

SEBASTIAN R. BIELAK*, KAROLINA BOREK, KATARZYNA PIJAR,
KAROLINA STASZKIEWICZ**

ZASTOSOWANIE MAKROFITÓW W OCENIE I KLASYFIKACJI STANU EKOLOGICZNEGO WYŻYNNYCH RZEK I POTOKÓW POŁUDNIOWEJ POLSKI, ZGODNEJ Z WYMAGANIAMI RAMOWEJ DYREKTYWY WODNEJ

APPLICATION OF MACROPHYTES IN ASSESSMENT AND CLASSIFICATION OF ECOLOGICAL STATE OF UPLAND RIVERS AND STREAMS IN SOUTH POLAND, IN ACCORDANCE WITH REQUIREMENTS OF THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE

Streszczenie

W niniejszym artykule podjęto próbę powiązania przydatności roślin wodnych – jako biowskaźników poziomu zeutrofizowania wód płynących – z obserwacjami dotyczącymi wpływu zmian w hydromorfologii cieków na różnorodność gatunkową występujących w nich makrofitów. Badania przeprowadzono na czterech wyżynnych rzekach i potokach południowej Polski. Wyniki badań wskazują, że nieznaczne przekształcenia antropogeniczne w korytach rzecznych powodują wzrost różnorodności gatunkowej makrofitów w stosunku do warunków naturalnych, natomiast zaawansowane modyfikacje wywołują degradację ekologiczną cieków. Wyniki oceny wskazują też na potrzebę rozwoju Makrofitowej Metody Oceny Rzek w kierunku identyfikacji bezpośrednich powiązań pomiędzy wartością Makrofitowego Indeksu Rzecznego a stanem fizyczno-chemicznym wód powierzchniowych

Słowa kluczowe: stan ekologiczny, makrofity, jakość wód powierzchniowych, Ramowa Dyrektywa Wodna, ciekii wyżynne

Abstract

In this paper an effort has been taken to bind usefulness of water plants – as bioindicators of running waters eutrophication – with observations concerning influence of modifications in hydromorphology of watercourses on species diversity of macrophytes occurring in them. Research was conducted in four upland rivers and streams located in south Poland. Research results indicate that slight anthropogenic modifications in river channels cause increase of macrophyte species diversity in relation to natural conditions, but advanced modifications cause ecological degradation of watercourses below the level of initial stage. Results of assessment also indicate that there is a need of developing the Macrophyte Method of River Assessment in direction of immediate connections between the value of Macrophyte River Index and physicochemical state of surface waters

Keywords: ecological state, macrophytes, surface water quality, Water Framework Directive, upland watercourses

* Dr inż. Sebastian R. Bielak, Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

** Inż. Karolina Borek, inż. Katarzyna Pijar, inż. Karolina Staszkievicz, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Dyrektywa Unii Europejskiej 2000/60/WE z dnia 23 października 2000 r., zwana potocznie Ramową Dyrektywą Wodną (RDW), wprowadziła nowy sposób przeprowadzania oceny wód przez porównanie stanu Jednolitych Części Wód Powierzchniowych (JCWP) ze stanem referencyjnym, który w założeniu ma być najbliższy stanowi całkowicie naturalnemu [4]. Wody powierzchniowe poddawane klasyfikacji traktuje się jako składnik złożonego ekosystemu rzecznoego, który jest środowiskiem życia zarówno ichtiofauny, jak i też roślinności wodnej, bezkręgowców oraz innych organizmów wodnych.

Zapisy RDW dotyczące oceny i klasyfikacji jakości wód powierzchniowych zostały prze-transponowane do polskiego prawodawstwa za pomocą Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych [10] oraz Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego jednolitych części wód powierzchniowych [11].

Z przepisów tych wynika, że aby móc skutecznie chronić wody powierzchniowe, naj-pierw należy określić ich aktualny stan ekologiczny, o którym decydują biologiczne ele-menty jakości, takie jak: skład i liczebność flory wodnej (makrofity i fitobentos); skład, liczebność i struktura wiekowa ichtiofauny; skład i liczebność makrobezkręgowców bento-sowych oraz skład i liczebność fitoplanktonu. Jako element wspierający wykorzystuje się również ocenę stanu hydromorfologicznego oraz ocenę stanu fizyczno-chemicznego bada-nej JCWP [10].

Artykuł dotyczy oceny stanu biocenoz rzecznych, opartej na makrofitach będących pod-stawowym elementem klasyfikacji biologicznej stosowanej w ocenie stanu ekologicznego wód powierzchniowych [10]. Użycie makrofitów pozwala na ściśle powiązanie jakości bio-topu z jakością biocenozy wód płynących. Zastosowanie roślinności wodnej jako biowskaź-nika jakości ekologicznej środowiska rzecznoego dotyczy stanowisk w dorzeczu górnej Wisły i zostało uzupełnione oceną elementów abiotycznych (morfologicznych) tegoż środowiska, szczegółowo przedstawioną w publikacji *Zastosowanie metody River Habitat Survey w oce-nie i klasyfikacji stanu hydromorfologicznego rzek i potoków południowej Polski, zgodnej z wymaganiami Ramowej Dyrektywy Wodnej* [2].

W klasyfikacji stanu ekologicznego wód płynących ocena hydromorfologiczna ma cha-rakter pomocniczy – istotny z punktu widzenia możliwości utrzymania i rozwoju okre-ślonych biocenoz. Połączenie badań makrofitowych z hydromorfologicznymi wskazało na interpretacyjną lukę w zakresie powiązania czynników abiotycznych z biotycznymi w generalnej klasyfikacji ekologicznej stanu wód powierzchniowych. W niniejszym artyku-le uwagę skupiono na obecności i różnorodności gatunkowej makrofitów z uwzględnieniem uproszczonej oceny elementów morfologicznych tylko tych odcinków cieków, na których przeprowadzono badania makrofitowe. Uzyskane wyniki badań pozwoliły na wykazanie powiązania stanu fizyczno-chemicznego, hydromorfologicznego i biologicznego badanych cieków.

