}$	51,5
Ładunek maksymalny dopływający do zbiornika, $\lambda_{max}$	153,3
Ładunek dopuszczalny, $\lambda_{dop}$	669,8
Ładunek niebezpieczny, $\lambda_{nieb}$	1399,5



**Rys. 2.** Zarastanie zbiornika Przebędowo  
**Fig. 2.** Overgrowth of the Przebędowo reservoir



- Analiza zlewni zbiornika Przebędowo wykazała, że może występować potencjalnie silne wymywanie związków biogenych. Szczególnie zagrożenie intensywnym wymywaniem występuje w zlewni bezpośredniej, w której użytki rolne stanowią ponad 80%. Dodatkowo na terenie przyległym do zbiornika znajduje się zabudowa rozproszona.
- Aby ograniczyć potencjalny dopływ związków biogenych z gruntów ornych bezpośrednio przyległych do zbiornika, należy wzdłuż zbiornika wprowadzić pasy buforowe.

## BIBLIOGRAFIA

1. Bajkiewicz-Grabowska E. 2002. Obieg materii w systemach rzeczno-jeziornych. Uniwersytet Warszawski, Warszawa.
2. Bartoszek L., Czech D. 2014. Podatność na degradację zbiornika zaporowego Solina, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*, t. XXXi, z. 61 (4/14), 35–54
3. Berkowska E., Pauluch Z. 1992. Degradacja jezior Informacja, Kancelaria Sejmu Biuro Studiów i Ekspertyz nr. (44), 1–6.
4. Bieroński J. 2014. Zbiorniki małej retencji – problemy funkcjonowania. *Problemy Ekologii Krajozbrazu*, 17(17), 101–110.
5. Cooke G.D., Welch E.B., Peterson S.A., Nichols S.A. 2005. *Restoration and Management of Lakes and Reservoirs*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
6. Dąbrowska J., Lejcuś K., Kuśnierz M., Czamara A., Kamińska J., Lejcuś I. 2016. Phosphate dynamics in the drinking water catchment area of the Dobromierz Reservoir. *Desalination and Water Treatment*, 57(53), 25600–25609.
7. Górniak A. 2006. Ekosystem zbiornika Siemianówka w latach 1990–2004 i jego rekultywacja. Zakład Hydrobiologii, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok.
8. Gruca-Rokosz R. 2013. Stan troficzny zbiornika zaporowego Rzeszów. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*, 60(3), 279–291.
9. Jachniak E., Jaguś A. 2011. Uwarunkowania i nasilenie eutrofizacji zbiornika Tresna. *Nauka Przyroda Technologie*, 5(4), 1–7.
10. Jodłowski A., Gutkowska E. 2012. Ocena stanu troficznego wód Zbiornika Sulejowskiego na podstawie indeksu Carlsona. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 15(4), 341–352.
11. Kondracki J. 2002. *Geografia Regionalna Polski*. PWN, Warszawa.
12. Kornaś M., Grześkowiak A. 2011. Wpływ użytkowania zlewni na kształtowanie jakości wody w zbiornikach wodnych zlewni rzeki Drawa. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 11, 125–137.
13. Korytowski M., Waligórski B. 2017. Ocena zmienności stanów wód w zbiorniku Przebędowo i wód gruntowych w terenie bezpośrednio przyległym w pierwszym roku eksploatacji. *Inżynieria Ekologiczna*, 18(1), 175–182.
14. Kubiak J., Tórz A. 2005. Eutrofizacja. Podstawowe problemy ochrony wód jeziornych na Pomorzu Zachodnim. *Słupskie Prace Biologiczne*, 2, 17–36.
15. Kudelska D., Cydzik D., Soszka H. 1994. *Wytyczne monitoringu podstawowego jezior*. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa.
16. Miazga M. 2013. Ocena naturalnej podatności na degradację oraz jakość wód zbiornika Wapienica. *Acta Geographica Silesiana*, 13, 43–49.
17. Oszczapińska K., Szczykowska J. 2016. Problematyka małej retencji na przykładzie zbiornika wodnego Dojlidy. (red. Kropiwek K, Szala M.) w: *Wybrane zagadnienia z zakresu ochrony środowiska i energii odnawialnej*, 283–298, Wydawnictwo Naukowe TYGIEL sp. z o.o., Lublin.
18. Pęczuła W., Suchora M. 2011. Analiza przyczyn występowania złej jakości wody w zbiorniku retencyjnym w Kraśniku w pierwszych latach jego funkcjonowania. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 54, 321–332.
19. Przybyła C., Kozdrój P., Sojka M. 2014. Ocena jakości wód w lateralnych zbiornikach Jutrosin i Pakosław w pierwszych latach funkcjonowania. *Inżynieria Ekologiczna*, 39, 123–135.
20. Skoczko I., Szatyłowicz E. 2015. Zastosowanie współczynnika Schindlera do oceny podatności na degradację zbiorników małej retencji. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, 6, 137–143.
21. Sojka M., Jaskuła J., Wicher-Dysarz J. 2016. Ocena ładunków związków biogenych wymywanych ze zlewni rzeki Głównej w latach 1996–2009. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 18(1), 815–830.
22. Szczykowska J., Siemieniuk A. 2011. Zanieczyszczenie zbiorników retencyjnych na terenach rolniczych oraz jakości ich wód. *Inżynieria Ekologiczna* Nr 26, 103–111.
23. Szczykowska J., Siemieniuk A., Wiater J. 2013. Problemy ekologiczne zbiorników małej retencji na Podlasiu. *Ekonomia i Środowisko*, 4(47), 234–244.
24. Szczykowska J., Siemieniuk A., Wiater J. 2016. Zanieczyszczenia fosforem jako bariera jakości wód zbiorników małej retencji na Podlasiu. *Inżynieria Ekologiczna*, 48, 202–207.
25. Traczewska T.M. 2012. Problemy ekologiczne zbiorników retencyjnych w aspekcie ich wielofunkcyjności. *European Symposium Anti-Flood Defences–Today’s Problems*, 1–8.
26. Wiatkowski M., Rosik-Dulewska C., Kuczewski K., Kasperek R. 2013. Ocena jakości wody zbiornika Włodzienin w pierwszym roku funkcjonowania. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 15, 2666–2682.