

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 52, 2011: 84–96
(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 52, 2011)
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 52, 2011: 84–96
(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 52, 2011)

**Agnieszka BAŃKOWSKA, Karolina SAWA, Zbigniew POPEK,
Michał WASILEWICZ**

Katedra Inżynierii Wodnej SGGW w Warszawie
Department of Water Engineering WULS – SGGW

Analiza wyników monitoringu ilości i jakości wód zasilających Jezioro Zdworskie w aspekcie jego rekultywacji The analysis of the Zdworskie Lake water supply in aspect of the restoration programme

Słowa kluczowe: bilans wodny, ładunek azotu i fosforu, renaturyzacja jezior

Key words: water balance, nitrogen and phosphorus load, lake restoration

Wprowadzenie

Jezioro Zdworskie, największy naturalny zbiornik wodny Mazowsza, dotkliwie ucierpiało w okresie suszy hydrologicznej 2003 roku. Poziom wody w tym płytkim akwenu obniżył się o 40 cm, a latem nastąpiła klęska ekologiczna w postaci masowego śnięcia ryb. Zarówno znaczny ubytek wody w zbiorniku, jak i straty w rybostracie zwróciły uwagę na zły stan zasobów wodnych tego akwenu, objawiający się ich ubytkiem i postępująca eutrofizacją. Od 2005 roku prowadzona jest rekultywacja jeziora.

W ramach programu renaturyzacji Jeziora Zdworskiego prowadzone są systematyczne badania monitoringowe,

których celem jest rozpoznanie zasilania jeziora w sensie ilościowym i jakościowym, w tym w warunkach realizowanych zabiegów renaturyzacyjnych, oraz ocena efektów zastosowanych środków zaradczych.

W niniejszej pracy przedstawiono dane monitoringowe uzyskane w półroczu zimowym 2010 roku, dotyczące ilościowego stanu zasobów wodnych Jeziora Zdworskiego, warunków jego zasilania, a także obciążenia substancjami biogennymi. Wyniki badań prowadzonych w tym okresie porównano z danymi uzyskanymi w poprzednich półroczach zimowych lat hydrologicznych 2008 i 2009.

Charakterystyka obiektu badań

Jezioro Zdworskie to największy zbiornik Pojezierza Łąckiego i województwa mazowieckiego – jego po-

wierzchnia wynosi 343 ha. Z uwagi na małą głębokość (średnia – 2,13 m, maksymalna – 5,5 m) jest to jezioro o charakterze polimiktycznym. Przy rzędnej normalnego poziomu lustra wody (79,20 m n.p.m.) objętość wody w tym zbiorniku wynosi około 7,33 mln m³. Szczegółowe charakterystyki morfometryczne jeziora przedstawia tabela 1. Jezioro cechuje duża podatność na degradację i wykazuje ono cechy zbiornika silnie zeutrofizowanego (Popek i in. 2008, 2009, Bańkowska 2009).

TABELA 1. Wybrane charakterystyki morfometryczne Jeziora Zdwońskiego
TABLE 1. Chosen morphometric features of the Zdwońskie Lake

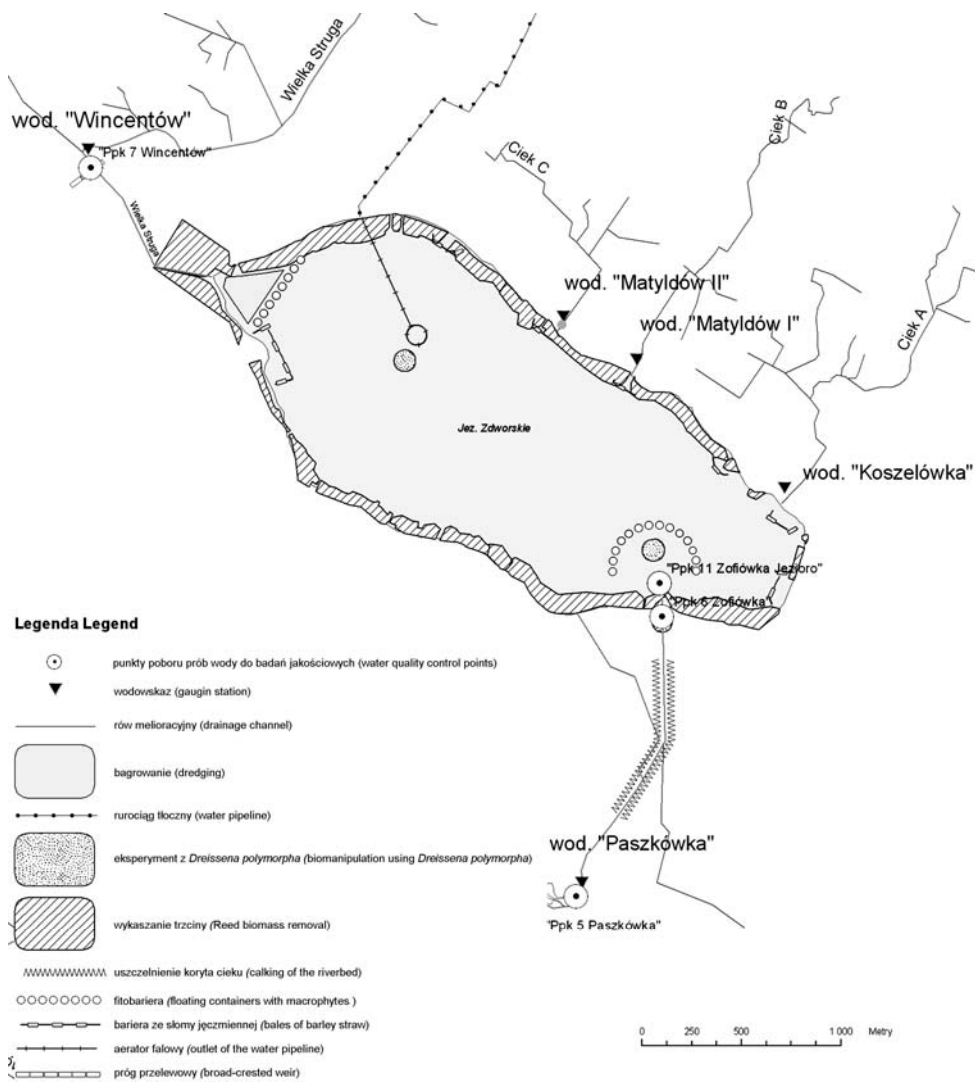
Parametr Feature	Wartość Value
Powierzchnia [ha] Area	343
Objętość [tys. m ³] Volume [thous. m ³]	7326
Głębokość maksymalna [m] Maximal depth	4,55
Głębokość średnia [m] Mean depth	2,12
Długość linii brzegowej [m] Shoreline length	9970

