INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr III/1/2014, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 959–970
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

DOI: http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2014.3.1.071

WYKORZYSTANIE WSKAŹNIKÓW MAKROFITOWYCH W OCENIE PRESJI WÓD KOPALNIANYCH NA WODY RZECZNE

Ryszard Staniszewski, Szymon Jusik
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

USE OF MACROPHYTE INDICES IN EVALUATION OF THE MINE WATERS PRESSURE ON RIVER WATERS

Streszczenie

Wskaźniki makrofitowe, takie jak Mean Trophic Rank (MTR), Macrophyte Biological Index for Rivers (IBMR), River Macrophyte Nutrient Index (RMNI), Reference Index (RI) i inne są z powodzeniem wykorzystywane w ocenie jakości ekosystemów rzecznych. Opierają się one głównie na tolerancji poszczególnych taksonów roślin naczyniowych, mszaków, wątrobowców i makroglonów na trofię wody. Oceniany odcinek rzeki Noteć znajdujący się powyżej jeziora Gopło odbiera zrzuty wód kopalnianych z odkrywki węgla brunatnego Tomisławice. W 2012 roku przeprowadzono badania dotyczące wpływu wód kopalnianych z odkrywki węgla brunatnego na trofię wód Noteci. Wykorzystano w tym celu kilka wskaźników makrofitowych oraz przeprowadzono analizy wskaźników troficznych na wybranych stanowiskach. Dla wybranych stanowisk dysponowano także wynikami badań z 2008 roku, które wykorzystano w celach porównawczych. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że wpływ charakterystyki troficznej wód kopalnianych na wielkości wskaźników makrofitowych oraz wskaźników jakości wody był nieznaczny. Wynika to z małych różnic trofii wód rzecznych i wód kopalnianych oraz braku wrażliwości wykorzystanych wskaźników makrofitowych na wypadnięcie pojedynczych gatunków wskaźnikowych z grupy roślin wodnych. Rośliną, która wypadła z listy makrofitów poni-

żej dopływu rzeki Pichny był grążel żółty, a niektóre wykazywały znaczny spadek pokrycia bez istotnego wpływu na wartości wskaźników makrofitowych. Świadczy to o niezbyt wysokiej czułości tego typu wskaźników w sygnalizowaniu nieznacznych zmian w środowisku wodnym.

Słowa kluczowe: wody kopalniane, węgiel brunatny, makrofity, trofia wód, Mean Trophic Rank

Summary

Macrophyte indices, as like Mean Trophic Rank (MTR), Macrophyte Biological Index for Rivers (IBMR), River Macrophyte Nutrient Index (RMNI), Reference Index (RI) and other are successfully used in evaluation of river ecosystems. They based on tolerance of particular vascular plants, mosses, liverworts and macroalgea on water trophy. Studied part of Noteć River was situated above Gopło Lake and accept mine waters discharge from open-pit mine Tomisławice. In the year 2012 the analyses of the impact of brown coal mine waters on Noteć River trophy were carried out. Several macrophyte indices were used and supported by chemical analyses in selected sites. For all sites earlier data were accessible and were used to comparisons. On the base of obtained results it was concluded, that the impact of mine waters trophic characteristics on macrophyte indices and water trophy was generally negligible. It was due to the small differences of trophy between river and mine waters and lack of sensitivity of macrophyte indices on lack of individual indicator species from the group of aquatic vascular plants. Yellow Water-lily was the wasted species and significant decrease of cover was found for other species without changes of macrophyte indices values. It showed to some extent lack of sensitivity of macrophyte indices in detecting of slight changes of aquatic environment.

