

Renata Kędzior¹, Tomasz Skalski²

WYKORZYSTANIE BIEGACZOWATYCH JAKO BIOWSKAŹNIKÓW DO OCENY STANU ŚRODOWISKA PRZYRODNICZEGO KORYT I BRZEGÓW RZEK GÓRSKICH O RÓŻNYM STOPNIU PRZEKSZTAŁCENIA

Streszczenie. Celem pracy była weryfikacja czy występowanie materiału żwirowiskowego w korytach rzecznych stanowi jedyny czynnik odpowiedzialny za utrzymanie elementów biotycznych związanych ze środowiskami w bezpośrednim sąsiedztwie linii brzegowej. Badania terenowe prowadzono w przekrojach potoku górskiego Porębianka, o bardzo dobrze poznanej strukturze geomorfologicznej i posiadającej równocześnie silnie zmodyfikowane przez człowieka koryto. Występują tam odcinki, gdzie następuje silne wcinanie dna koryta, często aż do warstwy skały macierzystej, oraz miejsca, w których następuje redepozycja materiału żwirowego. Do analiz wybrano dziesięć przekrojów o zróżnicowanym stopniu modyfikacji koryta i brzegu. Wyniki wskazują, że czynnikami decydującymi o występowaniu organizmów nadrzecznych jest konieczność częstego zalewania środowisk nadbrzeżnych. Regulacje koryta i brzegów potoku oraz silne erozja wgłębna powodują zanik organizmów związanych z tym typem ekosystemu.

Słowa kluczowe: środowiska nadrzeczne, biegaczowate, regulacje koryta, redepozycja, erozja wgłębna, ekologia.

WSTĘP

Geomorfologiczne i hydrologiczne parametry rzek, a wśród nich niezwykle ważne wartości przepływu brzegowego kształtują bardzo specyficzne środowiska życia dla różnych grup organizmów zarówno w korycie jak i w bezpośrednim sąsiedztwie. Te bogate w pożywienie obszary dostarczają wielu siedlisk dla organizmów żywych, z drugiej strony ich zmienność i niestabilność pozwala na utrzymanie się tylko organizmów bardzo dobrze przystosowanych do częstych okresów wezbrań. Dotyczy to szczególnie potoków i rzek o charakterze górskim, gdzie dynamika takich zmian jest bardzo duża [17].

¹ Katedra Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, e-mail: r.kedzior@ur.krakow.pl

² Zakład Entomologii, Uniwersytet Jagielloński, ul. Gronostajowa 9, Kraków, e-mail: tomasz.skalski@uj.edu.pl

Rzeki i tereny nadrzeczne obecnie ulegają silnym przekształceniom mającym na celu zabezpieczyć człowieka przed powodzią lub zapewnić żyzne tereny dla celów gospodarczych (np. osuszanie, nawadnianie, usuwanie materiału korytowego, budowa dróg, kanalizacji). Zmiany takie nie pozostają bez wpływu na stan środowisk nadrzecznych, powodując powstanie zupełnie nowych środowisk życia i w rezultacie prowadząc do zmiany składu gatunkowego żyjących tam organizmów. Dane dotyczące wpływu dynamiki koryta rzecznoego na elementy biotyczne wciąż budzą duże zainteresowanie badaczy. Poznanie wpływu niekorzystnych czynników środowiskowych związanych z przekształceniami koryta rzecznoego na elementy biotyczne pozwoli na zaplanowanie i opracowanie skutecznej ochrony tego typu ekosystemów w Europie.

Wśród wielu grup organizmów chrząszcze z rodziny biegaczowatych (*Coleoptera: Carabidae*) z powodzeniem opanowały te niestabilne środowiska. Duże bogactwo gatunkowe i różnorodność gatunkowa chrząszczy preferujących brzegi rzek i potoków sprawia, że grupa ta powszechnie uznawana jest za modelową w wielu badaniach ekosystemów nadrzecznych [7]. Cechami predysponującymi biegaczowate do pełnienia funkcji organizmów wskaźnikowych są: ich duża częstość występowania, szeroka znajomość ich systematyki i ekologii, wąskie preferencje środowiskowe, wysoka wrażliwość na zmiany w środowisku, duże zróżnicowanie w wielkości ciała, występowanie w różnorodnych typach ekosystemów naziemnych oraz prostota metod połowu.

