



## **Zmienność chemizmu wód małych zbiorników wodnych o zróżnicowanej strukturze użytkowania terenów przyległych**

*Dawid Bedla, Andrzej Misztal*

*Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja, Kraków*

### **1. Wstęp**

Jedną z głównych przyczyn złej jakości wód jest zmiana pokrycia i użytkowania terenu jaka zaszła na przestrzeni ostatnich 300 lat. W tym czasie powierzchnia gruntów ornych wzrosła prawie sześciokrotnie. Rozwój cywilizacyjny przyczynił się także do zwiększenia powierzchni terenów utwardzanych i nieprzepuszczalnych [24]. W skali globalnej doprowadziło to do zmniejszenia wielkości ewapotranspiracji przy jednoczesnym zwiększeniu spływu powierzchniowego [5] co w konsekwencji przyczyniło się do nadmiernego zanieczyszczenia wód [23]. Zmiana struktury użytkowania gruntów w strefie przybrzeżnej cieków czy zbiorników wodnych jest szczególnie ważna w przypadku małych zlewni, często bowiem cały ich obszar przyczynia się do nadmiernego obciążenia wód substancjami biogennymi [4]. Stąd celowość badań jakości, czy chemizmu wód niewielkich zlewni (mikrozlewni) o zróżnicowanej strukturze użytkowania [25].

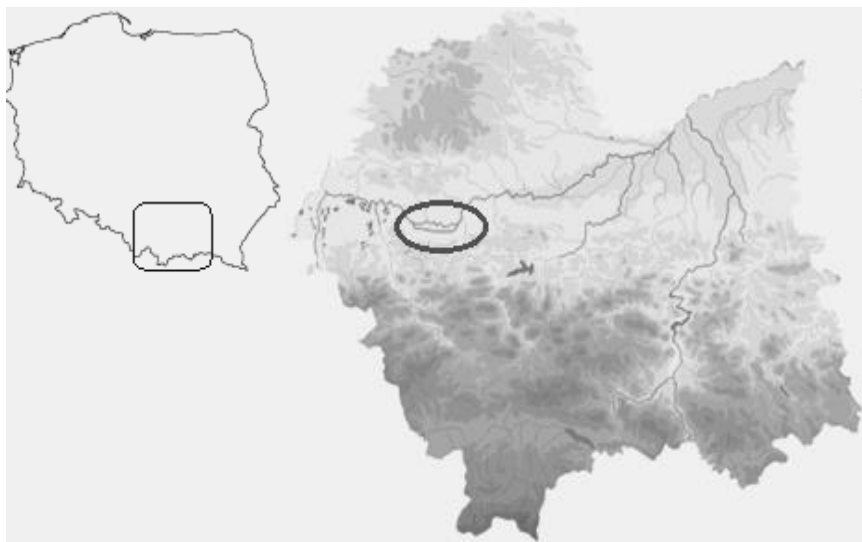
Większość prac badawczych dotyczących jakości wód lenitycznych odnosi się przede wszystkim do zbiorników pochodzenia glacialnego [20, 3], jezior wysokogórskich, bądź też zbiorników zaporowych [12, 22, 28, 30] zlokalizowanych w różnych częściach świata. Obiektami zainteresowań badawczych w prezentowanej pracy były niewielkie polimiktyczne zbiorniki wodne o dużych wahaniami stanów wód [11]. Skład fizykochemiczny wód takich zbiorników ulega dynamicznym zmianom,

a działalność człowieka, w tym użytkowanie terenu zlewni wpływa na zaburzenia naturalnej zmienności [6].

Celem pracy jest ocena jakości i sezonowych wahań wybranych wskaźników jakości wód małych zbiorników wodnych, o zróżnicowanym sposobie użytkowaniu ich zlewni. Założono, że sposób użytkowania terenu w otoczeniu badanych akwenów ma istotny wpływ na skład fizykochemiczny wód badanych akwenów.

## 2. Metodyka

Badania prowadzono w oparciu o cztery niewielkie akwenty bezodpływowe o zróżnicowanej formie użytkowania ich zlewni. Obiekty badań zlokalizowano w zlewniach o charakterze: osadniczo-rolniczym (Jeziorzany), rolniczym (Wołowice), leśnym (Bonar), rolniczo-leśnym (Kopalnia). Administracyjnie teren badań położony jest na obszarze gmin: Czernichów oraz Liszki w powiecie krakowskim, w zachodniej części Województwa Małopolskiego. Według regionalizacji fizyczno-geograficznej Polski [10] obszar badań należy do Bramy Krakowskiej, mezoregionu Rowu Skawińskiego (rys. 1, 2).



**Rys. 1.** Lokalizacja obszaru badań

**Fig. 1.** Location of the researched area



**Rys. 2.** Zbiorniki badawcze (1–4) na tle jednostek fizyczno-geograficznych

**Fig. 2.** Test reservoirs (1–4) against the background of physico-geographic units

Badania terenowe prowadzono od listopada 2008 do października roku 2011. Próby wody do analiz pobierano zawsze z tych samych punktów pomiarowo-kontrolnych. W terenie oznaczano w wodzie: pH, przewodność elektrolityczną właściwą (EC) oraz tlen rozpuszczony. W badaniach laboratoryjnych oznaczono stężenia w wodach: azotanów (V), azotanów (III) jonów amonowych, fosforanów, siarczanów, chlorków, jonów wapnia, magnezu, sodu i potasu. Do przeprowadzanych analiz statystycznych (testów istotności różnic oraz analiz wariancji) wykorzystano programy komputerowy Statistica 9.0. Istotność wahań sezonowych między półroczem zimowym i letnim wskaźników jakości wód oceniono z wykorzystaniem testu *t*-Studenta. Przy nie spełnianiu jego założeń stosowano nieparametryczny odpowiednik – test U Manna-Whitneya. Test ten nie wymaga homogeniczność wariancji ani też rozkładu normalnego, co jest jego zaletą. Dla oceny różnic sezonowych między zbiornikami przeprowadzono z kolei analizę wariancji ANOVA. Gdy nie zostały spełnione jej założenia wykonywano ANOVA RANG z testem Kruskala-Wallisa. Strukturę użytkowania terenu w otoczeniu zbiorników wykonano w oparciu o wektoryzację cyfrowych podkładów mapowych (ortofotomap).

