

# WPŁYW UŻYTKOWANIA ZLEWNI NA KSZTAŁTOWANIE JAKOŚCI WODY W ZBIORNIKACH WODNYCH ZLEWNI RZEKI DRAWA

**Marika KORNAŚ, Artur GRZEŚKOWIAK**

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Oddział w Poznaniu

*Słowa kluczowe: eutrofizacja, jakość wód, użytkowanie terenu, zlewnie jezior, związki azotu i fosforu*

## Streszczenie

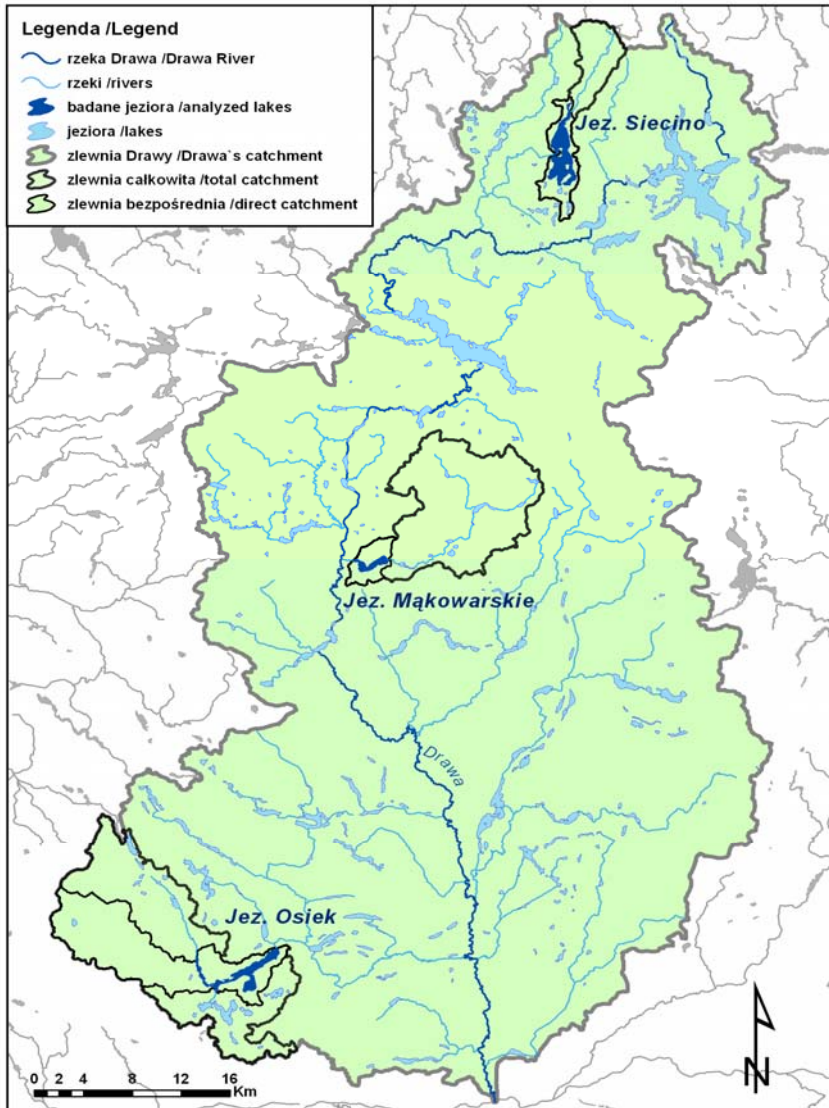
Celem pracy było określenie wpływu użytkowania zlewni na kształtowanie jakości wód jeziornych. Badaniami objęto trzy zbiorniki wraz z ich zlewniami (bezpośrednimi i całkowitymi) położone w zlewni rzeki Drawa. W celu ustalenia tego wpływu oszacowano ładunek związków azotu i fosforu, trafiający do jeziora z terenu zlewni bezpośredniej (jako spływy obszarowe) oraz całkowitej (jako dopływ ciekami). Otrzymane ładunki fosforu porównano z ładunkami dopuszczalnymi i niebezpiecznymi dla badanych zbiorników. Dodatkowo oceniono naturalną odporność jezior na degradację oraz wpływ zlewni na tempo dostawy do nich materii.

## WSTĘP

Praca ma na celu ukazanie wzajemnej relacji między zlewnią a zbiornikiem wodnym, przede wszystkim wpływu sposobu jej użytkowania na jakość wód, na przykładzie 3 jezior położonych w zlewni rzeki Drawa.

Przyjęte postępowanie polega na określeniu wpływu na jakość wód jeziornych czynników antropogenicznych, rozumianych jako użytkowanie terenu zlewni, w powiązaniu z czynnikami naturalnymi, mogącymi potencjalnie zwiększyć lub zmniejszyć wielkość tego oddziaływania. Czynniki naturalne mają wpływ na podatność jezior na degradację oraz ich odporność na dostawę materii ze zlewni.