Jezioro ma charakter przepływowy – głównym ciekim zasilającym go i odprowadzającym z niego wodę jest Wielka Struga. Całkowita powierzchnia zlewni Wielkiej Strugi do przekroju ujęciowego z Jeziora Zdwońskiego wynosi 47,1 km², w tym zlewnia bezpośrednia jeziora wynosi 19,5 km². Dodatkowo jezioro jest zasilane przez 3 małe cieki okresowe, oznaczone na rysunku 1 jako A, B i C. Obecnie brak jest rozpoznania wielkości zasilania akwenu przez opady atmosferyczne.

Od 2005 roku prowadzona jest rekultywacja Jeziora Zdwońskiego, której celem jest odbudowa jego zasobów wodnych i zahamowanie eutrofizacji zbiornika. W latach 2003–2005 obserwowano obniżanie się poziomu wody w akwenu oraz postępującą degradację troficzną (Bańkowska i Wasilewicz 2008, Popek i in. 2008, Bańkowska 2009, Kawalczewska 2009, Popek 2009a, Popek i in. 2009, dane WIOŚ, dane WMIUW). W 2005 roku rozpoczęto w związku z tym program renaturyzacji jeziora. W pierwszym etapie prac podjęto działania na rzecz odbudowy jego zasobów wodnych, obejmujących: sztuczne zasilanie jeziora wodami obcymi, zwiększenie dopływu wody ze zlewni Wielkiej Strugi oraz ograniczenie odpływu wód z jeziora poprzez jego podpiętrzenie (rys. 1).

Sztuczne zasilanie Jeziora Zdwońskiego polega na przerzucie wody z sąsiedniej zlewni za pomocą rurociągu z pompownią zlokalizowaną w Dobrzykowie. Woda jest pompowana do jeziora zależnie od aktualnej sytuacji hydrologicznej, w maksymalnej ilości 40 l·s⁻¹. Zwiększenie dopływu ze zlewni Wielkiej Strugi polegało na uszczelnieniu koryta rzeki matą bentonitową na dwóch odcinkach o łącznej długości około 1000 m. Na odcinkach tych stwierdzono odpływ wód rzecznych do głębszych warstw wodonośnych, leżących pod dnem Jeziora Zdwońskiego.

W celu przeciwdziałania eutrofizacji akwenu prowadzone są między innymi zabiegi strącania fosforu koagulantem żelazowym, wykasania trzciny i selektywnego bagrowania osadów dennych (rys. 1). Szczegółowe informacje, dotyczące realizowanych działań



RYSUNEK 1. Jezioro Zdrowskie – sieć hydrograficzna, realizowane zabiegi renaturyzacyjne i lokalizacja punktów pomiarowo-badawczych

FIGURE 1. The Zdrowskie Lake – hydrographic net, restoration measures and location of the water quality control points and gauging stations

renaturyzacyjnych, przedstawiono w licznych publikacjach (Bańkowska i Wasilewicz 2008, Maciejewski 2009, Popek 2009b, Wiśniewski 2009a, b, c).

Material i metody

Systematyczne badania monitorin-gowe na Jeziorze Zdrowskim i w jego zlewni rozpoczęto jesienią 2007 roku.

Celem badań monitoringowych jest określenie ilości i jakości wód zasilających Jezioro Zdwońskie oraz sporządzanie bilansu wody i ładunków zanieczyszczeń dopływających i odpływających z jeziora w aspekcie stosowanych i planowanych zabiegów renaturyzacyjnych. Na potrzeby badań założono 5 posterunków wodowskazowych, w których pomiar stanów wody (H) odbywa się w sposób ciągły. W przekrojach wodowskazowych wykonywane są również okresowe pomiary natężenia przepływu (Q) do określenia zależności $Q = f(H)$, na podstawie których oblicza się objętość wody przepływającej w rozpatrywanych okresach przez dany przekrój wodowskazowy. Objętość wody dostarczanej rurociągiem z Dobrzykowa określano na podstawie wskazań wodomierza zainstalowanego w pompowni.

Do badań jakości wody wyznaczono łącznie 17 punktów pomiarowo-kontrolnych (ppk) zlokalizowanych zarówno w zlewni Wielkiej Strugi, jak i w samym jeziorze. Są to stanowiska systematycznego (1 raz w miesiącu) poboru prób wody do badań jakościowych, w ramach których oznaczanych jest kilkanaście wskaźników jakości wód, w tym wskaźników troficznych.