## 2.1. Opis obiektów

Zbiornik wodny Jeziorzany zlokalizowany jest w dolinie Wisły w miejscowości Jeziorzany. Bezodpływowe zagłębienie obecnego akwenu powstało w wyniku zmian przebiegu koryta Wisły, na który wpływ miały prace regulacyjne rzeki, w tym budowa stopnia wodnego Kościuszeko w Krakowie. Powierzchnia akwenu wynosi 5,1 ha, a głębokość jest mało zróżnicowana i szacowana w przybliżeniu na 1–3 m. Największy udział w strukturze użytkowania gruntów w otoczeniu zbiornika stanowią grunty orne (34,4%), następnie użytki zielone (21%) oraz obszary zabudowane (16,5%), co decyduje o osadniczo-rolniczym charakterze struktury użytkowania terenu zlewni.

Zbiornik wodny Wołowice położony jest w dolinie Wisły, tworząc zakole jej dawnego koryta (starorzecze). Zagłębienie obecnego zbiornika powstało w następstwie zmian przebiegu koryta rzeki i eksploatacji żwiru. Powierzchnia akwenu wynosi 5,2 ha, a głębokość jest zróżnicowana i waha się między 1 a 5 m. W strukturze użytkowania zlewni zbiornika dominują grunty orne (60,9%), co przesądza o typowo rolniczym charakterze jej użytkowania.

Zbiornik wodny Bonar położony w dolinie lokalnego potoku Rudno (lewobrzeżny dopływ Wisły) w pobliżu kompleksu leśnego. Bezodpływowe zagłębienie zbiornika powstało w sposób sztuczny i jest przykładem zbiornika wyrobiskowego. Jego powierzchnia wynosi 1,4 ha, a średnia głębokość jest mało zróżnicowana i szacowana w przybliżeniu na 1,5 m. Dominującą formą użytkowania zlewni są lasy (56,1%) i trwałe użytki zielone (24,9%). Z tego względu zlewnię zbiornika uznano za typowo leśną.

Zbiornik wodny Kopalnia zlokalizowane jest również w zlewni potoku Rudno w niedalekiej odległości od miejscowości Przegonia Duchowna. Misa obecnego zbiornika powstała w miejscu dawnej eksploatacji surowców skalnych (piasku). Powierzchnia akwenu wynosi 1,1 ha, a głębokość jest zróżnicowana i szacowana w przybliżeniu na 1–4 m. Największy udział w strukturze użytkowania zlewni zbiornika stanowią lasy i tereny zadrzewione (47,8%) oraz grunty orne (25%), co decyduje o rolniczo-leśnym sposobie jej użytkowania.

### 3. Wyniki

W oparciu o uzyskane wyniki badań przeprowadzono dla każdego zbiornika ocenę stopnia zróżnicowania koncentracji badanych wskaźników jakości wody w półroczu zimowym i letnim. W przypadku zbiornika wodnego o osadniczo-rolniczym użytkowaniu zlewni stwierdzono, że odczyn pH, koncentracje rozpuszczonego tlenu, fosforanów, azotanów (V), chlorków, jonów potasu oraz przewodności elektrolitycznej właściwej (EC) różnicują wody zbiornika w sezonach letnim i zimowym. Szczególnie duże wahania stwierdzono dla anionów chlorkowych, których średnie koncentracje w wodzie w okresie letnim były o 50% wyższe w stosunku do półrocza zimowego. Poza wymienionymi pozostała grupa wskaźników nie różni w sposób istotny okresu letniego i zimowego.

Istotne sezonowe wahania stwierdzono dla koncentracji: azotanów (V), rozpuszczonego tlenu oraz pH w wodach rolniczego zbiornika wodnego usytuowanego w typowo rolniczej zlewni. Znaczące różnice dotyczyły pierwszego wskaźnika biogenego, bowiem w sezonie zimowym zanotowano niemal trzykrotnie wyższe zawartości  $\text{NO}_3^-$  w stosunku do półrocza letniego. Pewne wahania dotyczyły także koncentracji chlorków, co obrazuje duży rozstęp, tj. różnica między ich stężeniem maksymalnym i minimalnym anionów  $\text{Cl}^-$ , choć nie były to różnice statystycznie istotne.

W przypadku oceny różnic sezonowych w obrębie wód zbiornika o leśnym charakterze zlewni istotne różnice stwierdzono dla: pH, jonów amonowych, azotanów (V) i azotanów (III). Największa różnica dotyczyła koncentracji azotanów (V). Koncentracje pozostałych badanych substancji nie wykazały istotnych wahań między sezonami zimowym i letnim.