Key words: *mine waters, brown coal, macrophytes, water trophy, Mean Trophic Rank*

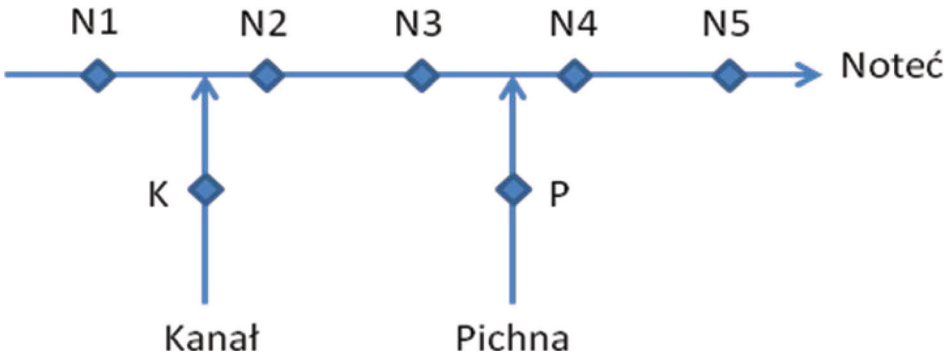
WSTĘP

Odkrywkowa eksploatacja złóż węgla brunatnego oddziałuje na wiele aspektów środowiskowych terenów przyległych. Obok przekształceń krajobrazu, obniżenia poziomu wód gruntowych, konieczności rekultywacji (Szafrański, Stachowski 1997, Bender, Gilewska 2004, Przybyła i wsp. 2011), wpływa także na jakość wód powierzchniowych przyjmujących wody kopalniane (Staniszewski, Jusik 2013). Wody kopalniane z odkrywek węgla brunatnego mogą być

wprowadzane do wód powierzchniowych bez oczyszczenia (wody studzienne) lub po oczyszczeniu (odwodnienie powierzchniowe). Posiadają one inną charakterystykę hydrochemiczną niż wody dołowe z kopalni węgla kamiennego, gdyż są mniej zasolone.

Na badanym odcinku Noteci istnieją dwa punkty zrzutu. Wody czyste dopływające kanałem zrzutowym K oraz wody mieszane (z odwodnienia powierzchniowego oczyszczone w osadniku oraz wody studzienne) dopływające korytem rzeki Pichny (P) (Rysunek 1). W okresie letnim 2012 roku zarówno w kanale, jak i w Pichnie wody kopalnianie stanowiły 100 % przepływu, co przekładało się na około 30 % przepływu wody w Noteci w przekroju Stara Ruda (N4). Podczas badań prowadzonych w 2008 roku na stanowiska poniżej przekroju Łysek (N3, N4, N5) oddziaływał nieznacznie zrzut studziennych wód kopalnianych z odkrywki Lubstów, czynny jeszcze w 2009 roku (Staniszewski, Jusik 2013). W 2009 r. rozpoczęto odwadnianie odkrywki Tomisławice (Wachowiak 2011) oddziałujące na stanowiska xN2 – xN5. Dane porównawcze dla stanowiska xN1 były uzupełnione o wyniki z 2011 r. z uwagi na brak przepływu wody w sezonie letnim 2012 r.

Wskaźniki makrofitowe wykorzystano dotąd w wielu ocenach wód płynących z uwagi na ich często silne korelacje z parametrami jakości wody, w tym troficznymi (Dawson i wsp. 1999, Staniszewski 2001, Jusik i wsp. 2010, Gebler i wsp. 2012, Staniszewski i wsp. 2012).



Źródło: opracowanie własne;
Source: own elaboration

Rysunek 1. Szkic rozmieszczenia stanowisk badawczych
Figure 1. Sketch map of studied sites

METODYKA

Ocenę oddziaływania zrzutu wód kopalnianych na trofię wód Noteci przeprowadzono w 2012 roku, a wyniki porównano z badaniami prowadzonymi w 2008 roku. Próbki wody pobierano w ciągu całego roku z nurtu Noteci na pięciu stanowiskach, nadając im oznaczenia od N1 do N5 dla 2008 r. Dla odróżnienia te same lokalizacje w 2012 r. otrzymały numerację od xN1 do xN5. W 2012 roku przeprowadzono ocenę troficznych wskaźników chemicznych w wodach kopalnianych na stanowisku K – kanał zrzutowy wód studziennych oraz na stanowisku P – wody kopalniane mieszane z rzeki Pichna. Stanowiska N2 i N4 były usytuowane 100 metrów poniżej zrzutu wód kopalnianych, stanowiska N3 i N5 były zlokalizowane poniżej miejsca pełnego wymieszania wód rzecznych i kopalnianych w odległości około 1 km poniżej zrzutu. Stanowisko kontrolne N1 znajdowało się 0,5 km powyżej kanału zrzutowego K.