2. Metodyka i zakres badań

Badania przeprowadzono w drugiej połowie sierpnia 2011 r. na 12 stanowiskach pomiarowych zlokalizowanych na 4 wyżynnych rzekach i potokach (Nida, Ostra, San i Skawica), rozmieszczonych w różnych częściach południowej Polski, tj. w Małopolsce, na Podkarpaciu oraz w woj. świętokrzyskim (rys. 1). Każdy ciek był badany w ramach jednej Jednolitej Części Wód Powierzchniowych, a jego ocena ogólna opierała się na pomiarach z trzech stanowisk, które odzwierciedlały różny stopień przekształceń antropogenicznych koryta oraz doliny rzecznej. Takie podejście pozwalało zdobyć dane jakościowe, które były reprezentatywne dla całej JCWP. Lokalizacja poszczególnych stanowisk badawczych, wraz z kodami JCWP, współrzędnymi geograficznymi oraz typami abiotycznymi cieków zostały zaprezentowane w tabeli 1.

Tabela 1

Charakterystyka cieków badawczych, JCWP oraz stanowisk pomiarowych

Nazwa ciek	Typ abiotyczny*	Jednolita Część Wód Powierzchniowych*	Stanowisko pomiarowe	Charakter stanowiska	Współrzędne geograficzne
Nida	średnia rzeka wyżynna-zachodnia (typ 10)	silnie zmieniona nr PLRW20001021699	Pińczów	przekształcone	N 50°30'53", E 20°31'08"
			Chroberz	seminaturalne	N 50°25'38", E 20°33'33"
			Kobylniki	naturalne	N 50°22'53", E 20°38'46"
Ostra	potok fliszowy (typ 12)	naturalna nr PLRW200012218749	Braciejowa	naturalne	N 49°58'34", E 21°26'49"
			Gumniska I	seminaturalne	N 50°02'32", E 21°25'26"
			Gumniska II	przekształcone	N 50°00'18", E 21°23'44"
San	średnia rzeka wyżynna-wschodnia (typ 15)	silnie zmieniona nr PLRW20001522379	Bachów	naturalne	N 49°47'17", E 22°29'15"
			Iskań	seminaturalne	N 49°47'38", E 22°26'29"
			Wybrzeże	przekształcone	N 49°48'39", E 22°23'17"
Skawica	potok fliszowy (typ 12)	silnie zmieniona nr PLRW2000122134499	Zawoja	przekształcone	N 49°39'37", E 19°33'18"
			Skawica	seminaturalne	N 49°40'38", E 19°36'31"
			Białka	naturalne	N 49°42'14", E 19°41'01"

* Źródło danych: [6].



Rys. 1. Lokalizacja stanowisk pomiarowych

Fig. 1. Location of measurement sites

Do biologicznej oceny analizowanych JCWP została wykorzystana Makrofitowa Metoda Oceny Rzek (MMOR), która pozwala na określenie stopnia degradacji wód płynących przede wszystkim w odniesieniu do ich trofii, wykorzystując do tego celu 153 gatunki roślin wskaźnikowych, w tym: glony, mchy, wątrobowce, rośliny naczyniowe oraz paprotniki [15]. Metoda ta jest powszechnie stosowana w Polsce do oceny jakości wód powierzchniowych zgodnej z wymaganiami RDW, zarówno cieków nizinnych [7, 13], jak i wyżynnych oraz górskich [9].

Badania terenowe opierały się na opisie stanowisk pomiarowych, tj. reprezentatywnych dla danej JCWP odcinków o długości 100 m, który zawierał: ilościową oraz jakościową ocenę składu gatunkowego występujących w nim roślin wodnych, dokumentację fotograficzną, charakterystykę abiotyczną cieku oraz szkic terenu. Opis stanowisk pomiarowych został wykonany w oparciu o specjalny formularz terenowy stosowany w metodzie MMOR, tzw. raport dla rzek wyżynnych i górskich.

Na podstawie przeprowadzonej oceny składu gatunkowego makrofitów oraz ich obfitości obliczono wartości liczbowe, tzw. Makrofitowego Indeksu Rzecznego (MIR), które odniesione do wartości referencyjnych dla danego typu abiotycznego rzeki lub potoku pozwoliły na ocenę stanu ekologicznego w rozumieniu RDW [10]. Indeks MIR wyliczono wg następującego wzoru [15]:

$$\text{MIR} = \frac{\sum (L_i \cdot W_i \cdot P_i)}{\sum (W_i \cdot P_i)} \cdot 10 \quad (1)$$

gdzie:

L_i – liczba wartości wskaźnikowej danego gatunku makrofitu. Wyraża ona średni poziom trofii środowiska wodnego, w którym występuje dany takson i waha się w przedziale o 1 do 10. Niskie wartości wskaźnikowe oznaczają, że dany gatunek

preferuje wody eutroficzne, natomiast wysokie wartości wskazują na wody oligotroficzne;

W_i – współczynnik wagowy danego gatunku makrofitu, który jest miarą jego tolerancji ekologicznej. Współczynnik ten przyjmuje wartości od 1 dla gatunków o szerokim zakresie tolerancji na zmiany w środowisku (eurytopowych) do 3 dla gatunków o wąskim zakresie tolerancji (stenotopowych);

P_i – współczynnik pokrycia dna przez dany gatunek makrofitu, wg 9-stopniowej skali.

Zasady klasyfikacji cieku w oparciu o wskaźnik MIR są identyczne dla wszystkich typów rzek występujących w Polsce, a jedyna różnica przejawia się w różnych wartościach granicznych poszczególnych klas stanu ekologicznego.