Dla wód zbiornika o zlewni rolniczo-leśnej średnie koncentracje rozpuszczanego tlenu, azotanów (III), azotanów (V), siarczanów oraz kationów potasu różnicują istotnie półrocze zimowe i letnie. W pozostałych przypadkach różnice nawet jeśli występowały nie były istotne.

**Tabela 1.** Wyniki testów *t*-Studenta i U Manna-Whitneya istotności różnic średnich koncentracji ( $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) wskaźników jakości wody w sezonach zimowych i letnich w zbiorniku Jeziorzany

**Table 1.** Results of *t*-Student and U Mann-Whitney tests of significance of mean concentrations ( $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) differences of water quality indices in winter and summer seasons in Jeziorzany reservoir

Wskaźnik Index	Śr zima mean winter	Śr lato mean summer	Max	Min	Test	
					<i>t</i> -Studenta	U Manna-Whitneya
pH	7,25	7,56	8,17	6,51	0,007*	-
O <sub>2</sub>	9,696	8,512	12,36	5,83	0,027*	-
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	0,035	0,042	0,264	0,010	<i>ns</i>	0,006*
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,218	0,097	1,04	0,010	0,085	-
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,065	0,060	0,231	0,005	0,777	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,932	1,199	8,79	0,010	0,010*	-
Cl <sup>-</sup>	65,083	92,651	235,5	39,21	<i>ns</i>	0,001*
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	50,721	53,210	77,2	26,80	0,518	-
EC	0,462	0,552	0,763	0,300	0,011*	-
Na <sup>+</sup>	47,995	57,691	97,00	18,63	0,057	-
Ca <sup>2+</sup>	71,684	73,122	91,60	30,80	0,739	-
Mg <sup>2+</sup>	7,212	7,659	12,40	4,95	0,310	-
K <sup>+</sup>	5,260	6,205	8,800	3,100	0,015*	-

*Objaśnienie:*

\* różnice istotne dla  $\alpha = 0,05$ ;

*ns* – nie spełnia założeń testu *t*-Studenta

*Explanation:* \*differences significant for  $\alpha = 0,05$ ;

*ns* – does not meet the assumptions of test *t*-Student

**Tabela 2.** Wyniki testów *t*-Studenta i U Manna-Whitneya istotności różnic średnich koncentracji ( $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) wskaźników jakości wody w sezonach zimowych i letnich w zbiorniku Wołowice

**Table 2.** Results of *t*-Student and U Mann-Whitney tests of significance of mean concentrations ( $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) differences of water quality indices in winter and summer seasons in Wołowice reservoir

Wskaźnik Index	Śr zima mean winter	Śr lato mean summer	Max	Min	Test	
					<i>t</i> -Studenta	U Manna-Whitneya
pH	7,28	7,84	9,13	6,65	0,000*	-
O <sub>2</sub>	10,25	8,70	12,58	6,12	0,003*	-
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,044	0,027	0,137	0,010	<i>ns</i>	0,074
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,078	0,045	0,239	0,010	0,175	-
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,051	0,052	0,228	0,005	<i>ns</i>	0,179
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,241	0,859	7,710	0,010	<i>ns</i>	0,005*
Cl <sup>-</sup>	47,232	53,723	181,4	22,6	0,445	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	58,176	54,929	76,30	19,20	0,527	-
EC	0,350	0,374	0,484	0,185	0,306	-
Na <sup>+</sup>	27,183	25,645	36,20	7,70	0,548	-
Ca <sup>2+</sup>	52,386	50,650	71,09	20,20	0,659	-
Mg <sup>2+</sup>	5,568	5,778	8,70	2,50	0,532	-
K <sup>+</sup>	4,672	4,794	6,354	2,700	0,661	-

*Objaśnienia: jak w tabeli 1*

*Explanation: like in table 1*

**Tabela 3.** Wyniki testów *t*-Studenta i U Manna-Whitneya istotności różnic średnich koncentracji ( $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) wskaźników jakości wody w sezonach zimowych i letnich w zbiorniku Bonar

**Table 3.** Results of *t*-Student and U Mann-Whitney tests of significance of mean concentrations ( $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) differences of water quality indices in winter and summer seasons in Bonar reservoir

Wskaźnik Index	Śr zima mean winter	Śr lato mean summer	Max	Min	Test	
					<i>t</i> -Studenta	U Manna-Whitneya
pH	7,32	7,77	8,24	6,4	0,000*	-
O <sub>2</sub>	9,56	8,99	12,17	6,33	0,240	-
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,038	0,018	0,219	0,010	<i>ns</i>	0,052
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,201	0,012	0,690	0,010	<i>ns</i>	0,002*
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,038	0,010	0,145	0,005	<i>ns</i>	0,012*
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,829	0,028	3,458	0,010	<i>ns</i>	0,000*
Cl <sup>-</sup>	8,477	9,352	32,20	3,21	0,580	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	18,261	14,044	34,02	7,60	0,057	-
EC	0,151	0,136	0,213	0,083	0,153	-
Na <sup>+</sup>	4,131	4,076	8,05	1,80	0,923	-
Ca <sup>2+</sup>	23,663	19,630	42,34	9,10	0,100	-
Mg <sup>2+</sup>	2,051	1,921	2,87	1,40	0,268	-
K <sup>+</sup>	2,798	2,458	4,700	1,800	0,097	-

*Objaśnienia: jak w tabeli 1*

*Explanation: like in table 1*



**Tabela 4.** Wyniki testów *t*-Studenta i U Manna-Whitneya istotności różnic średnich koncentracji ( $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) wskaźników jakości wody w sezonach zimowych i letnich w zbiorniku Kopalnia