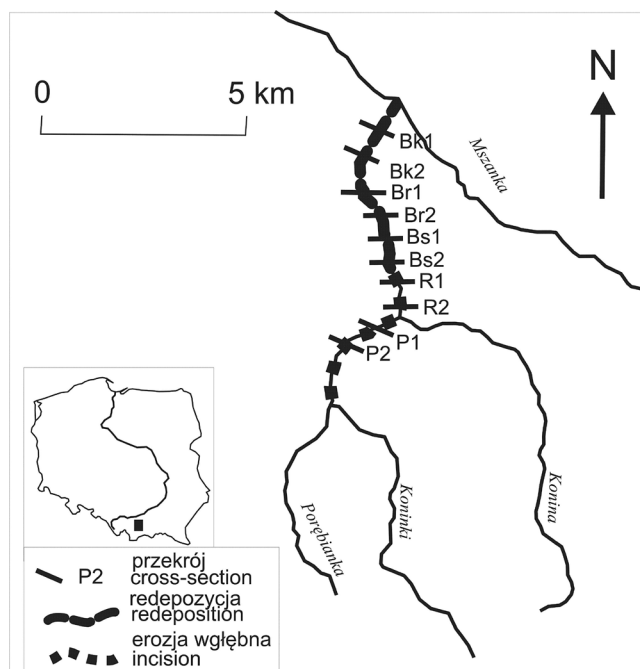
Celem pracy było określenie czy zaburzenia przepływu brzegowego związane z regulacją koryt rzecznych przyczyniają się do zubożenia fauny charakterystycznej dla terenów nadbrzeżnych oraz określenie który z badanych typów regulacji koryta rzecznoego ma najsilniejszy negatywny wpływ na zgrupowania biegaczowatych zamieszkujących środowiska w bezpośrednim sąsiedztwie linii brzegowej.

TEREN BADAŃ

Badania prowadzono na brzegach Porębianki, żwirowego potoku górskiego należącego do sieci dorzecza rzeki Raby, którego długość wynosi 15.4 km (rys. 1). W badanym odcinku występowały koryta erozyjne uformowane na skutek działania erozji wgłębnej oraz miejsca akumulacji materiału dennego związanego z redepozycją. Skutki redepozycji rumoszu skalnego w korycie Porębianki uwidaczniały się w postaci dużej liczby dobrze wyodrębnionych łach piaszczystych i żwirowych. Obecnie koryto i brzeg potoku Porębianka jest silnie przekształcony przez człowieka. Jednym z głównych działań jest eksploatacja żwiru z koryta i jego regulowanie za pomocą różnego rodzaju wzmocnień. Przyczynia się to do pogłębiania jego dna i odsłonięcia warstwy skalnej, co wpływa także na zubożenie środowisk życia dla wielu organizmów zarówno wodnych jak i brzegowych oraz zmianę stosunków wodnych w sąsiadujących ekosystemach.

MATERIAŁ I METODY

Chrząższe z rodziny *Carabidae* odławiano przy pomocy pułapek ziemnych Barbera, zawierających roztwór glikolu etylowego. W sumie w dolinie Porębianki wybrano dziesięć przekrojów poprzecznych koryta różniących się typem regulacji (rys. 1). Poszczególne rzędy zlokalizowane były na powierzchniach różniących się właściwościami fizycznymi i odległością od lustra wody (tab. 1). Pozwoliło to na wyodrębnienie trzech teras zalewowych w zależności od poziomu wody w korycie i częstości zalewów (A, B i C).



Rys. 1. Lokalizacja powierzchni badawczych w dolinie Porębianki.

Znaczenie skrótów jak w tabeli 1

Fig. 1. Site distribution of examined cross-sections in the Porebianka valley's.