3. Wyniki badań

3.1. Charakterystyka makrofitowa stanowisk pomiarowych

W poszczególnych ciekach zidentyfikowano od 8 do 15 gatunków wskaźnikowych roślin wodnych, co należy uznać za liczbę wystarczająco dużą do przeprowadzenia oceny jakości ekologicznej w oparciu o makrofity. Oznaczone gatunki przedstawiono w tabelach 2–5 wraz z wartościami wskaźnikowymi, współczynnikami wagowymi oraz współczynnikami pokrycia stosowanymi w metodzie MMOR.

W rzece Nidzie, w granicach silnie zmienionej JCWP nr PLRW20001021699, zidentyfikowano łącznie 13 gatunków makrofitów. Dominującą grupę (54% wszystkich gatunków) stanowiły rośliny naczyniowe zanurzone (jedno- i dwuliścienne), niewiele mniejszy udział miały rośliny naczyniowe wynurzone jednoliścienne (46%). Gatunkami, które pojawiały się najczęściej, tzn. zidentyfikowano je we wszystkich trzech odcinkach badawczych, były: rogatek sztywny (*Ceratophyllum demersum*), manna jadalna (*Glyceria fluitans*), mozga trzcinowata (*Phalaris arundinacea*), rdestnica nawodna (*Potamogeton nodosus*), jeżogłówka pojedyncza (*Sparganium emersum*) oraz jeżogłówka gałęzista (*Sparganium erectum*) (tab. 2).

W rzece Ostrej, w granicach naturalnej JCWP nr PLRW200012218749, zidentyfikowano łącznie 15 gatunków makrofitów. Dominującą grupę (40% wszystkich gatunków) stanowiły rośliny naczyniowe wynurzone jednoliścienne, niewiele mniejszy udział miały rośliny naczyniowe wynurzone dwuliścienne (33%). Z pozostałych grup roślin wodnych swoją obecność zaznaczyły glony (13%), mchy (7%) oraz paprotniki (7%). Gatunkami, które pojawiały się najczęściej były: gałęzatką (*Cladophora sp.*), woszeria (*Vaucheria sp.*), manna jadalna (*Glyceria fluitans*), rdest plamisty (*Polygonum persicaria*) oraz przetacznik bobowiczek (*Veronica beccabunga*) (tab. 3).

W rzece San, w granicach silnie zmienionej JCWP nr PLRW20001522379, zidentyfikowano łącznie 8 gatunków makrofitów. Dominującą grupę (37,5% wszystkich gatunków) stanowiły rośliny naczyniowe zanurzone, następnie glony i rośliny naczyniowe wynurzone dwuliścienne (po 25%) oraz rośliny naczyniowe wynurzone jednoliścienne (12,5%). Gatunkami, które pojawiały się najczęściej były: glon gałęzatką (*Cladophora sp.*), mozga trzcinowata (*Phalaris arundinacea*) oraz wywłócznik kłosowy (*Myriophyllum spicatum*) (tab. 4).

Tabela 2

Jakościowa oraz ilościowa charakterystyka makrofitów w rzece Nidzie [3]

Lp.	Gatunek rośliny wskaźnikowej	L_i	W_i	Odcinek badawczy ciek		
				Pińczów	Chroberz	Kobylniki
				Współczynnik pokrycia (P_i)		
1	Jeżogłówka gałęzista (<i>Sparganium erectum</i>)	3	1	1	3	2
2	Jeżogłówka pojedyncza (<i>Sparganium emersum</i>)	4	2	1	4	3
3	Manna jadalna (<i>Glyceria fluitans</i>)	5	2	2	1	2
4	Mozga trzcinowata (<i>Phalaris arundinacea</i>)	2	1	4	3	5
5	Oczeret jeziorny (<i>Scirpus lacustris</i>)	4	2	0	1	0
6	Rdestnica grzebieniasta (<i>Potamogeton pectinatus</i>)	1	1	0	1	0
7	Rdestnica kędzierzawa (<i>Potamogeton crispus</i>)	4	2	1	1	0
8	Rdestnica nawodna (<i>Potamogeton nodosus</i>)	3	2	1	5	2
9	Rogatek sztywny (<i>Ceratophyllum demersum</i>)	2	3	1	3	2
10	Spirodella wielokorzeniowa (<i>Spirodela polyrhiza</i>)	2	2	1	0	1
11	Strzałka wodna (<i>Sagittaria sagittifolia</i>)	4	2	0	1	0
12	Wywłócznik kłosowy (<i>Myriophyllum spicatum</i>)	3	2	0	1	0
13	Wywłócznik okółkowy (<i>Myriophyllum verticillatum</i>)	5	2	0	2	3
MAKROFITOWY INDEKS RZECZNY				31,50	32,50	33,71

Tabela 3

Jakościowa oraz ilościowa charakterystyka makrofitów w rzece Ostrej [8]

Lp.	Gatunek rośliny wskaźnikowej	L_i	W_i	Odcinek badawczy ciek		
				Braciejowa	Gumniska I	Gumniska II
				Współczynnik pokrycia (P_i)		
1	Brzeźnik strumieniowy (<i>Platyhypnidium riparioides</i>)	5	1	0	0	2
2	Gałęzka (<i>Cladophora sp.</i>)	1	2	5	4	9
3	Jeżogłówka gałęzista (<i>Sparganium erectum</i>)	3	1	0	0	1
4	Manna jadalna (<i>Glyceria fluitans</i>)	5	2	3	2	4
5	Mięta wodna (<i>Mentha aquatica</i>)	5	1	2	0	0
6	Mozga trzcinowata (<i>Phalaris arundinacea</i>)	2	1	2	0	0

cd. tab. 3

7	Przetacznik bobowniczek (<i>Veronica beccabunga</i>)	4	1	3	2	2
8	Rdest ostrogorzki (<i>Polygonum hydropiper</i>)	3	1	0	1	1
9	Rdest plamisty (<i>Polygonum persicaria</i>)	2	2	2	1	1
10	Rukiew wodna (<i>Nasturtium officinale</i>)	5	2	1	0	0
11	Skrzyp błotny (<i>Equisetum palustre</i>)	5	2	1	0	0
12	Turzyca pęcherzykowata (<i>Carex vesicaria</i>)	6	2	0	1	1
13	Turzyca prosowa (<i>Carex paniculata</i>)	5	1	0	2	0
14	Turzyca zaostrozona (<i>Carex acuta</i>)	5	1	5	0	0
15	Woszeria (<i>Vaucheria sp.</i>)	2	1	1	3	3
MAKROFITOWY INDEKS RZECZNY				32,70	29,58	26,67