Wpływ użytkowania zlewni na jakość wody przedstawiono za pomocą ładunku związków azotu i fosforu dostającego się do jezior z dopływami oraz ze splywem powierzchniowym. Na podstawie wielkości tego ładunku oraz naturalnej podatności i odporności zbiornika ustalono zagrożenie, jakie może wynikać z użytkowania zlewni jeziora w powiązaniu z jego naturalnymi uwarunkowaniami.



Rys. 1. Położenie badanych jezior w zlewni rzeki Drawa [IMGW 2005]

Fig. 1. Location of the analysed lakes in the Drawa River catchment basin [IMGW 2005]

Praca jest doniesieniem naukowym, ponieważ ma charakter opisowego raportu z przeprowadzonych badań. Stanowi element wyjściowy do dalszej analizy, mającej na celu szczegółowe scharakteryzowanie wpływu użytkowania zlewni na jakość wód jeziornych. Starano się również zbadać czy wpływ ten można określić, wykorzystując dane pochodzące z jednego terminu pomiarowego. Termin ten wyznaczono w czasie stagnacji letniej, ponieważ większość stosowanych w opracowaniu wskaźników i parametrów osiąga największą wartość indykacyjną właśnie w tym okresie, ze względu na maksymalną produkcję jeziora i najwyraźniejsze skutki eutrofizacji.

Badaniami objęto jeziora leżące w zlewni Drawy, będącej prawym dopływem Noteci. Spośród nich do analizy wybrano 3, znajdujące się w różnych odcinkach jej biegu: Siecino, Mąkowskie i Osiek (rys. 1). Są to zbiorniki przepływowo, stanowiące przykład jezior rynnowych o znacznych głębokościach. Głównym dopływem jeziora Siecino jest Rakoń, a Mąkowskiego – przepływająca przez nie ze wschodu na zachód Drawica. Osiek zasilają przede wszystkim wody rzeki Ogardna, stanowiącej górny bieg Mierzęckiej Strugi, oraz cieką płynącego z jeziora Lipie.

## **METODY BADAŃ**

Podstawą dociekań były badania wybranych parametrów fizykochemicznych wody jezior i głównych rzek zasilających je i odwadniających oraz pomiar natężenia przepływu w tych ciekach. Profile pomiarowe, w których pobrano próbki zlokalizowano w rzekach w miejscu pomiaru natężenia przepływu, natomiast w jeziorach – w miejscu ich największej głębokości (pobór wód z warstwy powierzchniowej i naddennej). Oznaczono wskaźniki chemiczne – stężenie azotu amonowego (N-NH<sub>4</sub>), azotanowego (N-NO<sub>3</sub>), azotynowego (N-NO<sub>2</sub>), Kjeldahla i ogólnego oraz fosforanów (P-PO<sub>4</sub>) i fosforu ogólnego, a także wskaźniki fizyczne – przewodność elektrolityczną właściwą i pH. Dodatkowo w jeziorach wykonano pomiar temperatury i stężenia tlenu rozpuszczonego w przekroju pionowym co 1 m oraz przezroczystości wody za pomocą krążka Secchiego. Badania wykonano w okresie stratyfikacji letniej, 13–14 lipca 2009 r.

Sposób zagospodarowania zlewni całkowitych i bezpośrednich ustalono za pomocą narzędzi GIS (System Informacji Geograficznej), wykorzystując mapy użytkowania terenu [EEA 2006]. Wyodrębniono poszczególne poziomy użytkowania według klasyfikacji przyjętej dla Polski. Bazując na sporządzonych mapach obliczono powierzchnie o danym sposobie zagospodarowania oraz ich udziały w ogólnej powierzchni wydzielonych zlewni.

Naturalną podatność jezior na degradację określono według KUDELSKIEJ i in. [1994], a rolę zlewni w dostarczaniu do nich materii – według BAJKIEWICZ-GRA-BOWSKIEJ [2002].

Wielkość ładunku związków azotu i fosforu niesionego w danym momencie przez wody ciekę (ładunek chwilowy) obliczono jako iloczyn ich stężenia i objętości przepływu chwilowego. Chwilowy ładunek fosforu dostający się do zbiornika ciekami stał się punktem wyjścia obliczenia jego rocznej wartości.

Opierając się na równaniu zaproponowanym przez GIERCUSZKIEWICZ-BAJTLIK [1990] oszacowano roczny ładunek związków azotu i fosforu, pochodzący ze spływów powierzchniowych. Wykorzystano cytowane w literaturze współczynniki:

- spływów związków azotu i fosforu z różnych rodzajów powierzchni,
- dostawy z opadem atmosferycznym,
- retencji (tab. 1).