W próbkach wody badano stężenia fosforu ogólnego (metodą z kwasem askorbinowym i mineralizacją nadsiarczanem), fosforanów rozpuszczonych (metodą z kwasem askorbinowym), azotu azotanowego (metodą z redukcją kadmem) i azotu azotynowego (metodą diazotową). Próbki przesączono przez filtr o średnicy por 0,45 μm za wyjątkiem oznaczenia fosforu ogólnego.

Przeprowadzono ocenę żyzności wód rzecznych z wykorzystaniem standardowych metod makrofitowych Mean Trophic Rank (Dawson 1999), Indice Biologique Macrophytique en Rivière, IBMR (Haury i wsp. 2002), River Macrophyte Nutrient Index, RMNI (Willby et al., 2009), Reference Index, RI (Schaumburg i wsp. 2004), Makrofitowy Indeks Rzeczny, MIR (Szoszkiewicz i wsp. 2006).

Analizy statystyczne przeprowadzono w programie Statistica 10 (StatSoft Inc. 2011). W celu oceny wpływu zrzutu wód kopalnianych na zmiany wskaźników troficznych wody oraz makrofitowych indeksów troficznych zastosowano analizę ANOVA Friedmana, test $\chi 2$ (Friedman 1937) oraz współczynnik zgodności W Kendalla (Kendall 1939). Dane do analizy wariancji Friedmana podzielono na dwie grupy: chemiczne parametry trofii wody, obejmujące stężenia fosforu ogólnego, fosforanów rozpuszczonych, azotu azotanowego i azotynowego oraz makrofitowe wskaźniki trofii, obejmujące indeksy MTR, IBMR, RMNI, MIR, RI. Analizę wariancji Friedmana przeprowadzono oddzielnie dla lat 2008 i 2012. Przed przystąpieniem do analizy przeprowadzono rangowanie wyników w obrębie dwóch grup parametrów. Stanowiska o najniższych wartościach parametrów fizyko-chemicznych wody, najniższej trofii otrzymywały rangę 1, natomiast stanowiska o najwyższych stężeniach parametrów fizyko-chemicznych wody, najwyższej trofii – rangę 5.

Ponadto, analizowano zmiany wartości wspomnianych parametrów w czasie (różnice pomiędzy latami 2008 i 2012). Różnice testowano za pomocą nieparametrycznego testu Z Wilcoxona dla par powiązanych.

Tabela 1. Wartości średnie wskaźników trofii na stanowiskach badawczych na Noteci w latach 2008 (N1 – N5) i 2012 (xN1 – xN5, K – kanał zrzutowy, P – Pichna)
Table 1. Mean values of water trophy parameters in Noteć River sites in the years 2008 (N1 – N5) and 2012 (xN1 – xN5, K – mine waters channel, P – Pichna River)

Stanowiska badawcze	Wskaźniki trofii			
	Fosfor ogólny	Fosforany rozp.	Azot azotanowy	Azot azotynowy
	mg $P \cdot dm^{-3}$	mg $PO_4^{3-} \cdot dm^{-3}$	mg $N\text{-}NO_3^{-} \cdot dm^{-3}$	mg $N\text{-}NO_2^{-} \cdot dm^{-3}$
N1	0,32	0,48	0,48	0,02
N2	0,18	0,33	0,59	0,01
N3	0,24	0,36	0,45	0,02
N4	0,20	0,42	0,48	0,01
N5	0,21	0,41	0,55	0,01
xN1	0,34	0,70	0,12	0,01
xN2	0,29	0,52	0,30	0,01
xN3	0,43	0,76	0,17	0,01
xN4	0,38	0,67	0,14	0,01
xN5	0,26	0,40	0,22	0,13
K	0,20	0,19	0,11	0,02
P	0,30	0,36	0,33	0,04

Źródło: opracowanie własne;
Source: own elaboration

Tabela 2. Wyniki nieparametrycznej analizy wariancji Friedmana
Table 2. Results of nonparametric analysis of Friedman variance

