

REAKCJE BEZKRĘGOWCÓW BENTOSOWYCH NA AKUMULACJĘ DROBNOZIARNISTEGO OSADU W POTOKU GÓRSKIM

Aneta Bylak, Magdalena Wójcik

Uniwersytet Rzeszowski

Streszczenie. Gospodarka leśna często wiąże się z niszczeniem pokrywy glebowej, a drogi leśne ułatwiają dopływ wyerodowanej gleby do potoków i ich zamulanie. Celem pracy była ocena stanu ekologicznego potoku narażonego na zamulanie na podstawie składu zespołu bezkręgowców bentosowych. Badaniem objęto potok Tym (Pogórze Przemyskie), mający charakter cieku górskiego, z dość dużym spadkiem koryta i kamienisto-żwirowym dnem. Zmiany w korycie potoku związane były z wynikającą z prac leśnych akumulacją drobnoziarnistego osadu na dnie. Wyznaczono 4 stanowiska badawcze: dwa w strefie akumulacji osadów i dwa na odcinkach niezamulonych. Oceniano parametry morfologiczne koryta, fizyko-chemiczne wody oraz pobierano próby makrozoobentosu. Dopływ drobnoziarnistego osadu, który pokrywał dno potoku, skutkował wyraźnym zaburzeniem składu fauny bezkręgowej. Pogorszyły się warunki siedliskowe dla bezkręgowców związanych z podłożem kamienistym i szybko płynącą wodą, tj. dla widelnic, jętek i chruścików. Natomiast na dnie pokrytym osadem mineralnym licznie były larwy *Chironomidae* i skąposzczety.

Słowa kluczowe: Karpaty, gospodarka leśna, drogi leśne, erozja gleby, jakość siedliska, makrozoobentos

WSTĘP

Zanieczyszczenia wód od dawna powodują daleko idące zmiany w ekosystemach rzek. Obok zanieczyszczeń punktowych ogromne znaczenie mają zanieczyszczenia obszarowe dostające się do wód z terenów rolniczych [Allan i Flecker 1993]. Do połowy lat 50. ubiegłego wieku duże karpackie dopływy Wisły charakteryzowały się czystą wodą. Potem bardzo szybko jakość wód uległa pogorszeniu i na początku lat 80. tylko górne odcinki głównych dopływów Wisły zachowały dobry stan ekologiczny [Kamiński

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr Aneta Bylak, Katedra Biologii Środowiska, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów, e-mail: abylak@ur.edu.pl.

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków 2016

i Wróbel 1991]. W ostatnich latach dzięki budowie nowoczesnych oczyszczalni problem zanieczyszczeń wód w wielu zlewniach jest częściowo rozwiązany.

Na naturalne zespoły ryb oraz bezkręgowców zasiedlających potoki istotnie wpływają także modyfikacje przebiegu i struktury koryta. Prowadzone od ponad 100 lat regulacje dużych i małych dopływów górnej Wisły spowodowały przyspieszenie erozji i obniżenie poziomu wód [Hennig 1991a, 1991b]. Mimo to nadal wiele odcinków dużych dopływów jest regulowanych, trwa także eksploatacja kamieni i żwiru z koryt [Punzet 1994, Wyźga i in. 2009]. Regulacje techniczne bezpośrednio wpływają na procesy morfologiczne koryt, pośrednio na faunę wodną [Wyźga i in. 2008, Bucała i Radecki-Pawlik 2011]. Skutki regulacji prowadzą do spadku różnorodności gatunkowej i liczebności makrobezkręgowców zasiedlających dno [Bylak i in. 2009].

W karpackiej części dorzecza Wisły znaczącą rolę w gospodarce ma leśnictwo. Na tym obszarze leśistość waha się od 18% na Podhalu do ok. 70% w Bieszczadach i w Tatrach [Towpasz i Zemanek 1995]. Wycinka drzew, a następnie ich transport wymagają odpowiedniej infrastruktury. W przeszłości w trudnych górskich warunkach terenowych ścięte drzewa transportowano również korytami potoków. Aby to ułatwić z dna usuwano progi skalne, głazy, zatopione drzewa. Następową znaczną redukcją zalegającego w korycie rumoszu skalnego i materii organicznej. Zniszczeniu ulegały naturalne kryjówki dla ryb i siedliska dla bezkręgowców. Badania wskazują, że regeneracja takich potoków przebiega wolno [Kukuła i Szczęsny 2000]. Dodatkowo, w rejonach z intensywną gospodarką leśną wybudowano w wielu potokach przegrody przeciwrumowiskowe, brody i przejazdy. Na odcinkach powyżej tych konstrukcji gromadzi się materiał drobnoziarnisty, poniżej zaś dno potoku eroduje.