Na rysunku 1 przedstawiono lokalizację stanowisk pomiarów hydrometrycznych (wodowskazów) i badań jakości wód (ppk), z których dane wykorzystano w niniejszej pracy. Poza stanowiskami pokazanymi na rysunku 1 wykorzystano również wyniki badań jakości wody przetrucanej do jeziora rurociągiem z pompowni w Dobrzykowie.

Na podstawie uzyskanych wyników analizowano czasową zmienność ilości i jakości wód dopływających do jeziora

w zimowym półroczu lat hydrologicznych 2008–2010. Na podstawie sporządzonych bilansów zasilania azotem i fosforem określono także obciążenie jeziora tymi pierwiastkami.

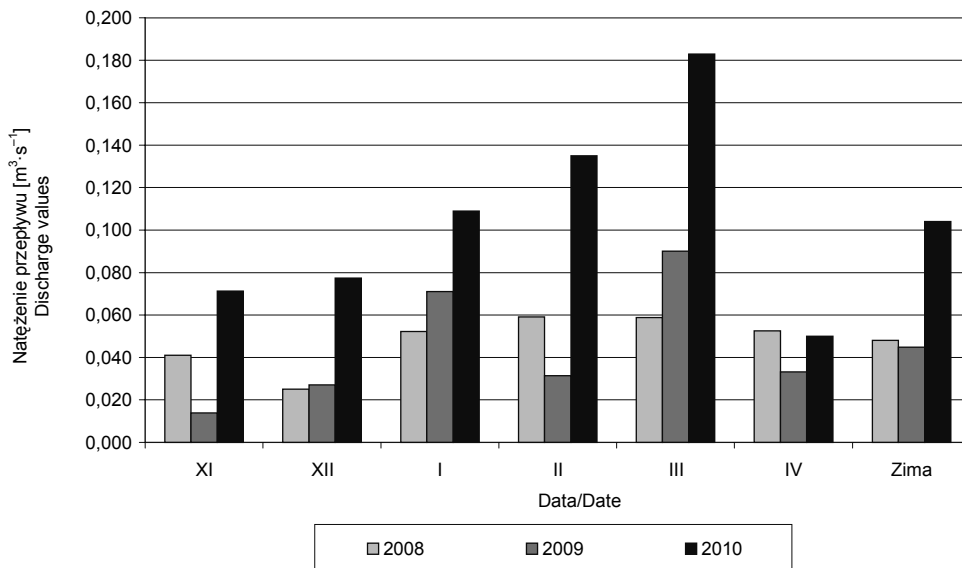
Sytuacja hydrologiczna w Jeziorze Zdwońskim i jego zlewni

Informacje o ilości wody zasilającej Jezioro Zdwońskie uzyskiwane są na podstawie pomiarów hydrometrycznych wykonywanych na głównym dopływie jeziora – rzece Wielka Struga, w przekroju wodowskazowym Paszkówka.

Średni przepływ wody w przekroju Paszkówka wynosił w półroczu zimowym 2010 roku $0,104 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a średnie miesięczne natężenia przepływu zmieniały się w zakresie od $0,050 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w kwietniu do $0,183 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w marcu (rys. 2).

W porównaniu do poprzednich lat objętych monitoringiem 2010 rok cechowały znacznie korzystniejsze warunki hydrologiczne w zlewni Wielkiej Strugi: z wyjątkiem miesiąca kwietnia w rozpatrywanym okresie rzeka prowadziła znacznie większe ilości wody niż w latach poprzednich. Średnie natężenie przepływu w całym okresie zimowym ($0,104 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) było ponaddwukrotnie większe do analogicznych przepływów w latach 2008–2009 ($0,0449\text{--}0,0480 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Korzystniejsze charakterystyki hydrologiczne w zlewni Wielkiej Strugi miały także swoje odzwierciedlenie w zwiększeniu się zasobów wodnych Jeziora Zdwońskiego. Na rysunku 3 pokazano hydrogram stanów wody w jeziorze, mierzonych w przekroju wodowskazowym Wincentów, znajdującym



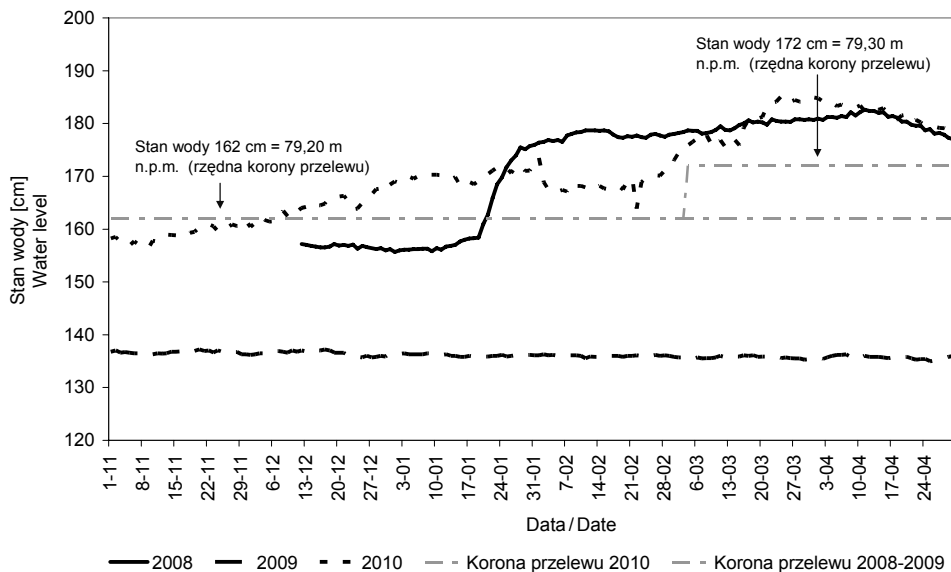
RYSUNEK 2. Średnie miesięczne natężenia przepływu w Wielkiej Strudze w półroczu zimowym w latach hydrologicznych 2008–2010, przekrój wodowskazowy Paszkówka
 FIGURE 2. Monthly mean discharge values in the Wielka Struga River during the winter half-year season in the hydrological years 2008–2009, gauging station Paszkówka