Analizowane grupy	Test χ^2	Poziom p	W Kendalla
Chemiczne parametry trofii wody			
2008	5,114	0,276	0,320
2012	4,709	0,139	0,294
Makrofitowe wskaźniki trofii			
2008	6,020	0,198	0,301
2012	7,673	0,104	0,384

Źródło: opracowanie własne;
Source: own elaboration

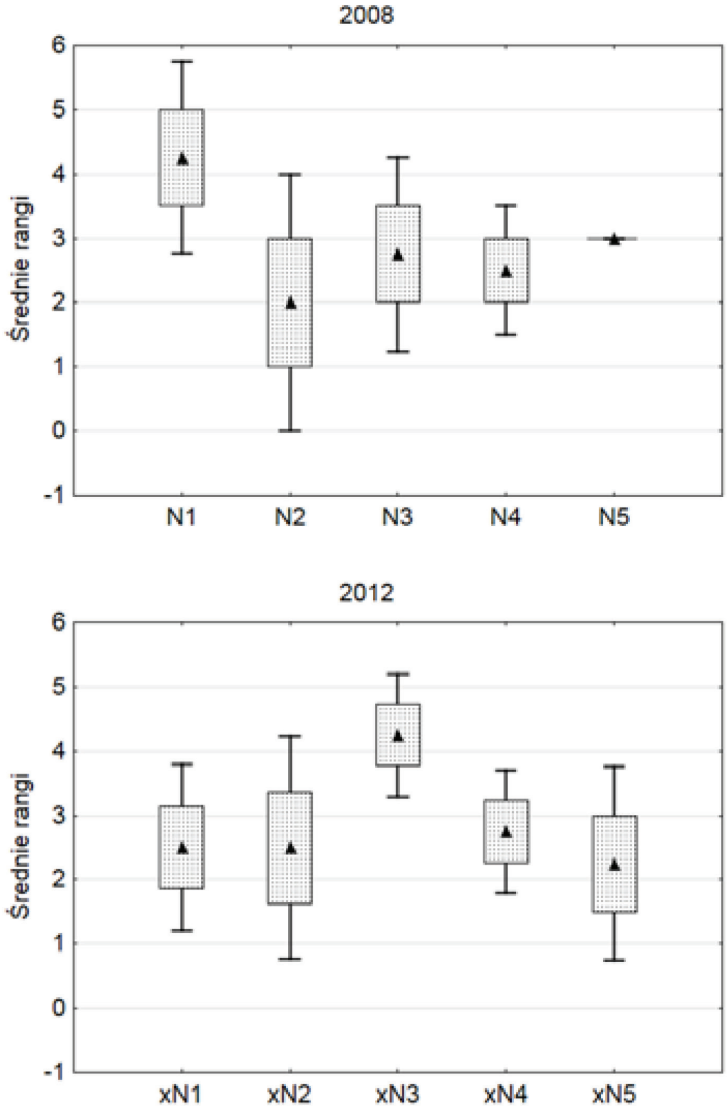
Tabela 3. Ocena istotności różnic analizowanych parametrów pomiędzy latami 2008 i 2012 (pogrubiono parametry o istotnych różnicach przy $p < 0,05$)
Table 3. Evaluation of statistical significance of differences of studied parameters between years 2008 and 2012 (significant differences with $p < 0.05$ were bolded)

Analizowane parametry	Test Z Wilcoxona	Poziom istotności p
Fosfor ogólny	**2,023**	**0,043**
Fosforany rozp.	1,753	0,080
Azot azotanowy	**2,023**	**0,043**
Azot azotynowy	0,405	0,686
MIR	0,405	0,686
IBMR	1,214	0,225
RMNI	1,214	0,225
MTR	1,753	0,080
RI	1,214	0,225