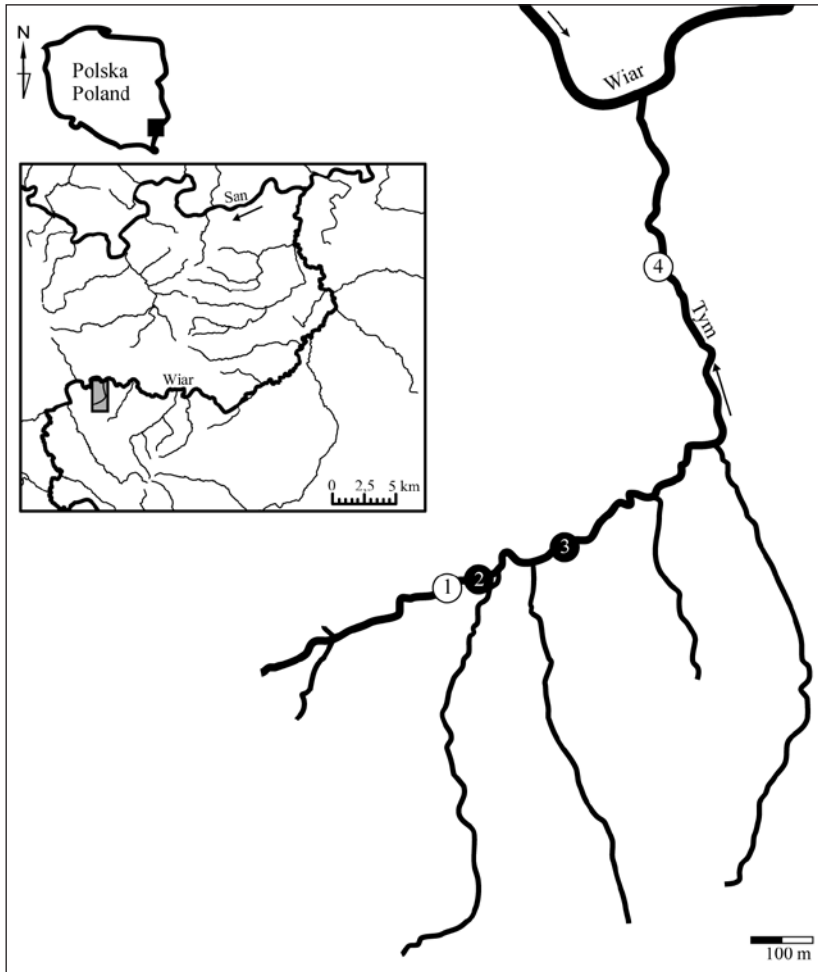
Intensywna gospodarka leśna wiąże się przede wszystkim ze wzrostem erozji w zlewni, a nieutwardzone drogi leśne ułatwiają dopływ wyerodowanej gleby do koryt potoków [Hunsaker i Neary 2012]. Erozja i związane z nią zmętnienie wody oraz zamulenie dna potoków powodują wzrost śmiertelności ryb, szczególnie ich najmłodszych stadiów rozwojowych [Carling i McCahon 1987]. Następuje radykalna zmiana charakteru podłoża, co negatywnie wpływa także na organizmy bezkręgowce zasiedlające dno [Rolauffs i in. 2001]. Odcinki karpackich potoków silnie zmienione przez gospodarkę leśną miały bardzo ubogą ichtiofaunę, negatywne zmiany obserwowano także w faunie bezkręgowcowej [Kukuła 2003, Kukuła i Bylak 2011].

Celem pracy była ocena stanu ekologicznego narażonego na zamulenie potoku podgórskiego na podstawie składu zespołu bezkręgowców bentosowych. Hipotezą badawczą było założenie, że makrofauna bezkręgowca odcinków narażonych na zamulenie różni się znacząco od fauny strefy z naturalnym podłożem.

MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono na Pogórzu Przemyskim w potoku Tym (długość ok. 3 km, powierzchnia zlewni 4,5 km²), należącym do zlewni rzeki Wiar – największego dopływu środkowego Sanu (ryc. 1). Niektóre potoki tego obszaru mają charakter cieków górskich z dość dużym spadkiem koryta, zwykle kamienistym dnem i dużą zmiennością średnich rocznych i średnich miesięcznych przepływów [Dynowska i Maciejewski 1990]. Część

potoków w zlewni Wiaru ma koryto zmienione przez prace regulacyjne oraz eksploatację kruszywa [Kukuła i Bylak 2011]. Natomiast w potoku Tym zmiany w korycie związane były głównie z wynikającą z prac leśnych akumulacją drobnopiękniatego osadu na dnie.