Explanation of abbreviations in the Table 1

Gatunki wskaźnikowe dla poszczególnych parametrów środowiskowych na terasie zalewowej A określono na podstawie analizy IndVal [5]. Istotność statystyczną wartości indykacyjnych oceniono na podstawie metody randomizacyjnej. W celu wykazania podobieństwa gatunkowego pomiędzy zgrupowaniami zastosowano Beztrendową Analizę Korespondencji (DCA). Analiza ta, na podstawie różnic gatunkowych pozwala określić jakie czynniki mają główny wpływ na formowanie zgrupowań, a dystans pomiędzy zgrupowaniami odzwierciedla ich [8]. W celu wykazania jakie parametry struktury zgrupowań korelują z badanymi zmiennymi czynnikami środo-

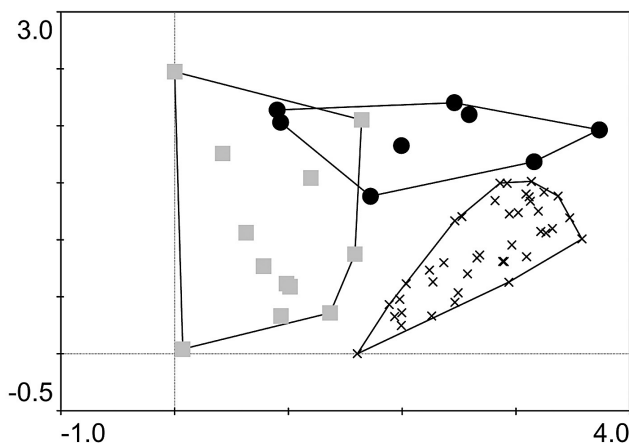
Tabela 1. Opis typów regulacji koryta i brzegów potoku Porębianka
Table 1. Description of regulation types on the Porebianka's channel and edges

Powierzchnie badawcze / study site	Opis przekroju / description of cross-section	Morfologia koryta/ channel morphology	Liczba przekrojów / number of cross-section
BK	Duże łachy żwirowiskowe, lewy brzeg wzmocniony blokami kamiennymi, regulacja dna potoku z usunięciem materiału skalnego/large bars, left bank with escarpment, regulation of stream channel by removing aluvial deposits	redepozycja / re-deposition	2
BR	Duże łachy żwirowiskowe, lewy brzeg wzmocniony blokami kamiennymi, regulacja brzegu potoku za pomocą rumoszu żwirowego z sukcesją roślin/large bars, left bank with escarpment, older regulation of stream bank by rip-rap	redepozycja/ re-deposition	2
BS	Regulacja brzegu potoku za pomocą rumoszu żwirowego świeżego/ fresh regulation of stream bank by rip-rap	redepozycja/ re-deposition	2
P	Regulacja brzegu potoku przy pomocy elementów betonowych/ regulation of stream banks by concrete drops	erozja wgłębna/ incision	2
R	Odcinki referencyjne o wysokich i stromych brzegach/ reference stream banks with steep slopes	erozja wgłębna/ incision	2

wiskowymi zastosowano Kanoniczną Analizę Korespondencji (CCA) [14]. Ranking czynników środowiskowych przeprowadzono w oparciu o wskaźnik lambda opisujący procent wariancji, w jaki dany czynnik opisuje różnicowanie gatunkowe. Istotność statystyczną danego czynnika środowiskowego testowano przy pomocy testu Monte Carlo. W celu przetestowania, które czynniki środowiskowe opisują parametry historii życiowych biegaczowatych oraz parametry struktury zgrupowań zastosowano selekcję postępującą Analizy Redundancji. Całość analiz wykonywano w oparciu o pakiet CANOCO dla Windows [15].

WYNIKI

Na rysunku 2 przedstawiono uporządkowany diagram beztrendowej analizy korespondencji (DCA) dla zgrupowań biegaczowatych potoku Porębianka. Dwie pierwsze osie ordynacyjne tej analizy opisują 16,5% wariancji (tab. 2). Na diagramie zauważyć można rozdział zgrupowań biegaczowatych w trzech grupach: pierwszą (kwadraty) stanowią zgrupowania terasy zalewowej pierwszej odcinków gdzie dominuje proces redepozycji i obecne są łachy żwirowiskowe. W drugiej grupie (koła) znajdują się także zgrupowania terasy zalewowej pierwszej, ale odcinków gdzie przekrój jest silnie wcinany, o stromych brzegach, na wskutek procesu erozji wgłębnej lub w przypadku regulacji betonowych. Dowodzi to, iż lokalizacja terasy zalewowej, a także kształt