się na odpływie Wielkiej Strugi z Jeziora Zdwojskiego (rys. 1). W półroczu zimowym 2010 roku stan wody w jeziorze był równy bądź wyższy przez 145 dni od stanu normalnego (odpowiadającego rzędnej korony przelewu jazu stałego), a średni stan wody w tym okresie wynosił 170,6 cm (rys. 3). W okresie braku odpływu wody z jeziora deficyt wody był jednak nieznaczny, ponieważ poziom wody w jeziorze był niższy od normalnego nie więcej niż o 5,6 cm.

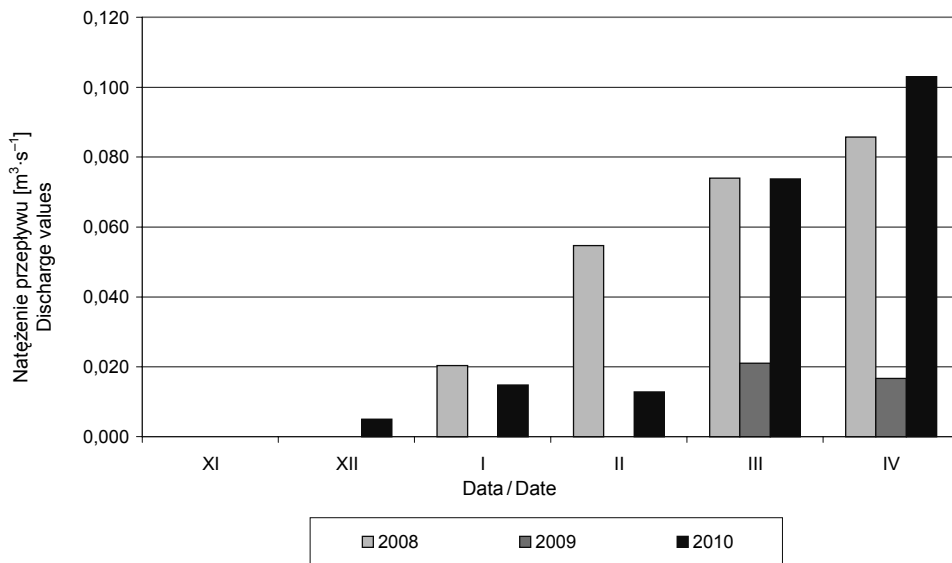
Na wykresie (rys. 3) pokazano również hydrogramy stanów wody obserwowanych w półroczu zimowym w latach hydrologicznych 2007 i 2008, gdy wartości średnie dla analizowanego okresu wynosiły odpowiednio 172,3 i 143,7 cm. Z porównania hydrografów wynika więc, że w 2010 roku stany wody w jeziorze

były znacznie wyższe od notowanych w latach poprzednich. Jest to związane nie tylko z lepszą sytuacją hydrologiczną w zlewni (większym zasilaniem z Wielkiej Strugi), ale i z podwyższeniem o 10 cm poziomu piętrzenia wody w jeziorze (rzędną korony przelewu jazu zmieniono 18 marca 2010 roku).

Pomimo podniesienia poziomu piętrzenia w jeziorze, a tym samym ograniczenia możliwości odpływu wód, w 2010 roku odnotowano także zdecydowanie wyższy niż w latach poprzednich odpływ z Jeziora Zdwojskiego (rys. 4). W półroczu zimowym 2010 roku odpływ wody z jeziora był nierównomierny – średnie miesięczne natężenie odpływu zmieniało się w zakresie od 0,005 m³·s⁻¹ w grudniu do 0,103 m³·s⁻¹ w kwietniu. W 2010 roku odpływ z jeziora w półroczu



RYSUNEK 3. Stan wody w Jeziorze Zdrowskim w półroczu zimowym w latach hydrologicznych 2008–2010, przekrój wodowskazowy Wincentów
 FIGURE 3. Water stages in the Zdrowskie Lake during the winter half-year season in the hydrological years 2008–2010, gauging station Wincentów



RYSUNEK 4. Średnie miesięczne natężenia przepływu w Wielkiej Strudze w półroczu zimowym w latach hydrologicznych 2008–2010, przekrój wodowskazowy Wincentów
 FIGURE 4. Monthly mean discharge values in the Wielka Struga River during the winter half-year season in the hydrological years 2008–2010, gauging station Wincentów

zimowym trwał przez 145 dni, a średnie natężenie przepływu w tym czasie wynosiło $0,048 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. W latach poprzednich odpływ z jeziora był znacznie krótszy i wynosił: w 2008 roku 100 dni, a w 2009 roku jedynie 48 dni.

Warunki zasilania i wymiany wód w Jeziorze Zdrowskim w półroczu zimowym 2010 roku w sposób syntetyczny przedstawiają dane zamieszczone w tabeli 2.

W okresie zimowym 2010 roku do Jeziora Zdrowskiego dopłynęło łącznie $1888,3 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ wody, z czego 86% ($1631,9 \cdot 10^3 \text{ m}^3$) pochodziło z Wielkiej Strugi, a 14% ($256,4 \cdot 10^3 \text{ m}^3$) ze sztucznego zasilania. Wielka Struga wniosła zatem do jeziora znaczne ilości wody i stanowiła dla zbiornika główne źródło zasilania. W rozpatrywanym okresie odpłynęło z jeziora łącznie $549,2 \cdot 10^3 \text{ m}^3$, co stanowiło 29% objętości dopływu.