Ryc. 1. Lokalizacja stanowisk badawczych w potoku Tym; białe kółka – stanowiska na odcinkach potoku z naturalnym dnem, czarne kółka – stanowiska w strefie akumulacji osadu drobnopiękniatego

Fig. 1. Sampling sites in the Tým stream; white circles – sites in the sections of the stream with natural substrate, black circles – sites in the zone of sediments accumulation

W potoku wyznaczono 4 stanowiska badawcze. Dwa z nich zlokalizowane były w strefie akumulacji osadów, pozostałe obejmowały fragmenty niezamulone (ryc. 1). Każde stanowisko obejmowało 20-metrowy odcinek potoku. Stanowisko 1 położone było najwyżej, na odcinku z podłożem kamienistym i kamienisto-żwirowym. Stanowiska 2 i 3 zlokalizowane

zostały w strefie, gdzie stwierdzono zamulanie dużych fragmentów dna oraz relatywnie duży udział piasku w podłożu. Ostatni badany odcinek – stanowisko 4, to fragment koryta poniżej strefy akumulacji drobnoziarnistego osadu mineralnego (ryc. 1, tab. 1).

Tabela 1. Charakterystyka morfometryczna stanowisk badawczych w potoku Tym
Table 1. Morphometric characteristics at study stations in Tym Stream

Parametr Parameter	Stanowiska – Sites			
	1	2	3	4
Spadek – Slope, ‰	53,8	38,2	20,8	31,5
Szerokość nurtu – Current width, m	1,0–3,0	1,5–3,0	1,5–3,0	1,5–3,0
Głębokość: średnia (maks.) Depth: mean (max), m	0,1(0,2)	0,1(0,5)	0,3(0,6)	0,1 (0,4)
Rodzaj podłoża – Bottom substrate: DK/K/Z/P, %	20/60/25/5	5/5/70/20	10/40/40/10	30/60/10/0
Powierzchnia dna pokryta osadem Bottom surface covered with fine sediment, %	0	30	30	0
Zacienienie – Cover, %	80	40	40	70

DK – duże kamienie – boulders, K – kamienie – pebble-cobble, Z – żwir – gravel, P – piasek – sand

Badania prowadzono w 2011 roku w maju, lipcu i październiku. Opisywano parametry morfometryczne stanowisk. Wykonano pomiary fizyko-chemiczne wody (sonda YSI 6600 V2, spektrofotometr Slandi LF300). Na każdym stanowisku i w każdym terminie pobierano po 10 prób ilościowych makrozoobentosu. Każda próba została pobrana z powierzchni 0,05 m² za pomocą czepaka hydrobiologicznego obszytego siatką o średnicy oczek 340 µm. Bezpośrednio w terenie próby konserwowano 4% roztworem formaliny. W laboratorium wybrane z prób organizmy przenoszono do 75% etanolu i klasyfikowano do odpowiednich taksonów [wg kluczy: Rozkošný 1980, Nilsson 1996, 1997, Tachet i in. 2002]. Następnie obliczono zagęszczenia organizmów na stanowiskach (liczba osobników na 1 m² powierzchni dna). Taksony przypisano do funkcjonalnych grup troficznych, posługując się klasyfikacją zaproponowaną przez Merritta i Cummins [1996]. Na podstawie analizy tablicy wielodzielczej [Stanisz 2006] porównano frekwencje głównych taksonów w odcinkach potoku o naturalnym podłożu oraz ze strefy akumulacji osadu drobnoziarnistego.

Analizę zebranego materiału uzupełniono o ocenę stanu ekologicznego stanowisk za pomocą indeksów biotycznych: wskaźnika Margalefa (d), Polskiego Indeksu Biotycznego (BMWP-PL), %EPT [Kownacki i Soszka 2004], oraz wskaźnika bioróżnorodności Shannona-Wienera (H') [Krebs 2011].