**Table 4.** Results of *t*-Student and U Mann-Whitney tests of significance of mean concentrations ( $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) differences of water quality indices in winter and summer seasons in Kopalnia reservoir

Wskaźnik Index	Śr. zima mean winter	Śr. lato mean summer	Max	Min	Test	
					<i>t</i> -Studenta	U Manna-Whitneya
pH	7,26	7,34	7,96	6,52	0,361	-
O <sub>2</sub>	10,35	8,43	12,64	6,15	0,000*	-
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	0,035	0,048	0,405	0,010	0,586	0,800
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,030	0,023	0,250	0,010	0,732	0,296
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,015	0,008	0,066	0,005	<i>ns</i>	0,015*
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,370	0,025	1,654	0,010	<i>ns</i>	0,001*
Cl <sup>-</sup>	5,042	5,246	22,2	0,91	0,869	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	13,218	9,223	21,01	1,60	0,009*	-
EC	0,094	0,094	0,128	0,074	0,923	-
Na <sup>+</sup>	2,239	2,626	6,50	0,80	0,354	-
Ca <sup>2+</sup>	12,316	11,475	29,60	4,90	0,564	-
Mg <sup>2+</sup>	2,716	2,930	4,20	2,23	0,144	-
K <sup>+</sup>	3,810	4,550	6,200	1,230	0,020*	-

*Objaśnienia: jak w tabeli 1*

*Explanation: like in table 1*

Poza oceną chemizmu wód akwenów w sezonach zimowym i letnim przeprowadzono także analizę (w parach) zróżnicowania składu chemicznego wód między poszczególnymi zbiornikami (tabele 5, 6).

**Tabela 5.** Nieparametryczna ocena różnic stężeń badanych substancji w wodach akwenów w sezonie letnim

**Table 5.** Nonparametric assessment of differences of analyzed substances concentrations in the reservoir waters in summer season

Wskaźnik Index	ANOVA RANG K-W	Zbiorniki Reservoirs					
		test Kruskala-Wallisa Kruskal-Wallis test					
	K	1-2	1-3	1-4	2-3	2-4	3-4
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,00	0,77	0,00*	0,00*	0,043*	0,02*	1,00
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,00	0,51	0,00*	0,00*	0,69	0,34	1,00
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,00	1,00	0,04*	0,03*	0,56	0,46	1,00
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,06	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,00	1,00	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	1,00
Cl <sup>-</sup>	0,00	0,09	0,00*	0,00*	0,02*	0,00*	1,00
Ca <sup>2+</sup>	0,00	0,77	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,52
Mg <sup>2+</sup>	0,00	0,39	0,00*	0,00*	0,00*	0,08	0,47
Na <sup>+</sup>	0,00	0,02*	0,00*	0,00*	0,03*	0,00*	1,00
K <sup>+</sup>	0,00	0,23	0,00*	0,06	0,00*	1,00	0,02*
EC	0,00	0,15	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,52
pH	0,00	1,00	0,97	0,33	1,00	0,00*	0,00*

*Objaśnienia:*

\* różnice istotne dla  $\alpha = 0,05$ ;

Zbiorniki: 1 – Jeziorzany, 2 – Wołowice, 3 – Bonar, 4 – Kopalnia,

K – prawdopodobieństwo p testu Kruskala-Wallisa

Explanation: \* differences significant for  $\alpha = 0.05$ ,

Reservoirs: 1 – Jeziorzany, 2 – Wołowice, 3 – Bonar, 4 – Kopalnia,

K – probability p of Kruskal-Wallis tests

Z przeprowadzonej analizy wynika, iż najmniejsze różnice w składzie chemicznym wód odnotowano między akwenami o leśnym użytkowaniu terenów przylegających oraz rolniczo-leśnym użytkowaniu zlewni zbiornika. Jedynie koncentracja jonów potasu oraz wartość odczynu pH w sposób istotny różnicowała skład wód zbiorników i to tylko w sezonie letnim. Niewielki różnice pod względem składu chemicznego wód stwierdzono także pomiędzy akwenami o osadniczo-rolniczym i typowo rolniczym użytkowaniu terenów przyległych, gdzie statystycznie istotne różnice dotyczyły jedynie koncentracji kationów sodu w półroczu letnim.

**Tabela 6.** Nieparametryczna ocena różnic stężeń wybranych wskaźników wodach badanych akwenów w sezonie zimowym

**Table 6.** Nonparametric assessment of differences of analyzed substances concentrations in the reservoir waters in winter season

Wskaźnik Index	ANOVA RANG K-W	Zbiorniki/ Reservoirs					
		test Kruskala-Wallis Kruskala-Wallis test					
		K	1-2	1-3	1-4	2-3	2-4
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,00	1,00	0,01*	0,00*	0,04	0,00	1,00
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,00	1,00	0,06	0,00*	0,95	0,00*	0,94
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,00	1,00	1,00	0,00*	1,00	1,00	0,06
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,00	1,00	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	1,00
Cl <sup>-</sup>	0,00	0,61	0,00*	0,00*	0,11*	0,00*	0,95
Ca <sup>2+</sup>	0,00	0,18	0,00*	0,00*	0,01*	0,00*	0,69
Mg <sup>2+</sup>	0,00	0,44	0,00*	0,00*	0,00*	0,23	0,89
Na <sup>+</sup>	0,00	0,12	0,00*	0,00*	0,09	0,00	1,00
K <sup>+</sup>	0,00	1,00	0,00*	0,06	0,01*	0,97	0,65
EC	0,00	0,42	0,00*	0,00*	0,04*	0,00*	0,74
pH	0,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