Tabela 4

Jakościowa oraz ilościowa charakterystyka makrofitów w rzece San [12]

Lp.	Gatunek rośliny wskaźnikowej	L_i	W_i	Odcinek badawczy ciek		
				Bachów	Iskań	Wybrzeże
				Współczynnik pokrycia (P_i)		
1	Gałęzotka (<i>Cladophora sp.</i>)	1	2	5	6	2
2	Mozga trzcinowata (<i>Phalaris arundinacea</i>)	2	1	5	3	4
3	Przetacznik bobownik (<i>Veronica anagallis-aquatica</i>)	4	2	0	5	0
4	Rdestnica drobna (<i>Potamogeton pusillus</i>)	4	2	2	0	0
5	Rdestnica kędzierzawa (<i>Potamogeton crispus</i>)	4	2	3	0	0
6	Rdest plamisty (<i>Polygonum persicaria</i>)	2	2	0	2	0
7	Woszeria (<i>Vaucheria sp.</i>)	2	1	0	1	6
8	Wywłócznik kłosowy (<i>Myriophyllum spicatum</i>)	3	2	8	7	3
MAKROFITOWY INDEKS RZECZNY				26,34	25,00	21,00

W rzece Skawicy, w granicach silnie zmienionej JCWP nr PLRW2000122134499, zidentyfikowano łącznie 8 gatunków makrofitów. Dominującą grupę (50% wszystkich gatunków) stanowiły glony, znacznie mniejszy udział miały mchy (37,5%), natomiast z pozostałych grup roślin wodnych swoją obecność (12,5%) zaznaczyły tylko rośliny naczyniowe wynurzone dwuliścienne. Gatunkiem, które pojawiał się najczęściej była gałęzotka (*Cladophora sp.*) (tab. 5).

Jakościowa oraz ilościowa charakterystyka makrofitów w rzece Skawicy

L.p.	Gatunek rośliny wskaźnikowej	L_i	W_i	Odcinek badawczy ciek		
				Zawoja	Skawica	Białka
				Współczynnik pokrycia (P_i)		
1	Brzeźnik strumieniowy (<i>Platyhypnidium riparioides</i>)	5	1	5	0	0
2	Gałęzotka (<i>Cladophora sp.</i>)	1	2	4	8	6
3	<i>Mougeotia sp.</i>	3	1	0	0	2
4	Moczarnik błotny (<i>Hygrohypnum luridum</i>)	9	2	0	3	0
5	Mozga trzcinowata (<i>Phalaris arundinacea</i>)	2	1	0	1	1
6	Skrętnica (<i>Spirogyra sp.</i>)	4	1	0	0	3
7	Wiewiórecznik (<i>Sciuro-hypnum plumosum</i>)	9	3	3	0	0
8	Wstężnica (<i>Ulothrix sp.</i>)	4	1	2	0	0
MAKROFITOWY INDEKS RZECZNY				40,67	31,30	17,78

3.2. Charakterystyka abiotyczna stanowisk pomiarowych

Opis warunków hydromorfologicznych panujących w korytach badanych cieków, w tym ocena stopnia przekształceń antropogenicznych, wykonane równolegle z badaniami makrofitowymi na wszystkich stanowiskach pomiarowych, pozwoliły na sporządzenie uproszczonej charakterystyki abiotycznej siedliska. Wyniki tej charakterystyki zostały zaprezentowane w tabeli 6.

Tabela 6

Uproszczona charakterystyka hydromorfologiczna odcinków badawczych

Nazwa ciek	Odcinek badawczy	Szerokość lustra wody [m]	Głębokość ciek [m]	Substrat dna		Modyfikacje koryta (% długości stanowiska badawczego)
				dominujący	uzupełniający	
Nida	Pińczów	> 20	> 1	piasek	muł	umocnienie (30%), profilowanie (70%)
	Chroberz	5–20	0,1–1	piasek	muł, kamyki, żwir	zaśmiecenie (20%)
	Kobylniki	5–20	0,1–1	piasek	muł	–

cd. tab. 6

Ostra	Braciejowa	1–5	0,1–0,5	kamyki, żwir, piasek	–	–
	Gumniska I	1–10	0,1–0,25	kamyki, żwir	piasek	umocnienie (50%), profilowanie (50%)
	Gumniska II	1–10	0,1–1	kamyki, żwir, piasek	–	umocnienie (90%), profilowanie (90%), zaśmiecenie (35%)
San	Bachów	> 20	0,1–1	kamyki, żwir	głazy, kamienie, muł	–
	Iskań	> 20	> 1	kamyki, żwir	muł	zaśmiecenie (30%)
	Wybrzeże	> 20	0,1–0,5	głazy, kamienie, kamyki, żwir	–	umocnienie (40%), profilowanie (65%), zaśmiecenie (10%)
Skawica	Zawoja	10–20	0,1–1	głazy, kamienie, wychodnie skalne	kamyki, żwir	umocnienie (100%), profilowanie (100%), zaśmiecenie (30%)
	Skawica	10–20	0,1–1	głazy, kamienie	wychodnie skalne, kamyki, żwir	zaśmiecenie (65%)
	Białka	5–10	0,1–0,5	głazy, kamienie, kamyki, żwir	wychodnie skalne, piasek, muł	zaśmiecenie (10%)

3.3. Określenie klasy jakości oraz stanu/potencjału ekologicznego cieków badawczych

Przeprowadzona charakterystyka makrofitowa badanych cieków, uzupełniona uproszczoną oceną warunków hydromorfologicznych koryta, pozwoliła na ocenę stanu/potencjału ekologicznego JCWP zgodną z wymaganiami Ramowej Dyrektywy Wodnej, tzn. opartą na wartościach Makrofitowego Indeksu Rzecznego odniesionych do warunków referencyjnych [10]. Wyniki tej oceny zostały zaprezentowane w tabeli 7.