WYNIKI

Na wszystkich stanowiskach zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie w każdym terminie przekraczała 10 mg · l⁻¹. Konduktywność wynosiła od 359–428 µS · cm⁻¹. Zawartość jonów biogennych była niewielka. Stężenie jonów NO₃⁻ oscylowało wokół

wartości $0,6 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, a ilość jonów NO_2^- nie przekraczała $0,06 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Natomiast zawartość jonów fosforanowych PO_3^{2-} w wodzie w każdym terminie badań była niższa od $0,01 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

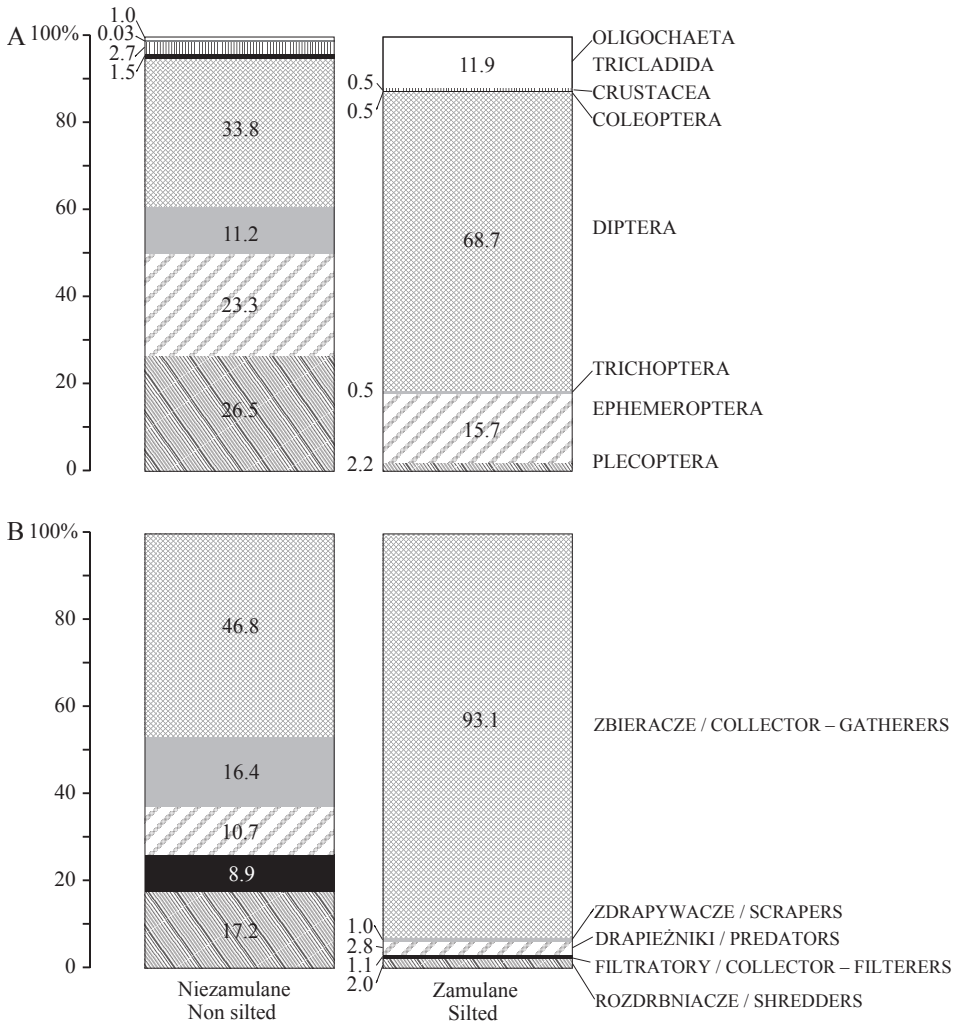
Ogólne średnie zagęszczenie makrozoobentosu było podobne w obu badanych strefach, jednakże wykazano istotne różnice dotyczące frekwencji poszczególnych taksonów (tab. 2). Widelnice były najliczniejsze na stanowiskach z naturalnym dnem (stanowiska 1 i 4) (tab. 2). Miały tam ponad 25% udział w liczbie wszystkich organizmów (ryc. 2A), a rodzina Nemouridae była jednym z najliczniejszych taksonów (ryc. 3). Liczne były również larwy z rodzaju *Leuctra* oraz z rodziny Perlidae (ryc. 3). Na odcinkach zamulonych (stanowiska 2 i 3) zagęszczenie widelnic było dziesięciokrotnie niższe (tab. 2). Podobnie, wielokrotnie mniej liczne w tej części potoku były jętki z rodziny Heptageniidae, podczas gdy w strefie niezamulonej Heptageniidae należały do najliczniej reprezentowanych taksonów (ryc. 3). Jętki z rodziny Baetidae miały podobne zagęszczenie i udział procentowy na wszystkich stanowiskach (ryc. 3). Natomiast w strefie akumulacji osadu drobnoziarnistego wśród jętek liczne były larwy z rodzaju *Ephemera*, który był jednym z czterech dominujących taksonów (ryc. 3). Zagęszczenie chruścików na stanowiskach 2 i 3 było prawie dwadzieścia razy niższe niż na pozostałych odcinkach (tab. 2), a ich udział wynosił 0,5% (ryc. 2A). Chruściki strefy nieprzekształconej (stanowiska 1 i 4) reprezentowane były przez 6 rodzin: Limnephilidae, Odontoceridae, Goeridae, Rhyacophilidae, Psychomyiidae oraz Hydropsychidae, przy czym najliczniejsza była ta ostatnia. Larwy z rodzaju *Hydropsyche* miały dość duży udział procentowy w liczbie wszystkich bezkręgowców (ryc. 3). Zagęszczenie jętek, widelnic i chruścików łącznie na stanowiskach z niezamulonym dnem było dwukrotnie wyższe niż w strefie zamulanej (tab. 2).