Rys. 2. Diagram ordynacyjny beztrendowej analizy korespondencji (DCA) dla zgrupowań biegaczy potoku Porębianka na podstawie klasyfikacji w zależności od terasy zalewowej (kwadraty – zgrupowania terasy zalewowej A, koła – zgrupowania terasy zalewowej A z regulacją betonową i referencyjne wcinane, krzyżyki – zgrupowania terasy zalewowej B i C)
Fig. 2. The biplot of detrended correspondence analysis of ground beetle assemblages of the Porebianka stream with classification of river bench (square – assemblages of bench A, circle – assemblages of bench A with regulation of stream banks by concrete drops and reference incision, cross – assemblages of bench B and C)

Tabela 2. Wartości własne dla dwóch pierwszych osi ordynacyjnych DCA dla teras A, B, C potoku Porębianka

Table 2. Summary of detrended correspondence analysis for the first four axes of the Porebianka assemblages

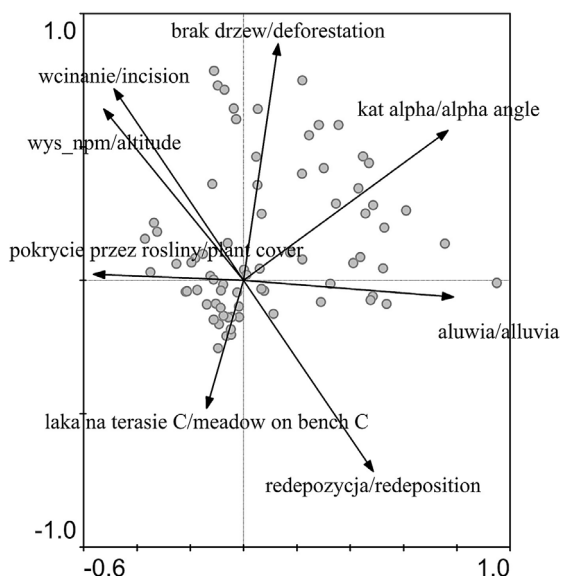
Osie/ Axes	1	2	3	4
Wartości własne / eigenvalues	0,494	0,297	0,222	0,138
Długość gradientu / lengths of gradient	3,606	2,307	2,727	1,972
Skumulowany procent wariancji danych gatunkowych / cumulative percentage variance of species data	10,3	16,5	21,1	24

koryta mają duże znaczenie dla występujących tam biegaczowatych. Natomiast w obrębie trzeciej grupy (krzyżyki) znajdują się zgrupowania pozostałych teras zalewowych (B i C).

W celu wykazania jakie czynniki środowiskowe mają główne znaczenie dla rozkładu biegaczowatych zamieszkujących środowiska w bezpośrednim sąsiedztwie linii brzegowej, w obrębie terasy A zastosowano selekcję postępującą kanonicznej analizy korespondencji (CCA), której wyniki przedstawia rysunek 3. W tabeli 3 zestawiono czynniki środowiskowe, które istotnie statystycznie opisują zróżnicowanie zgrupowań. Diagram ordynacyjny kanonicznej analizy korespondencji wyróżnia dwie główne grupy gatunków układające się w gradiencie pierwszej osi ordynacyjnej, która opisuje

Tabela 3. Podsumowanie selekcji postępującej kanonicznej analizy korespondencji dla całości zgrupowań biegaczowatych potoku Porębianka
Table 3. Summary of forward selection of canonical correspondence analysis for all beetle assemblages of Porebianka stream

Krok / Step	Czynnik / Factor	Lambda	Test monte Carlo / Monte Carlo test	Skumulowana wariancja wyjaśniona / Cumulated variation explained
1	kąt alpha	0,37	P= 0.0020; F= 4.66	0.37
	alpha angle			
2	redepozycja	0.29	P= 0.0020; F= 3.89	0.66
	redeposition			
3	pokrycie przez rośliny	0.2	P= 0.0040; F= 2.69	0,86
	cover by plants			
4	brak drzew	0.17	P= 0.0020; F= 3.34	1.03
	deforestation			
5	aluwia	0.15	P= 0.0040; F= 2.14	1.18
	alluvia			
6	łąka na terasie C	0.12	P= 0.0080; F= 1.79	1.30
	meadow on bench C			
7	wysokość npm	0.11	P= 0.0380; F= 1.54	1.41
	altitude			