*Objaśnienia: jak w tabeli 5*

*Explanation: like in table 5*

Największe statystycznie istotne wahania w składzie jonowym odnotowano między wodami zbiorników o osadniczo-rolniczej zlewni i akwenu śródleśnego. W półroczu letnim aż dziesięć spośród 12 badanych wskaźników różnicowało skład chemiczny wód obu zbiorników. W sezonie zimowym istotne wahania dotyczyły jednak tylko ośmiu z nich (tabela 6). Dla wód akwenów o osadniczo-rolniczej i rolniczo-leśnej zlewni różnic w sezonie letnim i zimowym nie stwierdzono dla koncentracji  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{K}^+$  jak i odczynu pH, a pozostałe wskaźniki różniły statystycznie wody akwenów, zarówno w sezonie zimowym jak i letnim.

Skład chemiczny wód śródpolnego zbiornika również odbiegał od wód akwenów zbiornika śródleśnego i akwenu o rolniczo-leśnej zlewni. Różnice te niezależnie od półrocza dotyczyły koncentracji:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , a także ogólnego zasolenia (EC). W półroczu letnim wystąpiły dodatkowo różnice dla stężenia  $\text{NO}_3^-$  między wodami zbiorników Wołowie i Bonar. Dla pozostałych biogenów nie stwierdzono takich różnic.

#### 4. Dyskusja

Analiza statystyczna uzyskanych wyników wskazuje jednoznacznie na zróżnicowanie koncentracji badanych wskaźników w wodach rozpatrywanych zbiorników wodnych, wyraźnie związane ze sposobem użytkowania terenu zlewni.

Negatywny wpływ terenów osadniczo-rolniczych na pogorszenie jakości wód szczególnie widoczny jest przy porównaniu chemizmu wód zbiornika zlokalizowanego w zlewni osadniczo-rolniczej z akwensem śródleśnym. Tereny zlewni osadniczo-rolniczej od pozostałych różnią największe przekształcenia antropogeniczne zlewni, w tym znaczny udział obszarów zabudowanych (tereny osadnicze, drogi) i rolniczych. Duży udział w strukturze użytkowania gruntów ornych i zabudowy jednoznacznie przekłada się na zmianę chemizmu wód, powodując głównie wzrost koncentracji  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  i  $\text{Na}^+$  a także ogólnego zasolenia (EC) zarówno w sezonie letnim jak i zimowym. Przyczyn takiej tendencji upatrywać należy w fakcie iż obecność terenów zurbanizowanych niesie poważne niebezpieczeństwo nie tyle obszarowego, co punktowego zanieczyszczenia wód powierzchniowych, na co w swoich badaniach zwracał również uwagę Ahearn i inn. [2]. Jak podają Wayland i in. [29] obecność obszarów zurbanizowanych przekłada się na podwyższone

koncentracje  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  i  $\text{Cl}^-$ . Natomiast aktywność rolnicza w zlewni wiąże się z podwyższonymi stężeniami w wodach powierzchniowych  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  a często także  $\text{SO}_4^{2-}$  i  $\text{K}^+$ . Podobne tendencje stwierdzono w trakcie prowadzonych badań, gdzie przykładowo maksymalne stężenie  $\text{Cl}^-$  w zbiorniku usytuowanym na obszarze zlewni o charakterze osadniczo-rolniczym wyniosło  $235,5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , zaś dla wód akwenu zlokalizowanego w terenie rolniczo-leśnym było ponad dziesięć razy niższe ( $22,2 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ). W przypadku wód zbiornika o zlewni osadniczo-rolniczej odnotowano także większe koncentracje fosforanów. Czego przyczyną jest nieuregulowana gospodarka wodno-ściekowa na terenie zlewni. Znacznie wyższe od uzyskanych dla wód omawianego zbiornika średnie koncentracje  $\text{PO}_4^{3-}$  na poziomie  $1,23 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  (przy maksymalnej wartości wynoszącej  $2,73 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) stwierdzili Misztal i Kuczera [17] w badaniach wód odpływających z terenów osadniczo-rolniczych. Z kolei niewielkie wahania stężeń fosforanów odnotowano dla wód akwenów z dużym udziałem seminaturalnych obszarów leśnych i użytków zielonych. Wyniki te są zgodne z doniesieniami Koca i Sidoruka [9] badający wody jezior o dużej lesistości zlewni: Bukwałd (30%) i Ardung (90%).

W wodzie zbiornika zlokalizowanego w zlewni o dominującym udziale gruntów ornych stwierdzono istotnie wyższe koncentracje: azotanów (V), rozpuszczonego tlenu w półroczu zimowym, natomiast w półroczu letnim pH. Na podkreślenie zasługują odnotowane niemal trzykrotnie wyższe stężenia jonów  $\text{NO}_3^-$  w półroczu zimowym w stosunku do letniego. Przyczyn takiego zróżnicowania upatrywać należy w podwyższonych ilościach pobieranego przez rośliny uprawne azotu w okresie ich rozwoju w półroczu letnim i nadmiernym wypłukiwaniem z nie pokrytej roślinnością gleby pól uprawnych w okresie poza wegetacyjnym. Na zróżnicowane pobieranie jonów  $\text{NO}_3^-$  przez rośliny w okresie wegetacji i zwiększone wymywanie poza nim zwracali także uwagę w swoich badaniach Koc i in. [8] oraz Stasik i in. [25] a także Twardy i in. [27].