**Tabela 1.** Współczynniki rocznego odpływu związków azotu i fosforu z różnych rodzajów powierzchni, dostawy z opadem atmosferycznym i uśrednione współczynniki retencji

**Table 1.** Coefficients of annual nitrogen and phosphorus loads from areas of different land cover, atmospheric inputs and their averaged retention coefficients

Współczynniki Coefficients	Azot Nitrogen	Fosfor Phosphorus	Źródło danych Data source
	kg·ha <sup>-1</sup>		
Odpływu z powierzchni: Surface runoff from:			
– lasów forests	3,92	0,225	SZYPER, ZANIEWSKA [1984]
– łąk i pastwisk (użytków zielonych) meadows and pastures (grasslands)	8,5	0,17	LIKENS [1975]
– gruntów ornych arable lands	7,84	0,45	SZYPER, ZANIEWSKA [1984]
– terenów zabudowanych (zabudowy miejskiej) built-up lands (urban) areas	2,5	0,1	SZYPER, ZANIEWSKA [1984]
Dostawy z opadem atmosferycznym Atmospheric input	2,0	0,2	KAJAK [1994]
Retencji Retention	0,41	–	JENSEN i in. [1992]
	–	0,57	UCHMAŃSKI, SZELEGIEWICZ [1988]

Łączny ładunek fosforu wprowadzony punktowo i przez spływy obszarowe przeliczono na jednostkę powierzchni jeziora i przyjęto za roczny ładunek fosforu pochodzący ze źródeł związanych z użytkowaniem zlewni. Wartość tego ładunku porównano z ładunkiem dopuszczalnym i niebezpiecznym obliczonym na podstawie kryterium VOLLENWEIDERA [1976], a następnie określono kategorie zagrożenia zbiorników według HILLBRICHT-ILKOWSKIEJ i KAJAKA [1986].

## WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

Stężenie fosforu i azotu ogólnego w wodach warstwy powierzchniowej badanych jezior jest mało zróżnicowane. Stężenie fosforu ogólnego wynosi 0,03–0,04 mg·dm<sup>-3</sup>, a azotu ogólnego – 1,3–1,6 mg·dm<sup>-3</sup>. Największe stężenie azotu amonowego zanotowano w jeziorze Osiek (0,06 mg·dm<sup>-3</sup>). Zawartość związków azotu i fosforu jest wyraźnie zróżnicowana w warstwie wody naddennej – największą zanotowano w warstwie naddennej Jeziora Mąkowskiego, a najmniejszą – jeziora Siecino. Z rzek dopływających wody o najgorszej jakości docierają do Jeziora Mąkowskiego. Maksymalne stężenie azotu azotanowego (1,45 mg·dm<sup>-3</sup>), azotynowego (0,03 mg·dm<sup>-3</sup>), ogólnego (3,58 mg·dm<sup>-3</sup>) oraz fosforanów (0,08 mg·dm<sup>-3</sup>) i fosforu ogólnego (0,14 mg·dm<sup>-3</sup>) zanotowano w Drawicy, natomiast azotu amonowego i Kjeldahla – w rzece Rakoń (odpowiednio 0,24 i 2,9 mg·dm<sup>-3</sup>). Najgorszej jakości wody uchodzą z jeziora Siecino. W rzece Rakoń zanotowano największe stężenie azotu azotanowego (0,05 mg·dm<sup>-3</sup>), azotynowego (0,002 mg·dm<sup>-3</sup>), Kjeldahla (2,3 mg·dm<sup>-3</sup>) oraz ogólnego (2,35 mg·dm<sup>-3</sup>). Największe stężenie azotu amonowego zanotowano w Mierzęckiej Strudze (0,05 mg·dm<sup>-3</sup>), zaś fosforu ogólnego – w Drawicy (0,06 mg·dm<sup>-3</sup>).

Najlepsze warunki tlenowe panują w jeziorze Siecino – zawartość tlenu rozpuszczonego w warstwie naddennej tego zbiornika wynosi 5,5 mg O<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>. Największą przewodność odnotowano w jeziorze Osiek (295 μS·cm<sup>-1</sup>), co świadczy o niewielkiej zawartości substancji nieorganicznych, a więc małym stężeniu soli rozpuszczonych. Wody analizowanych jezior mają odczyn zasadowy, najmniejszą wartość pH (8,9) zanotowano w jeziorze Siecino. Niekorzystne warunki tlenowe oraz mała przezroczystość w jeziorach Mąkowskim i Osiek (odpowiednio 1,8 i 2,2 m) świadczą o złej jakości ich wód. Z cieków najmniejszą wartość pH (8,6) zanotowano w dopływie do Jeziora Mąkowskiego, a największą przewodność (431 μS·cm<sup>-1</sup>) w Ogardnej, dopływie Osieka.