Rys. 3. Diagram ordynacyjny kanonicznej analizy korespondencji dla wszystkich gatunków biegaczowatych w badanym systemie potoku Porębianka oraz parametrów środowiskowych wyłonionych na podstawie selekcji postępującej

Fig. 3. Biplot of canonical correspondence analysis of ground beetles assemblages in the Porebianka stream system and environmental variables revealed by forward selection

36,2% wariacji. Pierwsza grupa skorelowana pozytywnie z występowaniem aluwii, obejmuje gatunki o niewielkich rozmiarach ciała, występujące w przekrojach gdzie silnie zaznacza się redepozycja niesionego z nurtem materiału żwirowego. Druga grupa skorelowana z pokryciem przez rośliny, gdzie wcinanie dna koryta kształtuje przekroje o stromych brzegach gęsto porośniętych przez roślinność.

Na postawie analizy IndVal udało się wyróżnić gatunki charakterystyczne tylko dla terasy zalewowej A (tab. 4). Analizy dokonano w oparciu o klasyfikację: 1. obecność łąk żwirowiskowych na brzegach potoku, 2. regulacji korytowej z redepozycją, 3. terasowej świeżej, 4. Sukcesyjnej, 5. betonowej oraz 6. odcinków referencyjnych. Wyniki analizy IndVal wykazały gatunki charakterystyczne dla terasy A tylko w obrębie klas 1-4, natomiast w przypadku odcinków z regulacjami betonowymi oraz referencyjnych wykazano brak gatunków charakterystycznych, co wskazuje na kolonizację tych obszarów przez gatunki wszędobylskie wyższych teras zalewowych.

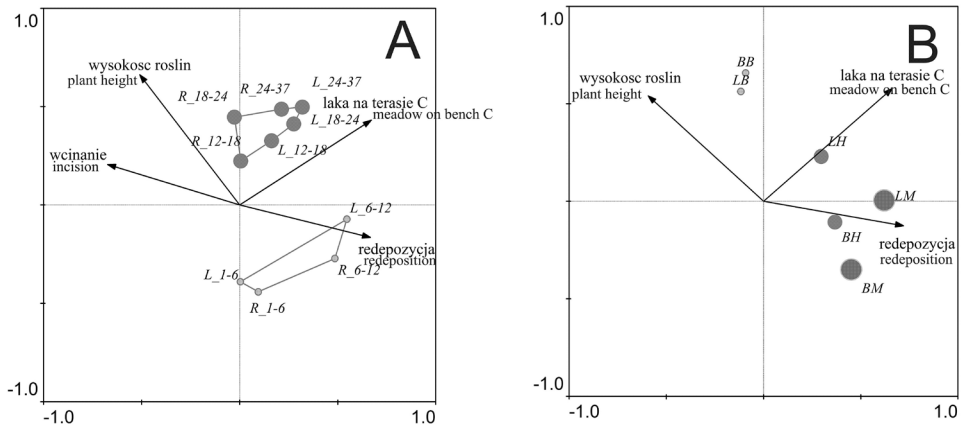
Tabela 4. Lista gatunków wskaźnikowych (IndVal) charakterystycznych dla przekrojów z erozją wglębną i redepozycją

Table 4. List of indicator species (IndVal) for incision and redeposition channel type of the Porebianka stream

Gatunki / Species	IndVal	Średnia / Mean	Odchylenie standardowe / Standard deviation	t	p
Gatunki żwirowiskowe/ alluvial species					
<i>Chlaenius nitidulus</i> (Schränk, 1781)	87.50	60.99	12.50	2.122	**
<i>Harpalus affinis</i> (Schränk, 1781)	50.00	21.54	11.73	2.426	**
<i>Poecilus lepidus</i> (Leske, 1785)	75.00	26.36	12.61	3.856	**
<i>Poecilus versicolor</i> (Sturm, 1824)	87.50	60.64	12.81	2.097	**
Gatunki związane z redepozycją/ redeposition species					
<i>Agonum sexpunctatum</i> (Linné, 1758)	36.36	18.57	8.44	2.108	**
<i>Amara ovata</i> (Fabricius, 1792)	36.36	16.82	8.34	2.343	**
<i>Anisodactylus signatus</i> (Panzer, 1796)	18.18	3.72	5.06	2.857	**
<i>Oodes helopioides</i> (Fabricius, 1792)	18.18	3.76	4.95	2.911	**
<i>Poecilus cupreus</i> (Linné, 1758)	62.50	34.74	12.37	2.245	**
<i>Bembidion fasciolatum</i> (Duftschmid, 1812)	75.00	20.35	19.01	2.875	**
<i>Bembidion varicolor</i> (Fabricius, 1803)	100.00	34.65	22.50	2.905	**
<i>Bembidion testaceum</i> (Duftschmid, 1812)	100.00	30.05	21.74	3.218	**