W porównaniu z poprzednimi latami hydrologicznymi, warunki zasilania Jeziora Zdrowskiego były niezwykle korzystne: w okresie zimowym dopłynęło do niego odpowiednio o 54 i o 66% wię-

cej wody niż w 2008 i 2009 roku (objętość dopływu wynosiła wówczas odpowiednio $1218,6 \cdot 10^3$ i $1137,1 \cdot 10^3 \text{ m}^3$). Jednocześnie udział Wielkiej Strugi w zasilaniu akwenu był w 2010 roku zdecydowanie większy niż dotychczas (86% w stosunku do około 61% w latach poprzednich), co wiąże się zarówno ze zwiększeniem się ilości wody dopływającej z Wielkiej Strugi, jak i ograniczeniem sztucznego zasilania wodą z pompowni w Dobrzykowie (w 2008 i 2009 roku przepompowano do jeziora odpowiednio $434,4 \cdot 10^3$ i $463,4 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ wody).

W związku z powyższym także wymiana wody w jeziorze, czynnik istotnie wpływający na odporność zbiornika na degradację, była zdecydowanie większa w 2010 roku niż w latach poprzednich. W rozpatrywanym okresie 2010 roku z jeziora odpłynęło 7,5% całkowitej objętości zgromadzonej w nim wody, podczas gdy w 2009 roku było to jedynie 1%. W 2008 roku warunki wymiany wody były podobne jak w 2010 roku – w półroczu zimowym odpłynęło około 7,7% objętości wody zgromadzonej w jeziorze.

TABELA 2. Zestawienie objętości wody zasilającej Jezioro Zdrowskie w półroczu zimowym 2010 roku [$1 \cdot 10^3 \text{ m}^3$]

TABLE 2. Volumes of water inflow into the Zdrowskie Lake during winter season 2010 [$1 \cdot 10^3 \text{ m}^3$]

Miesiąc Month	Wielka Struga	Sztuczne zasilanie Artificial alimentation	Całkowity ładunek Total water inflow	Odpływ Outflow
XI	184,8	103,7	288,5	0,0
XII	207,4	73,7	281,1	13,3
I	292,8	73,9	366,7	39,7
II	326,5	5,1	331,6	30,9
III	490,7	0,0	490,7	197,3
IV	129,7	0,0	129,7	268,0
Półrocze Half-year	1631,9	256,4	1888,3	549,2

Obciążenie jeziora biogenami

Informacje o obciążeniu Jeziora Zdrowskiego przedstawiono w tabelach 3 i 4 w postaci wielkości ładunków azotu i fosforu docierających w rozpatrywanym okresie do tego zbiornika z Wielkiej Strugi i sztucznego zasilania jeziora.

Ładunek azotu dostarczony w półroczu zimowym 2010 roku do Jeziora Zdrowskiego wynosił 17 537,1 kg, z czego 3,6% pochodziło ze sztucznego zasilania jeziora (624,1 kg), a pozostałe 96,5% z Wielkiej Strugi (16 913 kg). Największy ładunek azotu jezioro przyjęło w marcu (ponad 8307 kg), pochodził on jedynie z Wielkiej Strugi i stanowił niemal 50% ładunku półrocznego. Był to jednocześnie okres, kiedy ciek ten wprowadził do jeziora największą ilość wody, a od-

notowana koncentracja azotu ogólnego w jego wodach na stanowisku w Paszkówce była największa (zarówno w rozpatrywanym okresie, jak i spośród wartości pomierzonych dotychczas). Stwierdzony w marcu 2010 roku miesięczny ładunek azotu był znacznie większy niż notowane w latach poprzednich całkowite dostawy roczne!

W porównaniu z poprzednimi latami hydrologicznymi w 2010 roku ładunki azotu dopływające do zbiornika były znacznie większe: w 2008 i 2009 roku wprowadzona w ciągu półroczna ilość tego pierwiastka wynosiła odpowiednio 5448 i 4724 kg (Bańkowska i in. 2010), a więc 3,2–3,7-krotnie mniej niż w 2010 roku. Za ten istotny wzrost wielkości ładunku azotu w rozpatrywanym okresie odpowiada Wielka Struga – ilość azotu

TABELA 3. Ładunki azotu dopływające do Jeziora Zdrowskiego w półroczu zimowym 2010 roku i ich dystrybucja^a

TABLE 3. Nitrogen loads inflowed into the Zdrowskie Lake during the winter half-year season 2010 and their distribution^a

Miesiąc Month	Ładunek [kg] Load		Całkowity ładunek dopływający Total load		Ładunek odpływający Outflow		Retencja Retention	
	Wielka Struga	sztuczne zasilanie	kg	% ^a	kg	% ^a	kg	% ^b
XI	1 795,9	255,1	2 050,9	11,7	0,0	0,0	2 050,9	100,0
XII	1 767,0	174,6	1 941,7	11,1	27,1	0,2	1 914,5	98,6
I	2 845,4	181,8	3 027,2	17,3	85,6	0,5	2 941,6	97,2
II	751,0	12,6	763,6	4,4	82,2	0,5	681,4	89,2
III	8 307,6	0,0	8 307,6	47,4	392,6	2,2	7 914,9	95,3
IV	1 446,2	0,0	1 446,2	8,2	517,2	2,9	928,9	64,2
Półrocze Half-year	16 913,0	624,1	17 537,1	100,0	1104,7	6,3	16 432,4	93,7

^a Procent całkowitego ładunku dopływającego w półroczu zimowym. / Percentage of total load discharged during winter season.