Zlewnie całkowite jezior Siecino i Osiek są zlewniami leśno-rolniczymi. Udział terenów rolnych w ich powierzchni wynosi odpowiednio 64,3 i 49,6% (tab. 2). Zlewnia całkowita Jeziora Mąkowskiego jest zlewnią rolniczo-leśną – lasy stanowią 55,2% jej powierzchni. Wśród terenów rolnych wyróżniono grunty orne (Osiek 46,2%) oraz tereny upraw mieszanych i łąki (Siecino – odpowiednio 21,0 i 10,2%). Grunty orne są dominującym sposobem użytkowania terenów rolnych we wszystkich zlewniach całkowitych.

Zlewnia bezpośrednia jeziora Osiek jest zlewnią leśno-rolniczą (67,5% terenów rolnych), jeziora Siecino – rolniczo-leśną (64,5% lasów), a Mąkowskiego – leśną (85,3% lasów) (tab. 3). W zlewni bezpośredniej jeziora Osiek grunty orne stanowią aż 64,3%.

**Tabela 2.** Użytkowanie terenu zlewni całkowitych badanych jezior**Table 2.** Land uses in the total catchment area of analysed lakes

Sposób zagospodarowania terenu Land use		Siecino		Mąkowskie		Osiek	
		ha	%	ha	%	ha	%
Tereny przekształcone antropogenicznie Built-up areas	tereny zurbanizowane urban areas	–	–	204,4	1,7	70,1	0,4
	tereny przemysłowe, handlowe i komunikacyjne industrial areas, shopping districts and roads	–	–	41,7	0,4	–	–
Tereny rolne Agricultural areas	grunty orne arable lands	1 109,6	33,1	4 061,3	34,2	8 377,9	46,2
	łąki meadows	343,2	10,2	563,8	4,7	96,7	0,5
	tereny upraw mieszanych heterogeneous agricultural areas	704,8	21,0	348,5	2,9	518,3	2,9
Lasy i ekosystemy seminaturalne Forest and other semi-natural ecosystems	lasy forests	1 109,3	33,0	6 257,8	52,6	8 542,2	47,0
	zespoły roślinności drzewiastej i krzewiastej shrub and/or herbaceous vegetation	–	–	314,2	2,6	25,9	0,1
Obszary wodne Water bodies	wody śródlądowe inland waters	89,6	2,7	110,2	0,9	521,5	2,9
Razem Total		3 356,5	100,0	11 901,9	100,0	18 152,6	100,0

**Tabela 3.** Użytkowanie terenu zlewni bezpośrednich badanych jezior**Table 3.** Land use in the direct catchment of analysed lakes

Sposób zagospodarowania terenu Land use		Siecino		Mąkowskie		Osiek	
		ha	%	ha	%	ha	%
Tereny przekształcone antropogenicznie Built-up areas	tereny zurbanizowane urban areas	–	–	–	–	44,0	0,6
	tereny przemysłowe, handlowe i komunikacyjne industrial areas, shopping districts and roads	–	–	41,7	4,9	–	–
Tereny rolne Agricultural areas	grunty orne arable lands	242,6	20,6	77,4	9,0	4 585,6	64,3
	łąki meadows	5,2	0,4	7,2	0,8		
	tereny upraw mieszanych heterogeneous agricultural areas	112,1	9,6	0,2	0,0	228,6	3,2
Lasy i ekosystemy seminaturalne Forest and other semi-natural ecosystems	lasy forests	759,2	64,5	732,0	85,3	2 264,8	31,7
	zespoły roślinności drzewiastej i krzewiastej shrub and/or herbaceous vegetation	57,1	4,9	–	–	13,5	0,2
Obszary wodne Water bodies	wody śródlądowe inland waters	11 76,2	100,0	858,5	100,0	7 136,5	100,0
Razem Total		3 356,5	–	–	41,7	4,9	–

Dużą odpornością na degradację charakteryzuje się Siecino, uzyskując I kategorię podatności (tab. 4). Spośród badanych wskaźników niekorzystne wartości przyjmuje jedynie procent stratyfikacji jego wód. Jeziora Mąkowarskie i Osiek należą do zbiorników umiarkowanie podatnych na degradację (II kategoria podatności). W przypadku Mąkowarskiego niekorzystny jest stosunek objętości jeziora do długości jego linii brzegowej, procent stratyfikacji wód i wymiany wody w roku oraz iloraz powierzchni zlewni całkowitej i objętości jeziora (współczynnik Schindlera). Najmniej odporne na degradację jest jezioro Osiek (2,1 punktów). Odporność tego zbiornika obniża przede wszystkim stosunek jego objętości do długości linii brzegowej oraz sposób zagospodarowania zlewni bezpośredniej.