Tabela 2. Zagęszczenie bezkręgowców oraz różnice zespołu makrobezkręgowców pomiędzy stanowiskami (test χ^2)

Table 2. Density of invertebrates and significance (χ^2 -test) of the differences in the composition of macroinvertebrates between the sites in the Tym stream

Główne taksony Main taxa	Zagęszczenie, osobn. $\cdot \text{m}^{-2}$ Density, indiv. $\cdot \text{m}^{-2}$		NZ / ZA
	NZ	ZA	
Plecoptera	616,1	57,5	***
Ephemeroptera	1408,2	941,3	***
Trichoptera	259,4	12,8	***
Diptera	787,3	1785,6	***
Coleoptera	33,9	14,2	**
Crustacea	62,0	13,8	***
Oligochaeta	23,1	310,9	***
Tricladida	0,8	—	—
Ephemeroptera + Plecoptera + Trichoptera	2283,7	1011,5	$\chi^2 = 1453,46$
Diptera + Oligochaeta	810,4	2096,5	$d_f = 6$
Razem – Total	3190,7	3135,9	$P < 0,0001$

NZ – niezamulane – non silted, ZA – zamulane – silted; poziom istotności – significance level: *** – $P < 0,001$; ** – $P < 0,01$



Ryc. 2. Udział procentowy głównych grup taksonomicznych (A) oraz funkcjonalnych grup troficznych (B) w zespołach makrobezkręgowców bentosowych strefy potoku z naturalnym podłożem (stanowiska 1, 4) i strefy akumulacji osadów (stanowiska 2, 3)

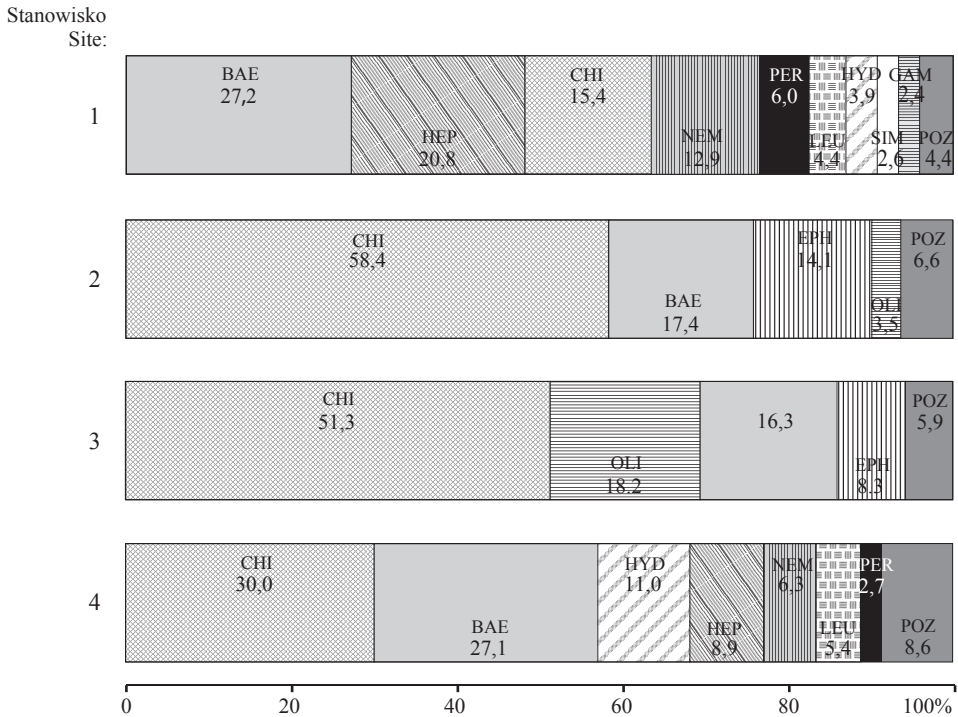
Fig. 2. Percentage of main taxonomic (A) and functional feeding (B) group of macroinvertebrates community in the section of the stream with natural substrate (sites 1, 4) and in the zone of sediments accumulation (sites 2, 3)