^b Procent dopływu w danym okresie (miesiącu/półroczu). / Percentage of monthly/seasonal load discharged.

wprowadzona z jej wodami była w 2010 roku nawet 4,5-krotnie większa niż w latach poprzednich. Wynika to zarówno z większej ilości wody, jaka tym ciekim docierała do zbiornika, jak i jej znacznie gorszych parametrów jakościowych (w 2010 roku średnia koncentracja azotu ogólnego w półroczu zimowym wynosiła $9,72 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, podczas gdy w latach 2008–2009 było to odpowiednio $5,21$ – $5,62 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Obecnie brak jest dokładnych i wiarygodnych danych o źródłach zanieczyszczeń wód Wielkiej Strugi. Na jakość wód tego cieku i niesione ładunki wpływają z pewnością oczyszczone mechaniczno-biologicznie ścieki pochodzące z pobliskiego domu opieki społecznej. Są one odprowadzane w ilo-

ści 30 m^3 na dobę do dopływu Wielkiej Strugi – rowu R-5, w odległości około 3,5 km od jeziora. Źródłem zanieczyszczeń wód Wielkiej Strugi są także prawdopodobnie źródła obszarowe i punktowe, w tym zbiorniki bezodpływowe w nieskanalizowanej zlewni (Bańkowska i Wasilewicz 2009).

Podobne, choć mniej wyraźne tendencje odnotowano w przypadku ilości fosforu zasilającej Jezioro Zdrowskie (tab. 4). Łącznie w półroczu zimowym 2010 roku do jeziora dopłynął ładunek ponad 213 kg fosforu, z czego 89,1% pochodziło z Wielkiej Strugi, a 10,9% ze sztucznego zasilania jeziora. Największa ilość tego pierwiastka (około 69 kg) została wprowadzona do jeziora

TABELA 4. Ładunki fosforu dopływające do Jeziora Zdrowskiego w półroczu zimowym 2010 roku i ich dystrybucja^a

TABLE 4. Phosphorus loads inflowed into the Zdrowskie Lake during the winter half-year season 2010 and their distribution^a

Miesiąc Month	Ładunek [kg] Load		Całkowity ładunek dopływający Total load		Ładunek odpływający Outflow		Retencja Retention	
	Wielka Struga	sztuczne zasilanie	kg	% ^b	kg	% ^b	kg	% ^c
XI	21,3	0,0	21,3	10,0	0,0	0,0	21,3	100,0
XII	24,9	14,7	39,6	18,6	0,3	0,1	39,3	99,2
I	33,7	8,0	41,7	19,5	1,5	0,7	40,2	96,5
II	26,1	0,6	26,7	12,5	0,9	0,4	25,8	96,6
III	68,7	0,0	68,7	32,2	7,5	3,5	61,2	89,1
IV	15,6	0,0	15,6	7,3	16,1	7,5	-0,5	-3,3
Półrocze Half-year	190,2	23,3	213,5	100,0	26,2	12,3	187,2	87,7

^a Nie uwzględniono strącania fosforu. / Artificial phosphorus inactivation was not considered.

^b Procent całkowitego ładunku dopływającego w półroczu zimowym. / Percentage of total load discharged during winter season.

^c Procent dopływu w danym okresie (miesiącu/półroczu). / Percentage of monthly/seasonal load discharged.

w marcu i stanowiła 32% całkowitego ładunku z tego okresu. W 2010 roku dotarło do akwenu około 60% więcej fosforu niż w poprzednich latach hydrologicznych, kiedy to do zbiornika dopłynęło odpowiednio 133 i 131 kg fosforu (Bańkowska i in. 2010). Podobnie jak w przypadku azotu, za ten wzrost ładunku odpowiada Wielka Struga, która w półroczu zimowym 2010 roku doprowadziła do jeziora około 191 kg fosforu. W stosunku do lat poprzednich oznacza to znaczący wzrost ładunku, ponieważ w 2008 roku wynosił on 95 kg, a w 2009 roku – 80 kg (Bańkowska i in. 2010). Wzrost ładunku w 2010 roku wynika głównie z faktu, że Wielka Struga prowadziła w tym czasie znacznie większe ilości wody, ponieważ parametry jakościowe nie różniły się znacznie od notowanych w miesiącach zimowych poprzednich lat. Natomiast ładunek fosforu, dopływający w 2010 roku wraz z wodami przerzucanymi z Dobrzykowa, był znacznie mniejszy niż w latach poprzednich, ponieważ ilości wody dostarczone z tego źródła były w 2010 roku również znacznie mniejsze.

Pomimo stosunkowo korzystnych warunków hydrologicznych ilość biogenów odprowadzanych z Jeziora Zdworskiego wraz z odpływem była mała. Jedynie 6,3% azotu i 12,3% fosforu wprowadzonego do jeziora w półroczu zimowym zostało usunięte z ekosystemu wraz z odpływem. W związku z tym retencja azotu i fosforu wyniosła odpowiednio 93,7 i 87,7%. Tak duża akumulacja ładunku tych pierwiastków w jeziorze ma istotny wpływ na jakość wody i funkcjonowanie ekosystemu. Jest to zjawisko o tyle niepokojące, że nie stwierdzono poprawy sytuacji w sto-

unku do poprzednich lat hydrologicznych. W półroczu zimowym 2008 i 2009 roku poziom retencji biogenów był zbliżony i wynosił 84–97% w przypadku azotu oraz 84–98% w przypadku fosforu (Bańkowska i in. 2010).

Obciążenie jeziora pierwiastkami biogennymi dobrze obrazuje porównanie ładunków granicznych (dopuszczalnych i niebezpiecznych) z rzeczywistymi ładunkami docierającymi do akwenu (tab. 5).