Źródło: opracowanie własne;
Source: own elaboration

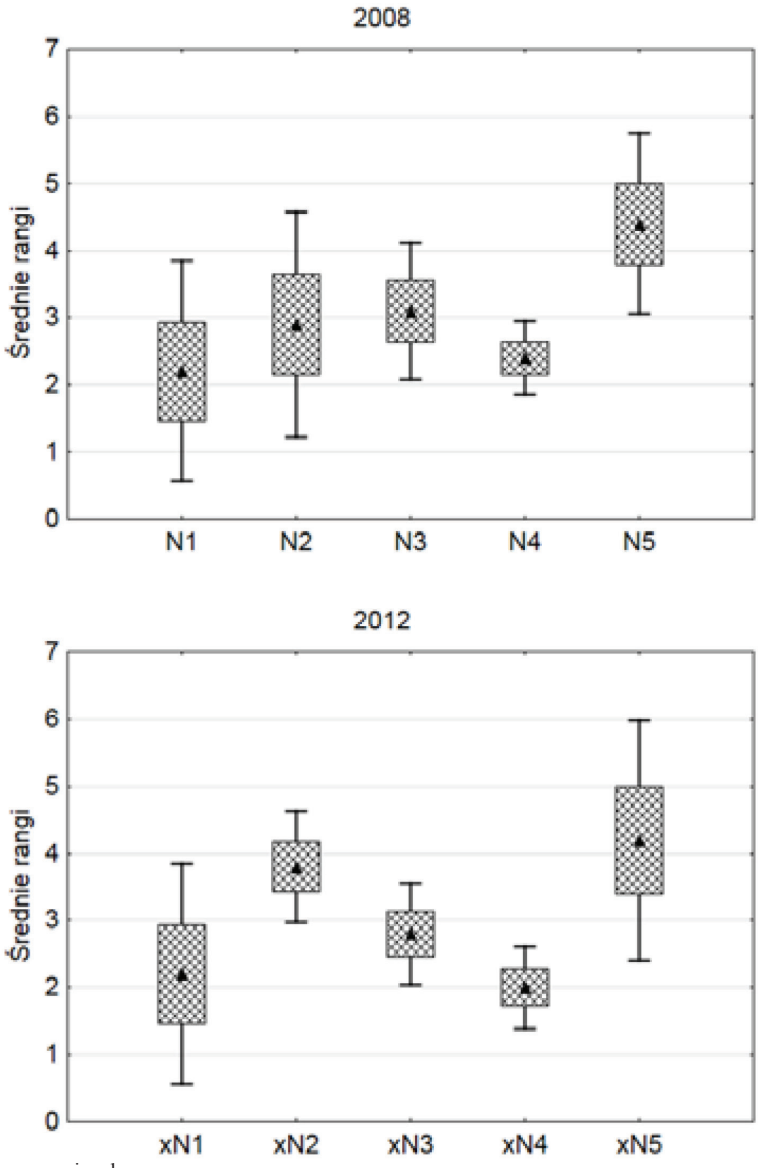
WYNIKI I DYSKUSJA

Analiza wariancji Friedmana wykazała brak istotnych różnic pomiędzy stanowiskami w odniesieniu do analizowanych parametrów, zarówno w roku 2008 i 2012 (Tabela 2). Badane pięć stanowisk (N1-N5) charakteryzowało się zbliżonymi wartościami (nie różniącymi się istotnie) parametrów troficznych wody oraz indeksów makrofitowych. W przypadku chemicznych parametrów trofii wody, w 2008 roku najwyższymi stężeniami charakteryzowało się stanowisko N1, podczas gdy na pozostałych stanowiskach poziom trofii był wyrównany. W 2012 roku nieco wyższym poziomem trofii charakteryzowało się stanowisko N3 (Rysunek 1, Tabela 1), lecz różnice te jednak nie były istotne statystycznie. W odniesieniu do makrofitowych wskaźników trofii najniższy jej poziom stwierdzono na stanowisku N1, a najwyższy na stanowisku N5, w obydwu badanych latach. Zaobserwowane zróżnicowanie wyników na stanowiskach nie wynikało więc z działalności odkrywki Tomisławice, lecz występowało już wcześniej przed jej uruchomieniem. Różnice pomiędzy wszystkimi indeksami makrofitowymi na poszczególnych stanowiskach były bardzo niewielkie. Na stanowisku N1 średnie rangi wynosiły 2,1 zarówno w roku 2008, jak i 2012, podczas gdy na stanowisku było to 4,4 w roku 2008 i 4,1 w roku 2012 (Rys. 3).