Tabela 7

Wyniki oceny jakości ekologicznej odcinków badawczych oraz JCWP

Nazwa ciek	Odcinek badawczy		Klasa jakości	Stan/potencjał ekologiczny	Jednolita Część Wód Powierzchniowych*	Stan/potencjał ekologiczny
	Nazwa	Charakter				
Nida	Pińczów	przekształcony	III	umiarkowany	Silnie zmieniona nr PLRW20001021699	umiarkowany
	Chroberz	seminaturalny	III	umiarkowany		
	Kobylniki	naturalny	III	umiarkowany		
Ostra	Braciejowa	naturalny	III	umiarkowany	Naturalna nr PLRW200012218749	słaby
	Gumniska I	seminaturalny	IV	słaby		
	Gumniska II	przekształcony	IV	słaby		

San	Bachów	naturalny	IV	słaby	Silnie zmieniona nr PLRW20001522379	słaby
	Iskań	seminaturalny	IV	słaby		
	Wybrzeże	przekształcony	IV	słaby		
Skawica	Zawoja	przekształcony	III	umiarkowany	Silnie zmieniona nr PLRW2000122134499	słaby
	Skawica	seminaturalny	IV	słaby		
	Białka	naturalny	V	zły		

* Źródło danych: [6].

4. Omówienie wyników i dyskusja

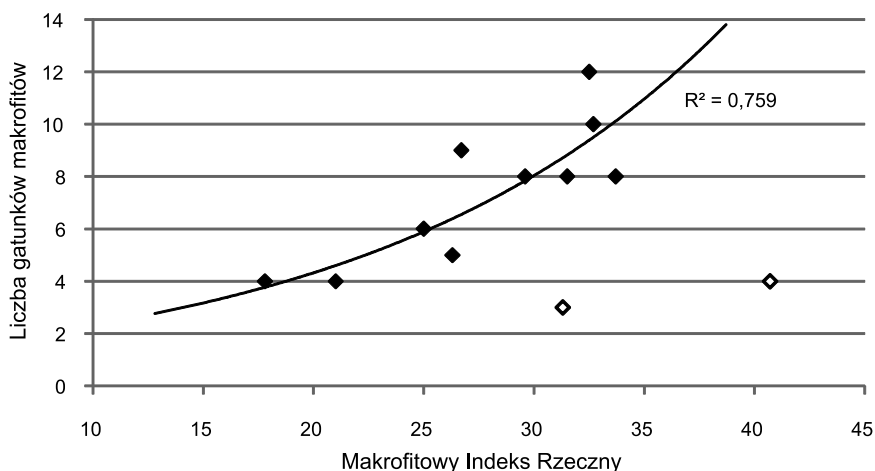
Podczas oceny stanu/potencjału ekologicznego wód powierzchniowych metodą MMOR kluczowe znaczenie ma prawidłowe rozpoznanie roślin wodnych występujących w korycie. Istotna jest również różnorodność zidentyfikowanych gatunków, dzięki czemu obecność przypadkowego, pojedynczego taksonu nie ma większego wpływu na zmianę wartości Makrofitowego Indeksu Rzecznego. W poszczególnych ciekach zidentyfikowano od 8 do 15 gatunków wskaźnikowych roślin wodnych, co należy uznać za liczbę wystarczająco dużą do przeprowadzenia oceny jakości ekologicznej w oparciu o makrofity. Największą bioróżnorodnością cechowały się Ostra oraz Nida, w których zidentyfikowano od 13 do 15 gatunków natomiast mniejszą San i Skawica, które jako cieki wyżynne o charakterze górskim charakteryzowały się uboższym składem florystycznym. Na rysunku 2 przedstawiono korelację wartości indeksu MIR z różnorodnością gatunkową makrofitów zidentyfikowanych w trakcie badań.

Zwraca uwagę fakt, iż w poszczególnych ciekach niezmiernie rzadko występowały makrofity charakteryzujące się niską tolerancją ekologiczną i, co za tym idzie – wysoką wartością współczynnika wagowego ($W = 3$) stosowanego w metodzie MMOR. Spośród 32 gatunków roślin wodnych zidentyfikowanych w trakcie badań tylko 2 należały do grupy roślin typowo stenotopowych, tj. rogatek sztywny (*Ceratophyllum demersum*) w Nidzie oraz wiewiórecznik (*Sciuro-hypnum plumosum*) w Skawicy. Praktycznie niemal wszystkie (94%) rozpoznane makrofity należały do grupy organizmów eurytopowych lub przejściowych, a więc odpowiednio o dużej lub przeciętnej tolerancji na zmiany zachodzące w środowisku wodnym.

Przy określaniu krzywej korelacji odrzucono dwa skrajne wyniki, wyraźnie niepasujące do zauważalnej tendencji wzrostowej, a przypadające na rzekę Skawicę (stanowiska pomiarowe: Zawoja i Skawica). W tych przypadkach bardzo mała liczba gatunków wskaźnikowych (3–4) nie przeszkadzała w uzyskaniu wysokiej wartości Makrofitowego Indeksu Rzecznego, ponieważ decydujący wpływ na MIR miała obecność dwóch gatunków o wybitnie wysokiej wartości wskaźnikowej ($L = 9$), tj. wiewiórecznika (Zawoja) oraz moczarnika błotnego (Skawica).