Oceniając wpływ zlewni na tempo dostawy materii zlewnie analizowanych jezior zakwalifikowano do jednej z czterech grup podatności (tab. 5). Zlewnie jezior Siecino i Osiek zaliczono do 2 grupy, czyli do zlewni mało podatnych na uruchomienie ładunku zdeponowanego na ich obszarze (niewielka możliwość dotarcia

**Tabela 4.** Ocena podatności badanych jezior na degradację

**Table 4.** The vulnerability of analysed lakes to degradation

Charakterystyka Parameters	Siecino		Mąkowarskie		Osiek	
	wartość value	punkt score	wartość value	punkt score	wartość value	punkt score
Średnia głębokość jeziora, m Mean depth, m	14,3	1	13,6	1	9,3	2
Stosunek objętości jeziora, tys. m <sup>3</sup> , do długości jego linii brzegowej, m The ratio of lake volume, thous. m <sup>3</sup> , to the length of the shoreline, m	4,3	1	2,7	2	1,8	3
Stratyfikacja wód, % Water stratification, %	33,1	2	25,5	2	20,8	2
Iloraz powierzchni dna czynnego, m <sup>2</sup> , i objętości epilimnionu, m <sup>3</sup> The quotient of active lake bottom, m <sup>2</sup> , and epilimnion volume, m <sup>3</sup>	0,02	1	0,03	1	0,05	1
Wymiana wody w roku, % Annual water exchange, %	10	1	99	2	47	2
Współczynnik Schindlera, m <sup>2</sup> ·m <sup>-3</sup> Schindler's coefficient, m <sup>2</sup> ·m <sup>-3</sup>	0,4	1	5,2	2	3,7	2
Sposób zagospodarowania zlewni bezpo- średniej, % Land use type in the direct catchment, %	64,5 1	1	85,3 1	1	64,3 go	3
Wynik punktacji Result	1,1		1,6		2,1	
Kategoria podatności Vulnerability	I		II		II	

Objaśnienia: 1 – lasy, go – grunty orne. Explanations: 1 – forests, go – arable land.

**Tabela 5.** Ocena zlewni – dostawy materii do badanych jezior**Table 5.** The assessment of catchment as a source of matter input to analysed lakes

Charakterystyka Parameters	Siecino		Mąkowarskie		Osiek	
	wartość value	punkt score	wartość value	punkt score	wartość value	punkt score
Współczynnik jeziora Lake coefficient	5,6	0	70,9	2	35,1	1
Typ bilansowy jeziora Balance type of lake	p	3	p	3	p	3
Morfometria zlewni: Catchment morphometry:						
– gęstość sieci rzecznej, km·km <sup>-2</sup> river network density, km·km <sup>-2</sup>	0,2	0	0,1	0	0,1	0
– średni spadek zlewni, m·km <sup>-2</sup> mean slope of the catchment, m·km <sup>-2</sup>	23,8	3	26,6	3	9,4	1
– obszary bezodpływowe, % – areas without drainage, %	5,0	3	9,2	3	16,1	3
Budowa geologiczna Geological structure	gl	0	pi	3	gl	0
Użytkowanie ziemi Land use type	r-l	0	l	0	l-r	1
Wynik punktacji Results	1,3		2,0		1,3	
Grupa podatności Vulnerability group	2		4		2	

Objaśnienia: p – przepływowe, gl – gliniasta, pi – piaszczysta, r-l – rolniczo-leśna, l – leśna, l-r – leśno-rolnicza.

Explanations: p – through-flow lakes, gl – loamy, pi – sandy, r-l – agricultural-forest, l – forest, l-r – forest-agricultural.

materii do zbiornika). Zlewnia Jeziora Mąkowarskiego należy do 4 grupy podatności i odznacza się dużą możliwością dostarczenia materii. Cechami najbardziej sprzyjającymi dostawie materii do badanych zbiorników są: typ bilansowy jeziora, duże spadki, mały udział obszarów bezodpływowych oraz budowa geologiczna.

Największe chwilowe ładunki związków azotu i fosforu zasilają i odwadniają Jezioro Mąkowarskie. Większy jest tylko ładunek azotu amonowego dopływający (suma obu dopływów) i uchodzący z jeziora Osiek (tab. 6). Ładunek azotu azotowego w wodach odpływu z jeziora Osiek i Mąkowarskiego znajduje się na tym samym poziomie. Najmniejsze chwilowe ładunki poszczególnych związków azotu i fosforu są dostarczane i uchodzą z jeziora Siecino. Wyjątek stanowi azot amonowy, trafiający do Jeziora Mąkowarskiego oraz azot azotanowy wprowadzany do jeziora Osiek.