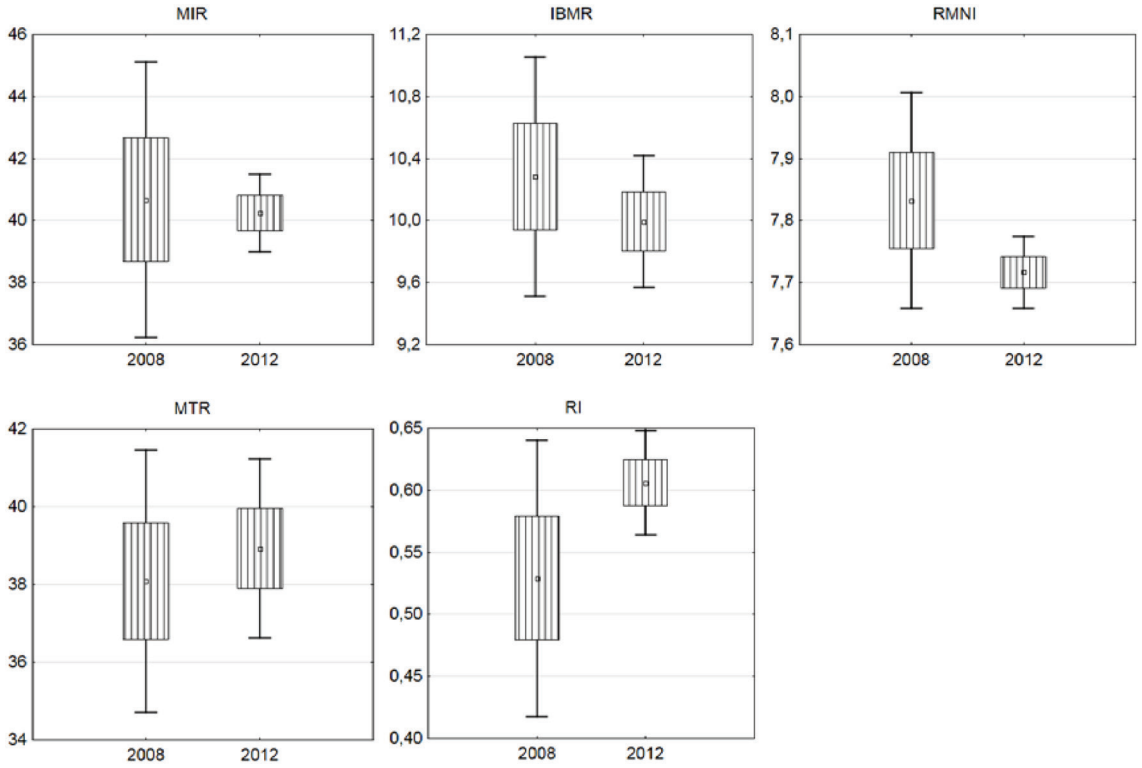
Źródło: opracowanie własne;
Source: own elaboration

Rysunek 2. Porównanie średnich rang dla chemicznych parametrów trofii wody w latach 2008 i 2012 (średnia ± błąd standardowy ± odchylenie standardowe)
Figure 2. Comparison of mean ranks of chemical parameters of water trophy in the years 2008 and 2012 (mean ± standard error ± standard deviation)



Źródło: opracowanie własne;
Source: own elaboration

Rysunek 3. Porównanie średnich rang dla makrofitowych wskaźników trofii w latach 2008 i 2012 (średnia ± błąd standardowy ± odchylenie standardowe)
Figure 3. Comparison of mean ranks of macrophyte indices of water trophy in the years 2008 and 2012 (mean ± standard error ± standard deviation)



Źródło: opracowanie własne;
Source: own elaboration

Rysunek 4. Różnice wartości makrofitowych wskaźników trofii pomiędzy latami 2008 i 2012 (średnie ± błąd standardowy ± odchylenie standardowe)
Figure 4. Differences of macrophyte indices values between years 2008 and 2012 (mean ± standard error ± standard deviation)