Uważa się, iż procesami wpływającymi na wahania sezonowe związków azotu jest ich biologiczne wychwytywanie w strefie nadbrzeżnej, sedymentacja i denitryfikacja [18,19]. Szczykowska i Siemieniuk [26] zwracają uwagę, iż w czystych wodach powierzchniowych azotany (III) występują na ogół w nieznacznych stężeniach, a ich obecność może wskazywać na zachodzące procesy nitryfikacji i denitryfikacji. Nitryfikacja zachodząca w wodach nie powoduje istotnych zmian w koncentracji

rozpuszczonego azotu (zmienia się jedynie jego forma), natomiast zwiększenie może mieć miejsce podczas mineralizacji azotowych związków organicznych, zwłaszcza w ciepłym półroczu letnim [19]. Zależność taką potwierdziły między innymi badania wód płytkiego zbiornika wodnego w klimacie śródziemnomorskim [6], gdzie obok aktywności biologicznej dodatkowo wpływ na przemiany związków azotu miała wysoka temperatura w okresie letnim. Molenat i in. [18] oraz Liberacki [14] dodają, iż latem dochodzić może do większego zasilania w związki azotowe z płytkich wód gruntowych. Zwracają oni także uwagę na przebieg procesów biochemicznych w strefie brzegowej, zwłaszcza w okresie niskich stanów wód. Potwierdzeniem tego faktu są maksymalne ( $0,231 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ), jak i średnioroczne ( $0,063 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) koncentracje azotanów (III) odnotowano dla wód zbiornika o znacznym zurbanizowaniu zlewni.

O zależności koncentracji wybranych wskaźników jakości wód małych zbiorników wodnych od sposobu użytkowania ich zlewni świadczą także pośrednio odnotowane zbliżone zależności koncentracji substancji biogenych w wodach akwenu zlokalizowanego w zlewni o przewadze w strukturze jej użytkowania lasów i użytków zielonych i zlewni o przewadze terenów leśnych i użytków rolnych. Zbliżony rozkład stężeń związków biogenych jest wynikiem podobnych parametrów morfometrycznych oraz użytkowanie zlewni obu zbiorników.

Analizując sezonowe wahania koncentracji wybranych wskaźników jakości wody można wyróżnić trzy grupy charakterystyczne dla półrocza zimowego, letniego oraz nie wykazujące istotnych różnic między półroczami. Pierwszą z nich tworzą substancje notujące wyższe koncentracje w półroczu zimowym, są to związki biogenne: azotany (V), azotany (III), amoniak, a także tlen rozpuszczony oraz jony wapnia z wyłączeniem wartości średnich odnotowanych w półroczu zimowym w wodach zbiornika o osadniczo-rolniczym użytkowaniu terenu zlewni. Niższe stężenia rozpuszczalnych form azotu w wodach akwenu wystąpiły generalnie w okresie wegetacyjnym. Statystycznie wyższe koncentracje  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  oraz  $\text{NH}_4^+$  w półroczu zimowym w stosunku do letniego odnotowano w wodach zbiornika śródpolnego.  $\text{NO}_3^-$  i  $\text{NO}_2^-$  w akwenu o zlewni rolniczo-leśnej, zaś dla wód zbiorników w otoczeniu terenów osadniczo-rolniczych oraz pól uprawnych istotne różnice dotyczyły wyłącznie  $\text{NO}_3^-$ .

Sezonowe wahania wskaźników fizycznych takich jak koncentracja rozpuszczonego tlenu, czy pH są z kolei silnie skorelowane ze zmianą

temperatury powietrza i wód. Zdaniem Lamperta [13] rzeczywista ilość tlenu rozpuszczonego w wodzie jest pochodną temperatury, żyzności wód, a także wielu procesów biologicznych. Mimo, że dla wód wszystkich badanych zbiorników koncentracja  $O_2$  była wyższa w półroczu zimowym, to istotne statystycznie różnice między rozpuszczonym tlenem zanotowano w trzech spośród badanych akwenów: o zlewni osadniczo-rolniczej, w otoczeniu pól uprawnych i o rolniczo-leśnym charakterze użytkowania zlewni. Podobne wyniki uzyskali Miler i in. [15], którzy dla niewielkich zlewni w Wielkopolsce wykazali znacząco niższe nasycenie wód rozpuszczonym tlenem w miesiącach letnich i jesiennych (poziom około  $5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) w porównaniu do okresu przełomu zimy i wiosny, gdzie jego koncentracje przekraczały  $8 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Krytyczne minimum rozpuszczonego tlenu (poziom niezbędny dla podtrzymania życia w środowisku wód stojących) wynosi  $5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  [16].

Drugą grupę tworzą wskaźniki przyjmujące wyższe wartości latem niż zimą. W wodach badanych akwenów uzyskano podwyższoną koncentrację w półroczu letnim:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  i  $\text{Cl}^-$   $\text{SO}_4^{2-}$  oraz ogólnego zasolenia EC. Podobnie wyraźne wahania w wodach niektórych oczek wodnych dla stężeń kationów wapnia ( $\text{Ca}^{2+}$ ), sodu ( $\text{Na}^+$ ) oraz anionów chlorowych ( $\text{Cl}^-$ ), czy zasolenia (EC) wykazali w swoich badaniach Koc i in. [8]. Zdaniem Khazheeva i in. [7] wyższe wartości EC oraz koncentracje  $\text{Cl}^-$  i  $\text{SO}_4^{2-}$  w półroczu letnim substancji będących miarą zasolenia są pochodzenia antropogenicznego. W wodach niemal wszystkich badanych akwenów zanotowano wyższe wartości pH w półroczu letnim w stosunku do sezonu zimowego (w przypadku wód zbiornika o rolniczo-leśnym sposobie użytkowania zlewni różnice te nie były istotne). Podobne wyniki badań przedstawił Rak [22] badając wody zbiornika zaporowego Turawa. Wykazał on wyraźny wzrost odczynu pH w półroczu letnim, gdzie pH wód przyjmowały wartości w przedziale 8,2–9,6.