Największe ładunki, zarówno azotu, jak i fosforu, są wprowadzane przez spływ powierzchniowy ze zlewni bezpośredniej do jeziora Osiek. Ładunek azotu i fosforu w przypadku zlewni bezpośredniej jeziora Osiek nawet 8-krotnie przewyższa te, które docierają ze zlewni bezpośredniej do jeziora Siecino (tab. 7).



**Tabela 6.** Chwilowe ładunki związków azotu i fosforu ( $\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}$ ) docierające i uchodzące z badanych jezior ciekami

**Table 6.** Nitrogen and phosphorus flows ( $\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}$ ) at the input to and output from the analysed lakes

Parametr Parameter	Siecino		Mąkowskie		Osiek			
	Rakoń – dopływ inflow	Rakoń – odpływ outflow	Drawica – dopływ inflow	Drawica – odpływ outflow	Dopływ z jeziora Lipie – dopływ inflow	Ogardna – dopływ inflow	dopływy do jeziora Osiek <sup>1)</sup> input to Lake Osiek <sup>1)</sup>	Mierzęcka Struga – odpływ outflow
N-NH <sub>4</sub>	16,6	7,3	< 7,9	<9,2	15,2	2,5	17,7	22,8
N-NO <sub>3</sub>	20,7	9,2	574,2	< 18,4	< 7,6	10,5	< 18,1	< 18,2
N-NO <sub>2</sub>	0,4	0,4	11,9	< 0,9	< 0,4	0,3	< 0,7	< 0,9
N Kjeldahla	200,1	420,9	831,6	872,1	361,0	88,2	449,2	820,8
Kjeldahla N								
N ogólny Total N	221,5	430,1	1147,7	872,1	361,0	99,1	460,1	820,8
P-PO <sub>4</sub>	< 1,4	< 3,7	31,7	< 9,2	< 3,8	4,6	< 8,4	< 9,1
P ogólny Total P	3,5	5,5	55,4	27,5	11,4	8,8	20,2	22,8

<sup>1)</sup> Zsumowane wartości Dopływu z jeziora Lipie i Ogardnej.

<sup>1)</sup> Summed inputs from the Dopływ z jeziora Lipie River and the Ogardna River.

**Tabela 7.** Szacunkowy roczny ładunek ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) azotu (N) i fosforu (P) ze spływów obszarowych przypadający na powierzchnię badanych jezior

**Table 7.** Approximate annual nitrogen (N) and phosphorus (P) loads ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) from surface runoff per area of the analysed lakes

Zlewnia Catchment		Siecino		Mąkowarskie		Osiek	
		N	P	N	P	N	P
Bezpośrednia	Direct	8,7	0,5	20,5	1,1	69,7	3,5

Przyjmując chwilowy ładunek fosforu dostający się do jeziora głównymi dopływami w okresie letnim za średni w roku, ekstrapolowano go na okres 10-miesięczny (bez okresu zlodzenia) i uznano za wartość rocznego ładunku fosforu wnoszonego do jeziora dopływami. Wielkość tę należy traktować jako szacunkową, zaniżoną, a nawet minimalną wartość rocznego dopływu fosforu ciekami, ponieważ w obliczeniach nie uwzględniono sezonowych zmian stężenia fosforu, które w okresie letnim przyjmuje wartości najmniejsze, a także zmian przepływu, np. w okresie roztopów lub po nawalnych opadach.

Zsumowane ładunki fosforu docierające do zbiornika ze spływem powierzchniowym i z dopływami uznano za roczny ładunek fosforu ze źródeł związanych z użytkowaniem zlewni (tab. 8). Największy roczny ładunek fosforu pochodzący z użytkowania zlewni dociera do Jeziora Mąkowarskiego, najmniejszy – do jeziora Siecino. W ciągu roku najwięcej fosforu ze spływów obszarowych trafia do jeziora Osiek, a ciekami – do Mąkowarskiego.

**Tabela 8.** Roczny ładunek fosforu przypadający na powierzchnię badanych jezior ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) wynikający z użytkowania ich zlewni

**Table 8.** Annual unit phosphorus load to the analysed lakes ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) resulting from land use type in their catchments

Sposób dostawy ładunku fosforu Type of phosphorus load input		Siecino	Mąkowarskie	Osiek
Spływ obszarowy	Surface runoff	51,5	114,8	346,3
Dopływ ciekami	River input	12,6	853,9	99,6
Łącznie	Total	64,1	968,7	445,9

Obliczone ładunki fosforu odniesiono do kryterium VOLLENWEIDERA [1976] modelu hydraulicznego, przyjętego dla jezior przepływowych, uwzględniającego tempo wymiany wody w roku, a więc porównano z obliczonymi dla analizowanych zbiorników ładunkami dopuszczalnymi i niebezpiecznymi. Dzięki temu można było stwierdzić, czy oszacowany roczny ładunek fosforu związany z użytkowaniem zlewni może stanowić potencjalne zagrożenie dla danego jeziora, nawet gdy uwzględnimy jego minimalne wartości docierające z dopływami. Znając ładunki

fosforu dopuszczalne i niebezpieczne oraz trafiające do jezior w wyniku użytkowania ich zlewni określono kategorie ich zagrożenia według HILLBRICHT-ILKOWSKIEJ i KAJAKA [1986] (tab. 9).