Pomiędzy latami 2008 i 2012 istotnie różniły się wartości fosforu ogólnego i azotu azotanowego (Tabele 1 i 3). Pewne różnice zaobserwowano także w przypadku fosforanów rozpuszczonych lecz nie były one istotne statystycznie. Azot azotanowy na wszystkich analizowanych stanowiskach przyjmował wyższe wartości w 2008 roku, podczas gdy fosfor ogólny i fosforany w 2012 roku (Tabela 1). Azot azotanowy obniżył się w Noteci średnio o 0,32 mg $N\text{-}NO_3^{-}\cdot dm^{-3}$, natomiast stężenia fosforu ogólnego wzrosły średnio o 0,11 mg $P\cdot dm^{-3}$, a fosforanów o 0,21 mg $PO_4^{3-}\cdot dm^{-3}$. Nieznaczne zmiany jakości wód rzecznych w przypadku oddziaływania źródeł punktowych stwierdzono także w innych badaniach dotyczących odkrywek węgla brunatnego i ścieków oczyszczonych (Policht i wsp. 2013, Staniszewski, Jusik 2013).

Pomiędzy latami 2008 i 2012 nie zaobserwowano też istotnych różnic w wartościach wskaźników makrofitowych (Tabela 3). W latach 2008 i 2012 wartości wszystkich analizowanych indeksów pozostawały na podobnym poziomie (Rysunek 4). Nieco większe (choć nieistotne) różnice wystąpiły w przypadku brytyjskiego RMNI oraz nienieckiego RI. Pierwszy z nich w 2008 roku średnio przyjmował wartość 7,83, podczas gdy w 2012 roku 7,72, natomiast drugi odpowiednio 0,53 w 2008 i 0,61 w 2012 roku. Zmiany były nieznaczne pomimo wypadnięcia z listy gatunków grążela żółtego *Nuphar lutea* L., rzepichy ziemno-wodnej *Rorippa amhibia* L., jeżogłówki pojedynczej *Sparganium emersum* L. na stanowiskach poniżej zrzutu wód kopalnianych. Ograniczeniu liczebności uległy taksony, jak moczarka kanadyjska *Elodea canadensis* L. i rzęsa drobna *Lemna mino*r L. Brak zmian wartości wskaźników makrofitowych świadczy o niskiej czułości tych metod w sygnalizowaniu nieznacznych zmian w środowisku wodnym. Biorąc pod uwagę zbliżone wyniki wybranych wskaźników makrofitowych z lat 2008 i 2012 można wnioskować o ich zdolności do szacowania średniego poziomu trofii dla dłuższych przedziałów czasowych (Staniszewski 2001).

WNIOSKI

1. Stężenia wskaźników troficznych w wodach kopalnianych mieszanych (stanowisko P) płynących korytem rzeki Pichna były wyższe niż tzw. czystych wód kopalnianych (stanowisko K) i znajdowały się na poziomie zbliżonym do stężeń w wodach Noteci.
2. W próbkach wody pobranych z Noteci w 2012 r. zaobserwowano wzrost stężeń fosforu ogólnego i spadek azotu azotanowego w porównaniu do 2008 r. na wszystkich stanowiskach (Tabela 1), niezależnie od położenia względem zrzutu wód kopalnianych.
3. Wyniki badań wykazały niską czułość wskaźników makrofitowych w odniesieniu do nieznacznych zmian trofii wody.

4. Potwierdziła się zdolność wskaźników makrofitowych do określenia przeciętnego stanu trofii na danym stanowisku w dłuższym okresie czasu.

PODZIĘKOWANIA: Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji nr 2011/01/B/ST10/00513.

LITERATURA

Bender J., Gilewska M. (2004). Rekultywacja w świetle badań i wdrożeń. Roczniki Gleboznawcze, Tom LV, nr 2, 29-46.

Dawson F. H., Newman J. R., Gravelle M. J., Rouen K. J., Henville P. (1999). Assessment of the Trophic Status of Rivers using Macrophytes, Evaluation of the Mean Trophic Rank. R&D Technical Report E39, Environment Agency of England & Wales, Bristol, UK.