TABELA 5. Porównanie ładunków granicznych azotu i fosforu z ładunkami rzeczywistymi
TABLE 5. Critical and observed nitrogen and phosphorus loads

Ładunki graniczne i rzeczywiste [mg·m ⁻² ·półrocze ⁻¹] Critical and observed loads [mg·m ⁻² ·season ⁻¹]	N	P
Ładunek dopuszczalny ^a Permissible load ^a	111,4	7,4
Ładunek niebezpieczny ^a Excessive load ^a	222,9	14,9
Ładunek całkowity, w tym Total observed load, including:	5114,4	62,3
Wielka Struga	4932,4	55,5
Sztuczne zasilanie Artificial alimentionation	182,0	6,8

^aWartości ładunków granicznych obliczono na podstawie przepływowego modelu Vollenweidera z uwzględnieniem objętości jeziora odpowiadającej normalnemu stanowi wody. / Critical loads values calculated using Vollenweider's model (total volume of the lake calculated for the normal water level was used).

Z danych przedstawionych w tabeli 5 wynika, że dopuszczalny ładunek azotu obliczony dla jeziora został przekroczony 46-krotnie, a ładunek niebezpieczny 23-krotnie. Sama tylko pula fosforu wprowadzona przez Wielką Strugę

przekracza 44 razy ładunek dopuszczalny i 22 razy ładunek niebezpieczny. Natomiast ładunek pochodzący z Dobrzykowa jest co prawda mniejszy od niebezpiecznego, ale i tak przewyższa ładunek dopuszczalny o 60%. W przypadku fosforu obciążenie jest mniejsze – ładunek całkowity 8,4-krotnie przekracza dopuszczalny i jest 4,2-krotnie niebezpieczny, przy czym pula fosforu pochodząca z Wielkiej Strugi przewyższa ładunki graniczne odpowiednio 7,5- i 3,7-krotnie.

Obserwowane obciążenie jeziora biogenami, szczególnie azotem, jest zatem niezwykle duże. Kilkudziesięciokrotne przekroczenia wartości ładunków dopuszczalnych wskazują na skrajnie niekorzystne warunki, jakie wystąpiły w Jeziorze Zdrowskim w półroczu zimowym 2010 roku. Jednocześnie są to największe obciążenia jeziora, jakie odnotowano w okresie prowadzenia badań monitoringowych.

Podsumowanie

1. Przedstawione dane wskazują, iż w półroczu zimowym 2010 roku sytuacja hydrologiczna Jeziora Zdrowskiego była w przeważającej części okresu korzystna, a niedobory wody w zbiorniku znikome.

2. Pomimo stosunkowo dużego zasilania wodami ze zlewni warunki wymiany wody w akwenu były nadal niekorzystne, co wpływa na utrzymywanie się dużej podatności tego jeziora na degradację.

3. Z ilościowego punktu widzenia wzrost zasilania Jeziora Zdrowskiego wodami Wielkiej Strugi, jaki stwierdzo-

no w półroczu zimowym 2010 roku, należy uznać za zjawisko korzystne.

4. Z punktu widzenia obciążenia jeziora biogenami intensywne zasilanie jeziora w tym okresie okazało się źródłem dużych dostaw azotu i fosforu.

5. Odnotowano znaczny wzrost dostawy azotu ze zlewni w związku z pogorszeniem się jakości wód głównego dopływu – Wielkiej Strugi, co w powiązaniu ze zwiększeniem się ilości wody docierającej do zbiornika tym ciekim i małą wymianą wody składało się na bardzo silne obciążenie jeziora związkami azotu.

6. Obecnie trudno jest oceniać, na ile sytuacja hydrologiczna, jaką obserwowano w półroczu zimowym 2010 roku, może wpłynąć na efektywność prowadzonych zabiegów rekultywacyjnych w Jeziorze Zdrowskim.

7. Za dobry (w ujęciu ilościowym) stan zasobów wodnych jeziora odpowiada głównie dopływ wody Wielką Strugą, co miało oczywiście związek z dużą ilością opadów w rozpatrywanym okresie (śnieżna i długa zima). Okresowe podwyższenie poziomu piętrzenia jeziora także wpłynęło korzystnie na stan wody w tym zbiorniku, ograniczyło jednak możliwości wymiany wody i odprowadzania biogenów wraz z odpływem. Taka sytuacja powoduje pogorszenie możliwości samooczyszczania się akwenu.

8. Istnieje sygnalizowany już wcześniej (Bańkowska i in. 2010) konflikt między zabiegami zmierzającymi do stabilizacji poziomu wody w jeziorze a warunkami wpływającymi na jego odporność na degradację.

9. Przedstawione wyniki badań wskazują na dużą zmienność zasilania

Jeziora Zdworskiego i jego obciążenia substancjami biogennymi w kolejnych latach hydrologicznych, co oczywiście w znacznej mierze wynika z dużej zmienności warunków klimatycznych w ostatnich 3 latach. Sytuacja ta w obiektywny sposób utrudnia zarówno planowanie, jak i realizację zabiegów renaturyzacyjnych, a także ocenę ich dotychczasowych efektów.