**Tabela 9.** Kategorie zagrożenia badanych jezior

**Table 9.** Risk levels of the analysed lakes

Ładunek fosforu, mg·m <sup>-2</sup> Phosphorus load, mg·m <sup>-2</sup>	Siecino	Mąkowskie	Osiek
Ładunek dopuszczalny Permissible load	59,5	270,0	102,6
Ładunek niebezpieczny Excessive load	119,0	539,9	205,2
Ładunek wynikający z użytkowania zlewni Load resulting from the catchment land use	64,1	968,7	445,9
Kategoria zagrożenia Risk level	II	III	III

Jedynie w przypadku obciążenia jeziora Siecino roczny ładunek fosforu pochodzący z użytkowania zlewni jest większy od dopuszczalnego, ale mniejszy niż niebezpieczny (II kategoria zagrożenia). Roczny ładunek fosforu ze źródeł uwarunkowanych użytkowaniem zlewni docierający do jezior Mąkowskiego i Osiek jest większy (aż 2-krotnie) od niebezpiecznego dla danego zbiornika (III kategoria zagrożenia).

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Celem opracowania było ukazanie wpływu użytkowania zlewni na kształtowanie jakości wód jeziornych. Do badań wytypowano 3 zbiorniki zlokalizowane w zlewni rzeki Drawa. Spośród nich największym udziałem terenów rolnych w powierzchni zlewni całkowitej cechuje się Siecino, natomiast w bezpośredniej – Osiek. Zarówno zlewnia całkowita, jak i bezpośrednia tego ostatniego odznacza się największym udziałem gruntów ornych ze wszystkich analizowanych zlewni. Należy zwrócić uwagę nie tylko na udział określonego sposobu zagospodarowania terenu, ale również na wielkość zajmowanej przez dany typ powierzchni. Największa powierzchnia terenów rolnych występuje w zlewni całkowitej i bezpośredniej jeziora Osiek. Użytkowanie obszaru zlewni tego jeziora powoduje, że ilość związków azotu i fosforu niesionych przez dopływy jest względnie duża, a ładunek azotu i fosforu trafiający do jeziora ze spływów obszarowych największy z badanych zbiorników. Determinuje to stan tego jeziora, czyli złą jakość jego wód.

Związki azotu i fosforu są wprowadzane do jeziora ze spływem powierzchniowym oraz punktowo, z dopływającymi ciekami. Największy chwilowy ładunek związków azotu i fosforu oraz roczny ładunek fosforu dociera rzekami do Jeziora Mąkowskiego. Wody zasilające są w tym przypadku głównym źródłem dostawy

fosforu. Udział i powierzchnia terenów rolnych w zlewni bezpośredniej są małe, a tym samym spływ obszarowy azotu i fosforu niewielki. Wody Jeziora Mąkowskiego, podobnie jak jeziora Osiek, wyróżnia słaba jakość.

Na podstawie przedstawionych badań, można stwierdzić, że na jakość wód jeziornych wpływa sposób użytkowania terenu zlewni jeziora (bezpośredniej i całkowitej) oraz jego naturalne uwarunkowania. Dzięki małej podatności na degradację oraz dużej odporności zlewni na uruchomienie ładunku zdeponowanego na jej powierzchni Siecino charakteryzuje się dobrą jakością wód i ma szansę na utrzymanie swojego stanu na zadowalającym poziomie. Sytuacja wygląda odwrotnie w przypadku pozostałych jezior. Podatność jeziora Osiek na degradację jest największa, a zlewnia Jeziora Mąkowskiego odznacza się dużą możliwością dostarczenia materii. Znaczny ładunek związków azotu i fosforu docierający do nich ciekami oraz spływem powierzchniowym, w połączeniu z naturalnymi uwarunkowaniami tych zbiorników może przyczynić się do pogorszenia jakości ich wód.

Wnioskowanie o wpływie sposobu użytkowania zlewni zbiorników wodnych na jakość ich wody oparto przede wszystkim na określeniu zagrożenia nadmierną dostawą fosforu ze spływem obszarowym i dopływem ciekami. Roczny ładunek fosforu pochodzący ze źródeł związanych z użytkowaniem zlewni docierający do jezior o wodach najgorszej jakości (Osiek i Mąkowskie) przekracza wartość ładunku niebezpiecznego. Świadczy to o dużym zagrożeniu spowodowanym użytkowaniem zlewni, o otrzymaniu ładunku fosforu powodującego pogorszenie jakości tych jezior oraz dużym prawdopodobieństwie postępu ich eutrofizacji. Tempo tego procesu może być różne, jednak ładunek fosforu większy niż niebezpieczny nie gwarantuje utrzymania trofii na stałym poziomie.