Friedman M. (1937). The use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance. Journal of the American Statistical Association, 32 (200), 675–701.

Haury J., Peltre M.-C., Trémolières M., Barbe J., Thiébaut G., Bernez I., Daniel H., Chatenet P., Haan-Archipof G., Muller S., Dutartre A., Laplace-Treyture C., Cazaubon A., Lambert-Servien E. (2006). A new method to assess water trophy and organic pollution – the Macrophytes Biological Index for Rivers (IBMR), its application to different types of river and pollution, Hydrobiologia 570, 153-158.

Gebler D., Kayzer D., Budka A., Szoszkiewicz K. (2012). Modelling values of river macrophyte metrics using artificial neural network. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 1 (4), 61-70.

Jusik Sz., Staniszewski R., Szoszkiewicz K., Hryc-Jusik B. (2010). Zastosowanie makrofitów w ocenie stanu ekologicznego rzek wyżynnych Polski. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 547, 157-165.

Kendall M.G., Smith B.B. (1939). The Problem of m Rankings. The Annals of Mathematical Statistics. 10 (3), 275–287.

Policht-Latawiec A., Kanownik W., Łukasik D. (2013). Wpływ zanieczyszczeń punktowych na jakość wody rzeki San. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 1 (4), 253-269.

Przybyła C., Stachowski P. Kozaczyk P. (2011). Stan aktualny i prognozy poprawy gospodarki wodnej gruntów na terenach pogóniczych. Rocznik Ochrona Środowiska, 13, 485-509.

Schaumburg J., Schranz C., Foerster J., Gutowski A., Hofmann G., Meilinger P., Schneider S., Schmedtje U. (2004). Ecological classification of macrophytes and phytobenthos for rivers in Germany according to the water framework directive. Limnologica, 34, 283-301

Staniszewski R. (2001). Estimation of river trophy in Kujawskie Lakeland using Mean Trophic Rank and Chemical Index of Trophy. Rocz. AR Pozn. 334, Bot. 4, 139-148.

Staniszewski R., Jusik S. (2013). Wpływ zrzutu wód kopalnianych z odkrywki węgla brunatnego na jakość wód rzecznych. Rocznik Ochrona Środowiska, 15 (3), 2652-2665.

Staniszewski R., Jusik S., Kupiec J. (2012). Variability of taxonomic structure of aquatic macrophytes according to major modifications of lowland and upland rivers with different water trophy. Nauka Przyr. Technol. 6, 2, #22.

StatSoft, Inc. (2011). STATISTICA (data analysis software system), version 10. www.statsoft.com. [dostęp, 09.03.2014]

Szafrański Cz., Stachowski P. (1997). Zmiany zapasów wody w wierzchnich warstwach rekultywowanych rolniczo gruntów pogórniczych. Roczniki AR Poznań, 294, Melioracje i Inżynieria Środowiska, 19 (2), 211-221.

Szoszkiewicz K., Zbierska J., Jusik S., Zgoła T. (2006). Opracowanie podstaw metodycznych dla monitoringu biologicznego wód powierzchniowych w zakresie makrofitów i pilotowe ich zastosowanie dla części wód reprezentujących wybrane kategorie i typy. Akademia Rolnicza w Poznaniu – Uniwersytet Warmińsko-Mazurski – Instytut Ochrony Środowiska. Warszawa – Poznań – Olsztyn (maszynopis), 1-71.

Wachowiak G. (2011). Wpływ zrzutów wód kopalnianych na wielkość przepływów wody w rzekach w początkowym okresie odwadniania odkrywki Tomisławice KWB Konin. Górnictwo i Geoinżynieria, 35 (4), 153-166.

Willby N., Pitt J.-A., Phillips G. (2009). The Ecological Classification of UK Rivers Using Aquatic Macrophytes. UK Environment Agency Science Reports. Project SC010080⁄SR1. Environmental Agency, Bristol.

dr inż. Ryszard Staniszewski, dr inż. Szymon Jusik
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Ekologii i Ochrony Środowiska,
ul. Piątkowska 94C, 60-949 Poznań,
tel. 61-8466522, erstan@up.poznan.pl