W celu wykazania, które parametry historii życiowej biegaczowatych istotnie statystycznie korelują ze zmiennymi środowiskowymi odgrywającymi największą rolę na obszarze terasy zalewowej A zastosowano analizę redundancji, której wyniki ilustruje rycina 4A i B. Wybrano parametry wielkości ciała oraz siły dyspersji jako decydujące o przystosowaniu do niestabilnych warunków środowiskowych na brze-

gach. Czynniki istotnymi statystycznie dla powyższej analizy są: obecność łąki na terasie zalewowej C, redepozycja, wcinanie oraz wysokość roślin (tab. 5). W przypadku parametru wielkości ciała, pierwsza oś ordynacyjna opisuje 79,6% wariancji, natomiast w przypadku parametru siły dyspersji 82,6%. Gatunki mieszczące się w najmniejszych klasach wielkości ciała zgrupowane korelują dodatnio z obecnością odcinków z redepozycją i łąkami żwirowiskowymi, oraz ujemnie z wysokością roślin i odcinkami z silnie wcinanym korytem (rys. 4A). Ponadto gatunki żyjące w bezpośrednim sąsiedztwie linii brzegowej, na łąkach żwirowiskowych wykazują bardzo wysoką zdolność lotu, w przeciwieństwie do gatunków brachypterycznych silnie skorelowanych z wysokością roślin (rys. 4B).



Rys. 4. Diagram ordynacyjny na podstawie selekcji postępującej analizy redundancji dla parametru wielkości ciała (A) oraz siły dyspersji (B) i istotnych statystycznie czynników środowiskowych. R – bogactwo gatunkowe, L – liczebność, X-Y – klasy wielkości (min-max), B – brachypteryczne, H – dimorficzne, M – makropteryczne.

Fig. 4. The ordination diagram of ground beetle body size distribution (A) and dispersal power (B) followed by forward selection of redundancy analysis. R – richness, L – abundance, X-Y – size classes (min-max), B – brachypterous, H – dimorphic, M – macropterous.

DYSKUSJA

Żwirowiska są najbardziej niestabilnymi środowiskami brzegów rzek, łączącymi cechy środowiska wodnego z lądowym. Czynniki, które mają największy wpływ na kształtowanie i funkcjonowanie tych ekosystemów, są parametry hydrauliczne, jak zmieniająca się wartość przepływu brzegowego oraz procesy sedymentacyjne podczas okresowych wezbrań wody w rzekach [10]. Szczególnie chrząszcze z rodziny biegaczowatych bardzo dobrze opanowały te środowiska [6]. W wielu badaniach potwierdzono, iż reprezentują one jedną z ekologicznie najbardziej wrażliwych grup, z wieloma wysoce wyspecjalizowanymi gatunkami [2] i dlatego zostały one wybrane jako grupa

Tabela 5. Podsumowanie selekcji postępującej analizy redundancji dla wielkości ciała i siły dyspersji zgrupowań biegaczowatych na terasie A potoku Porębianka**Table 5.** Summary of forward selection of redundancy analysis for body size distribution and dispersal power of ground beetles assemblages on bench A of the Porebianka stream