Praca stanowi również odpowiedź na pytanie czy wpływ użytkowania zlewni na jakość wód jeziornych można określić na podstawie danych pochodzących z jednego terminu pomiarowego. Z przeprowadzonych badań wynika, że jest to możliwe, jednak w celu ustalenia rzeczywistego ładunku związków azotu i fosforu docierającego do jezior w ciągu całego roku, analizę należy wykonać na podstawie danych pochodzących z większej liczby serii pomiarowych.

Badania wykonano w ramach tematu DS-H 9.4 „Zróżnicowanie warunków naturalnych i antropogenicznych jezior i ich rola w kształtowaniu bilansu wodnego oraz zasobów ilościowych i jakościowych wód jeziornych” realizowanego w statutowej działalności badawczej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w 2009 r.

## LITERATURA

- BAJKIEWICZ-GRABOWSKA E. 2002. Obieg materii w systemach rzeczno-jeziornych. Warszawa. Wydaw. UW ss. 274.
- EEA 2006. Corine land cover [on line]. Copenhagen. Dostępny w Internecie: [www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu).
- GIERCUSZKIEWICZ-BAJTLIK M. 1990. Prognozowanie zmian jakości wód stojących. Warszawa. IOŚ ss. 74.

- HILLBRICHT-ILKOWSKA A., KAJAK Z. 1986. Parametry i wskaźniki przydatne do kontroli zmian funkcjonalnych i strukturalnych w ekosystemach jeziornych ulegających procesowi eutrofizacji. W: *Monitoring ekosystemów jeziornych*. Pr. zbior. Red. A. Hillbricht-Ilkowska. Wrocław. Ossolineum s. 23–46.
- IMGW 2005. Mapa podziału hydrograficznego Polski. Pr. zbior. Red. H. Czarnecka. Warszawa.
- JENSEN J. P., JEPPENSEN E., KRISTENSEN P., CHRISTENSEN P. B., SONDERGAARD M. 1992. Nitrogen loss and denitrification as studied in relation to reduction in nitrogen loading in shallow, hypertrophic lake. *International Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*. Vol. 77 s. 29–42.
- KAJAK Z. 1994. *Hydrobiologia. Ekosystemy wód śródlądowych*. Białystok. Dział Wydawnictw Filii UW ss. 326.
- KUDELSKA D., CYDZIK D., SOSZKA H. 1994. Wytyczne monitoringu podstawowego jezior. Wyd. 2 (uzupełnione). Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa. Oikos ss. 42.
- LIKENS G.E. 1975. Primary production of inland aquatic ecosystems. W: *Primary productivity of the biosphere*. Pr. zbior. Red. H. Lieth, R. H. Whittaker. New York. Springer Verlag s. 185–215.
- SZYPER H., ZANIEWSKA H. 1984. Zagospodarowanie turystyczne na obszarach pojeziernych. W: *Ochrona jezior. Materiały z konferencji. Bydgoszcz, 26 maja 1983 r.* Warszawa. Wydaw. SD „Epoka” s. 75–105.
- UCHMAŃSKI J., SZELEGIEWICZ W. 1988. Empiryczne modele przewidywania jakości wód w zastosowaniu do danych o polskich jeziorach. *Ekologia Polska*. Vol. 36. Nr 3–4 s. 285–316.
- VOLLENWEIDER R.A. 1976. Advances in defining critical loading level for phosphorus in lake eutrophication. *Memorie dell’ Istituto Italiano di Idrobiologia*. Vol. 33 s. 53–83.

*Marika KORNAŚ, Artur GRZEŚKOWIAK*

### **THE IMPACT OF LAND USE ON WATER QUALITY IN WATER RESERVOIRS OF THE DRAWA RIVER CATCHMENT**

*Keywords: eutrophication, land use, lake catchments, nitrogen and phosphorus compounds, water quality*

#### **S u m m a r y**

The aim of this work was to estimate the impact of land use on lake water quality. The study involved three water bodies and their catchments (direct and total) located in the Drawa River catchment basin. The loads of phosphorus and nitrogen compounds were estimated as those delivered from direct catchment (surface runoff) and the loads from total catchment delivered to lakes in the river water input. Phosphorus loads were compared with permissible and excessive loads of phosphorus for analysed lakes. Additionally, the natural vulnerability of lakes to degradation and the effect of lake catchment on matter input to lakes were estimated.

---

#### **Recenzenci:**

*prof. dr hab. Józef Mosiej*

*prof. dr hab. Andrzej Sapek*

Praca wpłynęła do Redakcji 01.10.2009 r.