Gatunki te – w przeciwieństwie do pozostałych, towarzyszących im na stanowiskach makrofitów – preferowały wody oligotroficzne, o niskim stężeniu składników biogennych. Po-

wstała w ten sposób trudna do zinterpretowania sytuacja, w której na tym samym, zaledwie stumetrowym odcinku rzeki występowały bioindykatory wskazujące na całkowicie odmienny stan ekologiczny. W związku z powyższym uznano, że do ww. wyników należy podejść z ograniczonym zaufaniem, pomimo że formalnie spełniają one kryteria oceny stosowane w Makrofitowej Metodzie Oceny Rzek [15].

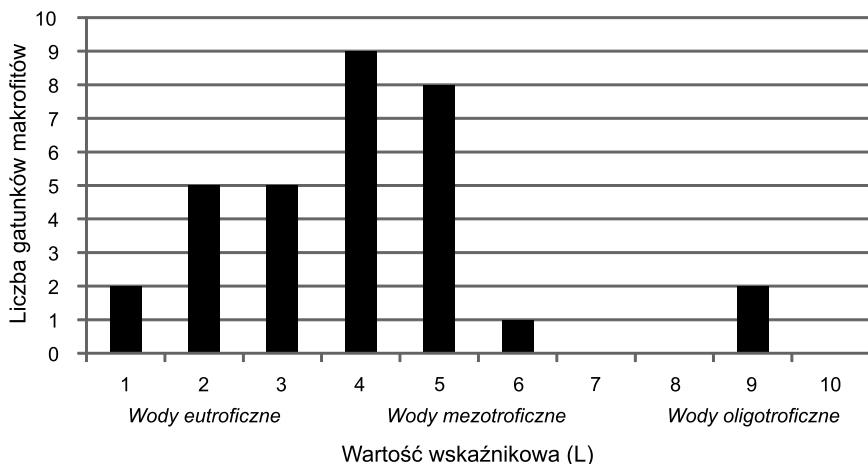


Rys. 2. Korelacja wartości indeksu MIR z różnorodnością gatunkową makrofitów zidentyfikowanych na poszczególnych stanowiskach badawczych

Fig. 2. Correlation of the MIR index's value with species diversity of macrophytes identified at particular measurement sites

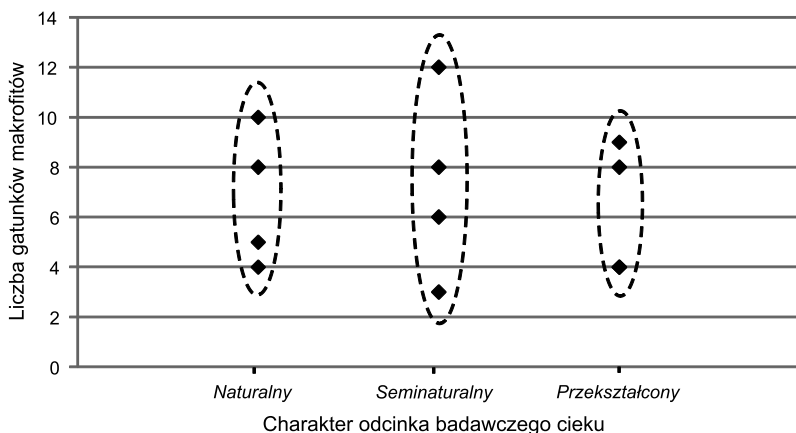
W analizowanych ciekach występowały najczęściej (tzn. na wszystkich stanowiskach badawczych danego cieku) makrofity preferujące wody eutroficzne lub mezotroficzne, tj. gałęzotka (*Cladophora sp.*), woszeria (*Vaucheria sp.*), rogatek sztywny (*Ceratophyllum demersum*), wywłócznik kłosowy (*Myriophyllum spicatum*), mozga trzcinowata (*Phalaris arundinacea*), manna jadalna (*Glyceria fluitans*), rdest plamisty (*Polygonum persicaria*), przetacznik bobowiczek (*Veronica beccabunga*) oraz jeżogłówki (*Sparganium sp.*) i rdestnice (*Potamogeton sp.*). Jest to szczególnie widoczne, gdy popatrzy się na rozkład wartości wskaźnikowej (*L*) zidentyfikowanych roślin wodnych, mówiącej o średnim poziomie żyzności wód, która w badanych ciekach najczęściej wynosiła od 2 do 5 (rys. 3). Jedynie 2 gatunki, tj. moczarnik błotny (*Hygrohypnum luridum*) oraz wiewiórecznik (obydwa w Skawicy), preferowały wody oligotroficzne, o niskim stężeniu związków biogenych.

Gatunkami dominującymi, które na poszczególnych stanowiskach badawczych zajmowały największą powierzchnię dna, były: gałęzotka (*Cladophora sp.*), rdestnica nawodna (*Potamogeton nodosus*), wywłócznik kłosowy (*Myriophyllum spicatum*), mozga trzcinowata (*Phalaris arundinacea*), woszeria (*Vaucheria sp.*) i brzeźnik strumieniowy (*Platyhypnidium riparioides*). Są to gatunki o niskiej wartości wskaźnikowej *L*, preferujące wody eutroficzne i bardzo często siedliska przekształcone, a zatem są dobrymi indykatorami poziomu zanieczyszczenia środowiska wodnego związkami biogenymi.



Rys. 3. Rozkład wartości wskaźnikowej (L) makrofitów zidentyfikowanych w trakcie badań
 Fig. 3. Distribution of the indicative value of species (L) of macrophytes identified during research

Szczególną rolę odgrywała tutaj gałązka, która występowała najliczniej w większości badanych cieków, a jak wiadomo jest to gatunek preferujący wody zasobne w biogeny oraz siedliska o wyraźnych modyfikacjach antropogenicznych [14]. Podobne znaczenie miał rogatek sztywny, który jest gatunkiem charakterystycznym dla wód zdegradowanych oraz zlokalizowana w Sanie rdestnica kędzierzawa, której liście nie posiadały charakterystycznej dla tego gatunku falistości, lecz były bardzo długie i wąskie. Uważa się, że takie zmiany morfologiczne zachodzą w osobnikach występujących w wodach zasobnych w substancje biogenne [14].