Literatura

- BAŃKOWSKA A. 2009: Jakość wód i właściwości osadów dennych jezior Pojezierza Łąckiego. W: O przyszłość Pojezierza Łąckiego. Red. J. Nasiadko, J. Kawałczewska, R. Wiśniewski, Z. Popek, W. Lenart, S. Maciejewski. Regionalne Centrum Edukacji Ekologicznej w Płocku, Płock.
- BAŃKOWSKA A., WASILEWICZ M. 2008: Przegląd działań realizowanych w celu poprawy stanu Jeziora Zdworskiego. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 1 (39): 80–90.
- BAŃKOWSKA A., WASILEWICZ M. 2009: Źródła zagrożeń jezior. W: O przyszłość Pojezierza Łąckiego. Red. J. Nasiadko, J. Kawałczewska, R. Wiśniewski, Z. Popek, W. Lenart, S. Maciejewski. Regionalne Centrum Edukacji Ekologicznej w Płocku, Płock.
- BAŃKOWSKAA., POPEK Z., WASILEWICZ M. 2010: Bilans wodny i głównych pierwiastków biogenicznych jako kluczowy element diagnozy stanu zbiornika i kierunku działań rekultywacyjnych na przykładzie Jeziora Zdworskiego. Materiały VII Konferencji Naukowo-Technicznej „Ochrona i Rekultywacja Jezior”, Toruń [w druku].
- KAWAŁCZEWSKA J. 2009: Narodziny inicjatywy społecznej. W: O przyszłość Pojezierza Łąckiego. Red. J. Nasiadko, J. Kawałczewska, R. Wiśniewski, Z. Popek, W. Lenart, S. Maciejewski. Regionalne Centrum Edukacji Ekologicznej w Płocku, Płock.
- MACIEJEWSKI S. 2009: Wykaszenie nadmiaru trzciny wraz z usunięciem biomasy poza ekosystem. W: O przyszłość Pojezierza Łąckiego. Red. J. Nasiadko, J. Kawałczewska, R. Wiśniewski, Z. Popek, W. Lenart, S. Maciejewski. Regionalne Centrum Edukacji Ekologicznej w Płocku, Płock.
- POPEK Z. 2009a: Zasoby wodne zlewni Jeziora Zdworskiego. W: O przyszłość Pojezierza Łąckiego. Red. J. Nasiadko, J. Kawałczewska, R. Wiśniewski, Z. Popek, W. Lenart, S. Maciejewski. Regionalne Centrum Edukacji Ekologicznej w Płocku, Płock.
- POPEK Z. 2009b: Działania zwiększające dopływ do jezior. W: O przyszłość Pojezierza Łąckiego. Red. J. Nasiadko, J. Kawałczewska, R. Wiśniewski, Z. Popek, W. Lenart, S. Maciejewski. Regionalne Centrum Edukacji Ekologicznej w Płocku, Płock.
- POPEK Z. 2009c: Działania zmierzające do stabilizacji poziomu wód w jeziorach. W: O przyszłość Pojezierza Łąckiego. Red. J. Nasiadko, J. Kawałczewska, R. Wiśniewski, Z. Popek, W. Lenart, S. Maciejewski. Regionalne Centrum Edukacji Ekologicznej w Płocku, Płock.
- POPEK Z., WASILEWICZ M., BAŃKOWSKA A. 2008: Monitoring jakości i ilości wód zasilających Jezioro Zdworskie. Sprawozdanie końcowe. Raport opracowany dla Wojewódzkiego Zarządu Melioracji i Urzędzeń Wodnych w Warszawie Oddział w Płocku, Warszawa (niepublikowany).
- POPEK Z., WASILEWICZ M., BAŃKOWSKA A. 2009: Monitoring jakości i ilości wód zasilających Jezioro Zdworskie. Sprawozdanie końcowe. Raport opracowany dla Wojewódzkiego Zarządu Melioracji i Urzędzeń Wodnych w Warszawie Oddział w Płocku, Warszawa (niepublikowany).
- WIŚNIEWSKI R. 2009a: Działania skierowane na bezpieczne usuwanie osadów. W: O przyszłość Pojezierza Łąckiego. Red. J. Nasiadko, J. Kawałczewska, R. Wiśniewski, Z. Popek, W. Lenart, S. Maciejewski. Regionalne Centrum Edukacji Ekologicznej w Płocku, Płock.
- WIŚNIEWSKI R. 2009b: Inaktywacja fosforu nagromadzonego w osadach. W: O przyszłość Pojezierza Łąckiego. Red. J. Nasiadko, J. Kawałczewska, R. Wiśniewski, Z. Popek, W. Lenart, S. Maciejewski. Regionalne Centrum Edukacji Ekologicznej w Płocku, Płock.

WIŚNIEWSKI R. 2009c: Introdukcja racjonalności zmiennej. W: O przyszłość Pojezierza Łąckiego. Red. J. Nasiadko, J. Kawałczewska, R. Wiśniewski, Z. Popek, W. Lenart, S. Maciejewski. Regionalne Centrum Edukacji Ekologicznej w Płocku, Płock.

Summary

The analysis of the Zdworskie Lake water supply in aspect of the restoration programme. Results of quantitative and qualitative assessment of water resources in the Zdworskie Lake catchment area are presented and discussed in this paper. Data collected in the winter season of the hydrological year 2010 were used. Measurement and analysis of water resources in the Zdworskie Lake and its basin have been carried out since 2007 in order to recognize water supply of the lake and nutrients loads discharged into this reservoir and to evaluate effects of the restoration measures. Studies

revealed that hydrological condition of the lake during winter season 2010 was good: water level of the reservoir was higher than the normal water level most of the time. Total water supply of the lake in this period ($1631.9 \cdot 10^3 \text{ m}^3$) was two times bigger than in last two hydrological years. In spite of huge amount of water inflowing into the lake, water exchange in the lake was still very low (7,5%). At the same time increase of nutrients loads discharged into the lake due to poor quality of the main tributary (Wielka Struga River) was observed. Total nitrogen and phosphorus loads exceeded the calculated excessive loads 23 times (nitrogen) and 4.3 times (phosphorus).

Author's address:

Agnieszka Bańkowska
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Inżynierii Wodnej
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
Poland
e-mail: agnieszka_bankowska@sggw.pl