Ostatnią grupę stanowią koncentracje: fosforanów, siarczanów, kationów magnezu i sodu oraz poziom konduktancji (EC), których wyższe wartości obserwowano dla jednych akwenów w półroczu letnim, dla innych w zimowym. Nie przedstawiały więc one jednoznacznych prawidłowości sezonowych wahań w czasie półrocza letniego i zimowego.

Reasumując można najogólniej przyjąć, iż sposób użytkowania terenu zlewni niewielkich zbiorników wodnych ma zasadniczy wpływ na kształtowanie jakości ich wód.

## 5. Wnioski

1. Część badanych wskaźników jakości wód ( $O_2$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$ ,  $SO_4^{2-}$ ), podobnie jak odczyn wykazała istotne sezonowe wahania pomiędzy półroczami letnimi i zimowymi. Prawdopodobnie wynika to ze zmiennych warunków atmosferycznych w poszczególnych półroczach.
2. Wyższe koncentracje w półroczu zimowym związków azotowych może wskazywać na wzmożone ich zapotrzebowania w półroczu letnim. W okresie zimy, kiedy wegetacja jest zahamowana, następuje wyraźna odbudowanie zapasów rozpuszczonych w wodach soli azotowych.
3. Skład chemiczny wód akwenów obok naturalnych wahań sezonowych spowodowanych czynnikami klimatycznymi i oddziaływaniem środowiska biologicznego jest modyfikowany przez czynnik antropogeniczny, zwłaszcza w sezonie letnim o zwiększonej aktywności działań człowieka w obrębie zlewni.
4. Uzyskane wyniki wskazują na użytkowanie terenu zlewni jako czynnik modyfikujący stężenia badanych jonów, zwłaszcza odpowiedzialnych za zasolenie wód, a szczególnie w przypadku zbiorników usytuowanych w zlewniach osadniczo-rolniczych.
5. Złożoność środowiskowych procesów przestrzennych sprawia, że jednoznaczne wskazanie przyczyn wahań sezonowych rozpuszczonych w wodzie substancji jest utrudnione, a czasem wręcz niemożliwe.

## Literatura

1. **Acosta J.A., Faz A., Martinez S., Zornoza R., Carmona D.M. Kabas S.:** *Multivariate statistical and GIS –based approach to evaluate heavy metals behavior in mine sites for future reclamation.* Journal of Geochemical Exploration 109, 8–17 (2011).
2. **Ahearn D., Sheibley R., Dahlgren R., Anderson M., Johnson J., Tate K.:** *Land use and land cover influence on water quality in the last free-flowing river draining the western Sierra Nevada, California.* Journal of Hydrology 313, 234–247 (2005).
3. **Arle J.:** *Physical and chemical dynamics of temporary ponds on a calcareous plateau in Thuringia, Germany.* Limnologica 32, 83–101 (2002).



4. **Buck O, Niyogi D.K., Townsend C.R.:** *Scale-dependence of land use effects on water quality of streams in agricultural catchments.* Environmental Pollution 130, 287–99 (2004).
5. **Favreau G., Cappelaere B., Massuel S., Leblanc M., Boucher M., Bou-lain N., Leduc C.:** *Land clearing, climate variability and water resources increase in semiarid southwest Niger: A revive.* Water Resources Research. 45, issue 7, 1–18 (2009).
6. **Kagaloua, E. Papastergiadoub, I. Leonardosa.:** *Long term changes in the eutrophication process in a shallow Mediterranean lake ecosystem of W. Greece: Response after the reduction of external load.* Journal of Environmental Management 87, 497–506 (2008).
7. **Khazheeva Z. I., Tulokhonov A. K., Dashibalova L.T.:** *Seasonal and spatial dynamics of TDS and major ions in the Selenga River Water Resource.,* 34 (4), 444–449 (2007).
8. **Koc J., Procyk Z., Szymczyk S.:** *Czynniki kształtujące jakość wód powierzchniowych obszarów wiejskich.* Konferencja Naukowo-Techniczna IMUZ, 222–229. Falenty 1997.
9. **Koc J., Sidoruk M.:** *Wpływ użytkowania zlewni na ładunek fosforu dopływający do jezior z wodami powierzchniowymi.* Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych., 505, 159–167, PAN Warszawa 2005.
10. **Kondracki J.:** *Geografia regionalna Polski.* PWN Warszawa 2002.
11. **Korytowski D.:** *Charakterystyka śródlęśnych oczek wodnych na terenie leśnego zakładu doświadczalnego Siemianice.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 13, 1847–1864, Koszalin 2011.
12. **Kostecki M., Suschka J.:** *The Successful Results of Pławniowice Reservoir (Upper Silesia Region – South of Poland) Restoration by Hypolimnetic Withdrawal* Archives of Environmental Protection. Volume 39, Issue 1, 17–25 (2013).
13. **Lampert S.:** *Ekologia wód śródlądowych.* PWN, 416. Warszawa 2001.
14. **Liberacki D.:** *Dynamika zmian stanów wód gruntowych i uwilgotnienia gleb siedlisk leśnych w zlewni ciekę Hutka.* Rocznik Ochrona Środowiska 13, 1927–1942, Koszalin 2011.
15. **Miler A., Liberacki D., Plewiński D.:** *Ocena jakości wód na wybranych obszarach nizinnych o zróżnicowanym zalesieniu.* Zeszyty Naukowe Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Koszalińskiej, nr 20, 683–691, Koszalin 2001.
16. **Mishra R., Rath B., Thatoi H.:** *Water. quality assessment of aquaculture ponds located in Bhitarkanika Mangrove ecosystem, Orissa, India.* Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 8, 71–77, Yomra, Turkey 2008.