Rys. 4. Korelacja stopnia przekształceń antropogenicznych koryta z różnorodnością gatunkową makrofitów zidentyfikowanych na poszczególnych stanowiskach badawczych
 Fig. 4. Correlation between the degree of anthropogenic modifications in river channel and species diversity of macrophytes identified at particular measurement sites

Dotychczasowe doświadczenia w prowadzeniu badań opartych na makrofitach wskazują, że istnieje specyficzny wpływ przekształceń antropogenicznych koryta rzecznego na różnorodność gatunkową występującej w nim roślinności wodnej [1, 7]. Wpływ ten przejawia się w ten sposób, że niewielkie modyfikacje w danym korycie powodują wzrost różnorodności gatunkowej roślinności wodnej w stosunku do warunków naturalnych (ze względu na pojawienie się niewielkich powierzchniowo, ale charakterologicznie całkowicie nowych fragmentów siedlisk), ale już zaawansowane przekształcenia, takie jak np. umocnienie i wyprofilowanie brzegów lub dna na znacznej długości ciek, powodują spadek różnorodności gatunkowej poniżej wartości obserwowanej w tym samym korycie w warunkach całkowicie naturalnych. Graficzną prezentację ww. reguły, stworzoną w oparciu o zaprezentowane w niniejszym artykule wyniki badań, przedstawiono na rys. 4.

Wspomniana teza powinna jednak zostać zweryfikowana na podstawie danych jakościowych pochodzących ze znacznie większej liczby stanowisk pomiarowych. Wyniki badań wskazują, że należałoby w bezpośredni oraz uszczegółowiony sposób powiązać parametry abiotyczne siedliska z Makrofitowym Indekssem Rzecznym, a nie – jak dotychczas stosuje się w metodzie makrofitowej – traktować je tylko jako tło interpretacyjne. Należy rozwinąć badania zmierzające do uszczegółowienia interpretacji dotyczących powiązania stopnia przekształcenia koryta rzeki z indeksem MIR bądź też – na podstawie większej liczby przypadków – dokonać interpretacji w zakresie braku takiego związku na rzecz silnego powiązania indeksu makrofitowego ze stanem fizyczno-chemicznym wód. To pozwoli poszukiwać innego związku przyczynowo-skutkowego stanu biologicznego wód płynących z formą oraz stopniem przekształcenia koryta rzeki.

W przypadku większości badanych cieków zaobserwowano spadek ich jakości ekologicznej, wyrażający się malejącą wartością Makrofitowego Indeksu Rzecznego, wraz z biegiem rzeki, tzn. im dalej od źródła, tym wskaźnik MIR był niższy, a zatem woda bardziej zanieczyszczona. Na taki wynik wpływ miały przede wszystkim zanieczyszczenia spływające ze zlewni oraz stan zagospodarowania terenów sąsiadujących bezpośrednio z korytem rzeczonym. Należy przypuszczać, że głównym powodem wzrastającego wraz z biegiem rzeki ładunku zanieczyszczeń biogennych jest nieprawidłowa gospodarka wodno-ściekowa w obszarach zlewni bezpośrednich (np. brak kanalizacji w miejscowościach położonych nad rzekami), w wyniku czego do badanych cieków przenikają zanieczyszczenia ze źródeł punktowych i/lub obszarowych.

Drugim istotnym źródłem azotu i fosforu w badanych ciekach są zapewne – położone nad ich brzegami – pola uprawne oraz łąki, z których wraz z opadami deszczu spływa do wód nadmiar nawozów mineralnych. Wyniki badań z zastosowaniem makrofitów jako wskaźników poziomu zanieczyszczenia wód powierzchniowych składnikami biogenymi wyraźnie wskazują, że ciek, które zostały poddane analizom (w granicach wymienionych Jednolitych Części Wód Powierzchniowych) nie spełniają obecnie standardu jakości ekologicznej, określonego przez Ramową Dyrektywę Wodną.

5. Wnioski

Wyniki badań prowadzą do następujących wniosków:

1. Zastosowanie makrofitów jako wskaźników poziomu zanieczyszczenia wód powierzchniowych składnikami biogennymi pozwoliło na ocenę oraz klasyfikację aktualnego stanu ekologicznego wybranych abiotycznych typów cieków wyżynnych, zgodnie z wymaganiami Ramowej Dyrektywy Wodnej. Makrofity reagują na zmiany składu fizyczno-chemicznego wody w znacznie dłuższym przedziale czasowym niż większość pozostałych organizmów wodnych, dlatego wydaje się, że to właśnie one są optymalnym bioindykatorem w biologicznej ocenie wód powierzchniowych.
2. Stan ekologiczny wszystkich badanych cieków, tj. Nidy, Ostrej, Sanu oraz Skawicy (w granicach analizowanych Jednolitych Części Wód Powierzchniowych) był gorszy niż „dobry”, co oznacza, że obecnie cieki te nie spełniają wymagań RDW.
3. Badane cieki należy zaliczyć do wód eutroficznych, zanieczyszczonych nadmierną ilością azotu i fosforu, o czym świadczą następujące wyniki:
 - a) ponad 90% zidentyfikowanych gatunków makrofitów stanowiły rośliny eurytopowe lub przejściowe charakteryzujące się dużą lub przeciętną tolerancją na zmiany zachodzące w środowisku wodnym. Spośród 32 gatunków tylko 2 należały do grupy roślin stenotopowych, tj. rogatek sztywny (*Ceratophyllum demersum*) w Nidzie oraz wiewiórecznik (*Sciuro-hypnum plumosum*) w Skawicy;
 - b) gatunkami, które występowały najczęściej, tzn. pojawiały się na wszystkich stanowiskach badawczych poszczególnych cieków, były makrofity preferujące wody eutroficzne lub mezotroficzne, tj. gałęzotka (*Cladophora sp.*), woszeria (*Vaucheria sp.*), rogatek sztywny (*Ceratophyllum demersum*), wywłócznik kłosowy (*Myriophyllum spicatum*), mozga trzciniowata (*Phalaris arundinacea*), manna jadalna (*Glyceria fluitans*), rdest plamisty (*Polygonum persicaria*), przetacznik bobowiczek (*Veronica beccabunga*) oraz jeżogłówki (*Sparganium sp.*) i rdestnice (*Potamogeton sp.*);
 - c) gatunkami dominującymi, czyli takimi które na poszczególnych stanowiskach badawczych zajmowały największą powierzchnię dna, były gatunki o niskiej wartości wskaźnikowej *L*, preferujące wody eutroficzne i bardzo często siedliska przekształcone, tj. gałęzotka (*Cladophora sp.*), rdestnica nawodna (*Potamogeton nodosus*), wywłócznik kłosowy (*Myriophyllum spicatum*), mozga trzciniowata (*Phalaris arundinacea*), woszeria (*Vaucheria sp.*) oraz brzeźnik strumieniowy (*Platyhypnidium riparioides*).
4. W badanych ciekach zaobserwowano spadek jakości ekologicznej wraz z ich biegiem, tzn. im dalej od źródła, tym wartość Makrofitowego Indeksu Rzecznego była niższa, a zatem woda bardziej zanieczyszczona substancjami biogennymi.
5. Główną przyczyną niskiego stanu ekologicznego badanych cieków jest punktowy oraz obszarowy dopływ biogenów z ich bezpośrednich zlewni. Najprawdopodobniej jest to spowodowane nieprawidłową gospodarką wodno-ściekową prowadzoną w zlewniach, np. brakiem kanalizacji w miejscowościach położonych nad rzekami, oraz spływem powierzchniowym nawozów mineralnych z terenów rolniczych położonych w pobliżu cieków.