	Krok / Step	Czynnik / Factor	Lambda	Test Monte Carlo / Monte Carlo test	Skumulowana wariancja wyjaśniona / Cumulated variation explained
wielkość ciał / body size	1	łąka na terasie C	0.11	P= 0.0100; F= 7.14	0.11
		meadow on bench C			
	2	wcinanie	0.10	P= 0.0020; F= 7.28	0.21
		Incision			
	3	wysokość roślin	0.04	P= 0.0580; F= 2.99	0.25
		plant height			
	4	redepozycja	0.02	P= 0.1280; F= 1.88	0.28
		redemption			
siła dyspersji / dispersal power	1	redepozycja	0.15	P= 0.0040; F= 10.45	0.15
		redemption			
	2	łąka na terasie C	0.13	P= 0.0020; F= 10.10	0.28
		meadow on bench C			
	3	wysokość roślin	0.07	P= 0.0040; F= 6.01	0.35
		plant height			

wskaźnikowa w niniejszych badaniach. Naturalne środowiska żwirowiskowe, często zalewane podczas wezbrań w korycie, obfitują w duże ilości osadów aluwialnych [11], skąpo porośniętych przez roślinność, gdzie występuje duża obfitość pokarmu w postaci larw i imago wodnych bezkręgowców i ponadto stanowi doskonałe, wilgotne podłoże, gdzie biegaczowate składają jaja [9]. Potwierdził się także podział zgrupowań biegaczowatych w zależności od przynależności do terasy zalewowej. Zgrupowania żwirowiskowe pierwszej terasy zalewowej (A) bardzo wyraźnie odróżniają się od zgrupowań terasy zalewowej drugiej i trzeciej. Jest to efektem zmieniającej się wartości frekwencji zalewów oraz pokrycia roślinnością na poszczególnych terasach zalewowych [16]. Tak więc na terasie zalewowej pierwszej panują najbardziej niestabilne warunki środowiskowe w całym przekroju brzegowym, które wymuszają specjalne przystosowania w zakresie pewnych parametrów historii życiowej biegaczowatych, jak na przykład małe rozmiary ciała [1] i duża siła dyspersji [4]. Otrzymane wyniki potwierdzają znaczenie wielkości ciała oraz zdolności aktywnego lotu w korelacji z czynnikami środowiskowymi wynikającymi z zaburzeń spowodowanych frekwencją zalewów. Gatunki uskrzydłone, o małych rozmiarach ciała, preferują tereny otwarte, blisko linii brzegowej i o niewielkim pokryciu przez roślinność. Istnieje w biologii szereg wyjaśnień dotyczących relacji pomiędzy wielkością ciała a czynnikami śro-

dowiskowymi. Szyszko [13] wykazał, że wysoki poziom zaburzeń środowiskowych spowodowanych działalnością człowieka wpływa na zmianę proporcji ciała w stronę zgrupowań o mniejszych rozmiarach.

Zaburzeniami związanymi z działalnością człowieka, najsilniej wpływającymi na kształt i strukturę krajobrazów nadrzecznych są regulacje koryt rzecznych [12]. Regulacje poprzez zmniejszanie wartości przepływowych, obniżają znacznie częstotliwość powodzi oraz powodują zmniejszanie się lub całkowity zanik osadów aluwialnych. Skutkuje to stabilizacją warunków środowisk bezpośrednio powiązanych z lustrem wody, co prowadzi do redukcji lub zmiany bioróżnorodności i pojawiania się innych taksonów napływowych z wyższych teras. W konsekwencji następuje zubożenie pierwotnej fauny nadrzecznej. Dotyczy to także biegaczowatych, które ze względu na intensywną działalność człowieka na terenach nadrzecznych, klasyfikowane są do grupy gatunków rzadkich i zagrożonych wyparciem [3]. W badanych przekrojach, zwłaszcza w odcinkach z regulacjami betonowymi oraz odcinkach naturalnych o stromych brzegach, dochodzi do stabilizacji warunków środowiskowych, poprzez zredukowanie frekwencji zalewów oraz do całkowitej wymiany gatunków i wyeliminowania najmniejszych żwirowiskowych gatunków.

WNIOSKI

Podsumowując można powiedzieć, że dla organizmów zamieszkujących środowiska brzegów rzek, zwłaszcza górskich, kluczową rolę odgrywają parametry hydrauliczne i zmienne wartości przepływu brzegowego wody w korycie. Wyeliminowanie naturalnych zaburzeń w postaci sezonowych wezbrań, związanych z naturalną dynamiką rzeki powoduje zubożenie a nawet zanik fauny charakterystycznej dla tych środowisk. Chcąc zachować i chronić tę grupę żwirowiskowych specjalistów należy zachowywać odcinki naturalne, gdzie zachodzące procesy sedymentacyjne stworzą refugia dla rzadkich i cennych gatunków nadrzecznych.