17. **Misztal A., Kuczera M.:** *The impact of land use on the water quality of foothill micro-catchment areas.* Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Land Reclamation No. 40, 27–37, Warszawa 2008.
18. **Molenat J., Gascuel-Oudoux C., Ruiz L., Gruau G.:** *Role of water table dynamics on stream nitrate export and concentration in agricultural head-water catchment.* Journal of Hydrology 348, 363–378 (2008).
19. **Piedrahita R.:** *Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation.* Aquaculture 226, 35–44 (2003).
20. **Pieńkowski P.:** *Analiza rozmieszczenia oczek wodnych oraz zmian w ich występowaniu na obszarze Polski północno-zachodniej.* Rozprawy habilitacyjne. Wyd. AR w Szczecinie, Szczecin 2003.
21. **Pratt B.:** *Effects of land cover, topography, and built structure on seasonal water quality at multiple spatial scales.* Journal of Hazardous Materials. 209–210, 48–58 (2012).
22. **Rak A.:** *Analiza zmian podstawowych wskaźników eutrofizacji wód w zbiorniku retencyjnym Turawa.* Gaz. Woda i Technika Sanitarna (10), 396–399, Warszawa 2011.
23. **Scanlon B.R., Reedy R.C., Stonestorm D.A., Prudic D.E., Dennehy K.F.:** *Impact of land use and land cover change on groundwater recharge and quality in the southwestern US.* Global Change Biology. Volume 11, issue 10, 1577–1593 (2005).
24. **Scanlon B.R., Jolly I., Sophocleous M., Zhang L.:** *Global impacts of conversions from natural to agricultural ecosystems on water resources: Quantity versus quality.* Water Resources Research, volume 43, issue 3, 1–18 (2007).
25. **Stasik R., Szafranski C., Korytowski M., Liberacki D.:** *Kształtowanie się zasobów wodnych w małych zlewniach leśnych na obszarze Wielkopolski.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection) 13, 1679–1696, Koszalin 2011.
26. **Szczykowska J., Siemieniuk A.:** *Ocena jakości wód wybranych zbiorników małej retencji województwa podlaskiego.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. PAN oddz. w Krakowie, nr 5/2008. 5–12, Kraków 2008.
27. **Twardy S., Kopacz M., Jaguś A.:** *Charakterystyka przyrodnicza zlewni Grajcarka ze szczególnym uwzględnieniem środowiska wodnego i użytkowania terenu.* Wyd. IMUZ Falenty, Kraków, 88 (2002).
28. **Varola M., Gökotb B., Bekleyenb A., Şenc B.:** *Spatial and temporal variations in surface water quality of the dam reservoirs in the Tigris River basin, Turkey.* CATENA, Volume 92, 11–21 (2012).
29. **Wayland K., Long D., Hyndman D., Pijanowski B., Woodhams S., Haack K.:** *Identifying relationships between baseflow geochemistry and*

*land use with synoptic sampling and R-Mode factor analysis.* Journal of Environmental Quality, 32, 180–190, Madison 2003.

30. **Widziewicz K., Loska K.:** *Multivariate Statistical Analyses on Arsenic Occurrence in Rybnik Reservoir* Archives of Environmental Protection Volume 38, Issue 2, 11–23 (2012).

## **Changeability of Chemistry of Small Water Reservoirs with Diversified Use Structure of the Adjoining Areas**

### **Abstract**

Physicochemical composition of surface waters is a dynamic phenomenon, among others dependent on climatic and biological factors. Human utilization, including the use of catchment area definitely affects the disturbances of this natural changeability. Small water reservoirs are particularly sensitive to anthropopressure, susceptible to degradation and in extreme cases even to disappearance.

The object of research was an assessment of differences in concentrations of selected water quality indices in the reservoirs in catchments of various land use and their seasonal changes. In order to realize the assumed objective, four endorheic basins with various forms of land use in their vicinity, including settlement and agricultural, agricultural, agro-forestry and forestry catchments were selected. The research demonstrated that some of the substances tested in the waters of the discussed reservoirs ( $O_2$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$  and  $SO_4^{2-}$ ), like pH, revealed significant seasonal fluctuations between the summer and winter half years. A possible cause of this phenomenon may result from variable atmospheric conditions in respective half years. Lower concentration of nitrogen compounds in the summer half-year may be explained by their intensified uptake by vegetation. In the winter period, when vegetation is inhibited, a clear reconstruction of dissolved nitrogen salt resources ensues. The use, as the factor modifying fluctuations of the analyzed ions concentrations, was best noticeable for reservoirs located in settlement and agricultural or agricultural catchment. The changes referred especially to water salinity indices. It should be noted, that the complexity of the environmental spatial processes causes that explicit indicating the causes of seasonal fluctuations of the substances dissolved in water is complicated.

**Słowa kluczowe:** małe zbiorniki wodne, wskaźniki jakości wód

**Key words:** small water reservoirs, water quality indices