6. Zaobserwowano wyraźną korelację wartości Makrofitowego Indeksu Rzecznego z różnorodnością gatunkową makrofitów występujących w korycie rzecznym – im różnorodność była większa, tym wartości indeksu MIR wyższe.
7. Przekształcenia antropogeniczne koryta rzecznego wpływały na różnorodność gatunkową występujących w nim makrofitów. Niewielkie modyfikacje powodowały wzrost różnorodności w stosunku do warunków naturalnych (ze względu na pojawienie się niewielkich powierzchniowo, ale charakterologicznie całkowicie nowych fragmentów siedlisk), natomiast zaawansowane przekształcenia powodowały spadek różnorodności poniżej wartości obserwowanej w tym samym korycie w warunkach naturalnych.

Literatura

- [1] Bielak S.R., *Zróżnicowanie stanu hydromorfologicznego cieków górskich w kontekście ich położenia w obszarach chronionej przyrody oraz na terenach zurbanizowanych, na przykładzie zlewni Skawicy*, [w:] Ławniczak A. (red.), *Ekosystemy wodne na obszarach chronionych*, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Tucholski Park Krajobrazowy, Tuchola–Poznań 2012.
- [2] Bielak S.R., Baran K., Kulig N., Ścieńska E., *Zastosowanie metody River Habitat Survey w ocenie i klasyfikacji stanu hydromorfologicznego rzek i potoków południowej Polski, zgodnej z wymaganiami Ramowej Dyrektywy Wodnej*, Czasopismo Techniczne, z. 2-Ś, Kraków 2012.
- [3] Borek K., *Ocena stopnia degradacji rzeki Nidy Makrofitową Metodą Oceny Rzek*, praca dyplomowa (materiały niepublikowane), Wydział Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej, Kraków 2012.
- [4] Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej, Dziennik Urzędowy Wspólnot Europejskich L 327/1 z 22.12.2000, 275-346.
- [5] Jusik S., Szoszkiewicz K., *Różnorodność biologiczna roślin wodnych w warunkach zróżnicowanych przekształceń morfologicznych rzek nizinnych Polski Zachodniej*, Nauka Przyroda Technologie, t. 3, z. 3, Poznań 2009.
- [6] *Plan gospodarowania wodami na obszarze dorzecza Wisły*, Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- [7] Pietruczuk K., Szoszkiewicz K., *Ocena stanu ekologicznego rzek i jezior w Wielkopolsce na podstawie makrofitów zgodnie z wymaganiami Ramowej Dyrektywy Wodnej*, Nauka Przyroda Technologie, t. 3, z. 3, Poznań 2009.
- [8] Pijar K., *Ocena stanu ekologicznego potoku Ostra Makrofitową Metodą Oceny Rzek*, praca dyplomowa (materiały niepublikowane), Wydział Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej, Kraków 2012.
- [9] Raven P., Holmes N., Dawson H., Ławniczak A., Bulánková E., Topercer J., Lewin I., *River Habitat and Macrophyte Surveys in the High Tatra Mountains of Slovakia and Poland*, Environment Agency Report, Bristol, Great Britain 2011.
- [10] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych, Dz. U. Nr 257, poz. 1545.
- [11] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego jednolitych części wód powierzchniowych, Dz. U. Nr 258, poz. 1549.

- [12] Staszkievicz K., *Biologiczna ocena jakości rzeki San Makrofitową Metodą Oceny Rzek*, praca dyplomowa (materiały niepublikowane), Wydział Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej, Kraków 2012.
- [13] Szoszkiewicz K., Jusik S., Ławniczak A.E., Zgoła T., *Macrophyte development in unimpacted lowland rivers in Poland*, *Hydrobiologia* 656, 2010, 117-131.
- [14] Szoszkiewicz K., Jusik S., Zgoła T., *Klucz do oznaczania makrofitów dla potrzeb oceny stanu ekologicznego wód powierzchniowych*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 2010.
- [15] Szoszkiewicz K., Zbierska J., Jusik S., Zgoła T., *Makrofitowa Metoda Oceny Rzek. Podręcznik metodyczny do oceny klasyfikacji stanu ekologicznego wód płynących w oparciu o rośliny wodne*, Wydawnictwo Naukowe Bogucki, Poznań 2010.