PIŚMIENNICTWO

1. Andersen J. 1983. Towards an ecological explanation of the geographical distribution of riparian beetles in western Europe. *Journal of Biogeography*, 10: 421-435.
2. Andersen J. 1985. Humidity responses and water balance of riparian species of *Bembidiini* (Coleoptera, Carabidae). *Ecology and Entomology*, 10: 363-376.
3. Andersen J., Hanssen O. 2005. Riparian beetles, a unique, but vulnerable element in the fauna of Fennoscandia. *Biodiversity and Conservation*, 14: 3497-3524.
4. Bonn A. 2000. Flight activity of carabid beetles on a river margin in relation to fluctuating water levels. In: P. Brandmayr i in. (Eds), *Natural History and Applied Ecology of Carabid Beetles*: 147-160.
5. Dufrière M., Legendre P. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol. Monogr.*, 67: 345-366.

6. Eyre M.D., Luff M.L., Phillips D.A. 2001. The ground beetles (Coleoptera: Carabidae) of exposed riverine sediments in Scotland and northern England. *Biodiversity and Conservation*, 10: 403-426.
7. Koivula M.J. 2011. Useful model organisms, indicators, or both? Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) reflecting environmental conditions. *ZooKeys* 100: 287-317.
8. Lepń J., Nmilauer P. 2003. *Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO*. Cambridge University Press.
9. Paetzold J. Bernet J., Tockner K. 2006. Consumer-specific responses to riverine subsidy pulses in a riparian arthropod assemblage. *Freshwater Biology*, 51: 1103–1115.
10. Sadler J.P., Bell D., Fowles A. 2004. The hydroecological controls and conservation value of beetles an exposed riverine sediments in England and Wales. *Biological Conservation*, 118: 41-56.
11. Sadler J.P., Bates A.J. 2007. The Ecohydrology of Invertebrates Associated with Exposed Riverine Sediments. [In:] Wood P.J., Hannah D.N., Sadler J.P. (eds), *hydroecology and Ecohydrology: Past, Present and Future*: 37-52. Wiley & Sons West Sussex, England.
12. Stanford J.A., Ward J.V., Liss W.J., Frissell C.A., Williams R.N., Lichatowich J.A., Coutant C.C. 1996. A general protocol for restoration of regulated rivers. *Regul. Rivers: Res. Mgmt.*, 12: 391–413.
13. Szyszko J., 1983. State of Carabidae (Col.) fresh pine forest and tentative valorisation of this environment. Warsaw Agricultural University Press: 1-80.
14. Ter Braak C.J.F., Prentice J.C. 1988. A theory of gradient analysis. *Advances in ecological research*, 18: 271-317.
15. Ter Braak C.J.F., Nmilauer P. 2003. *CANOCO reference manual and users guide to CANOCO for Windows, software for Canonical Community Ordination (version 4,52)*. Biometris-Plant Research International, Wageningen, The Netherland.
16. Woodyer K.D. 1968. Bankfull frequency in rivers. *J. Hydrol.*, 6: 114-142.
17. Wyżga B., Bojarski A., Jeleński J., Zalewski J. 2008. Zagrożenia dla zrównoważonego stanu środowiska cieków karpaccich i proponowane działania zaradcze. W: Wyżga B. (red.). *Stan środowiska rzek południowej Polski i możliwości jego poprawy- wybrane aspekty*. Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków.

CARABID BEATLES AS INDICATORS REFLECTING RIVERINE ENVIRONMENTAL CONDITIONS IN DIFFERENT TYPES OF RIVER REGULATIONS

Abstract

The aim of the investigation was to estimate factors responsible for sustaining riverine communities in stream sections with various bank regulation systems. The research were conducted on Porebianka stream in the Polish Western Carpathians, where 10 different types of river regulations were chosen for the analysis (strong incision without alluvial deposits, redeposition with sand and gravel banks, concrete revetment walls along the banks, channel with banks lined with rip-rap and reference unmanaged cross- section). We conclude that the carabid beetles assemblages of the studied river sections respond mainly to hydraulic parameters of the stream. Elimination of frequent natural bank inundation (due to the regulations of the banks) is the main factor responsible for the impoverishment and extinction of riverine communities.

Key words: riverine habitats, carabid beetles, channel regulations, redeposition, incision, ecology.