Skorupiaki Crustacea reprezentowane były przez kielże *Gammarus*. Na stanowiskach 1 i 4 ich zagęszczenie było kilkukrotnie wyższe niż na pozostałych. Spośród muchówek, meszki Simuliidae miały największe zagęszczenie na stanowisku 1 (91,0 osobn. · m⁻²), najliczniejsze na tym stanowisku były również larwy z rodzaju *Dicranota* (Pediiciidae). Na wszystkich badanych odcinkach obecne były ochotkowate Chironomidae, lecz najliczniej występowały one na stanowiskach zamulanych. Były tam dominantem mając

ponad 50% udział (ryc. 2A). W grupie czterech najliczniejszych taksonów na odcinkach przekształconych znalazły się także skąposzczety *Oligochaeta* (ryc. 3), które miały dziesięciokrotnie większy udział w liczebności głównych taksonów, w porównaniu do odcinków niezamulonych (ryc. 2A). Muchówki i skąposzczety łącznie miały 2.5 razy większe zagęszczenie na stanowiskach zamulonych (tab. 2).

Na stanowiskach z naturalnym podłożem (stanowiska 1 i 4), wśród funkcjonalnych grup troficznych, dominowały zbieracze, kilkunastoprocentowe udziały miały kolejno: rozdrabniacze, zdrapywacze i drapieżniki, a udział filtratorów wynosił prawie 9% (rys. 2B). Natomiast na stanowiskach, gdzie na dnie gromadził się drobnoziarnisty osad (stanowiska 2 i 3), ponad 93% wszystkich bezkręgowców stanowiły zbieracze, drugie pod względem liczebności były drapieżniki (2,8%), pozostałe grupy troficzne miały udział marginalny (ryc. 2B).

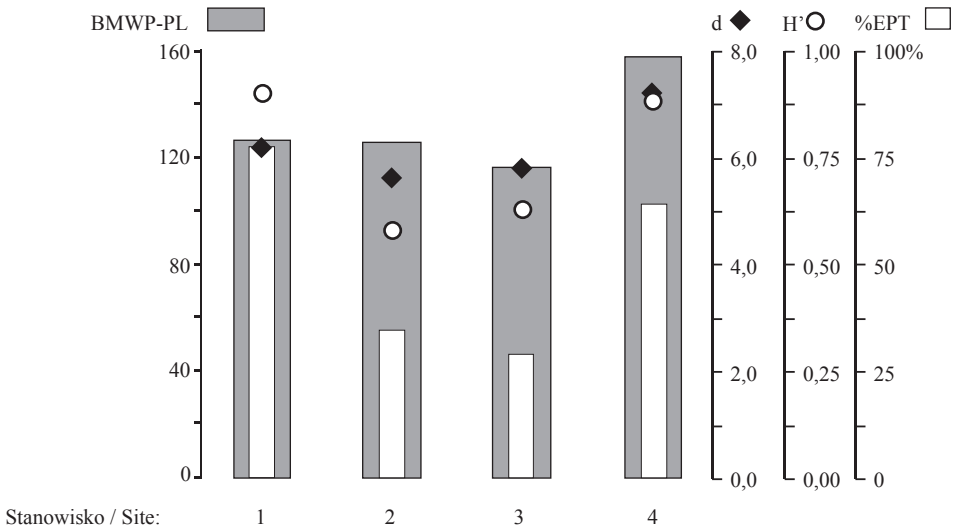
Wszystkie wskaźniki biotyczne dla odcinków zamulonych były niższe niż dla odcinków niezamulonych, co najbardziej uwidoczniło się w przypadku %EPT oraz wskaźnika bioróżnorodności H' (ryc. 4).



BAE – Baetidae, CHI – Chironomidae, EPH – Ephemerae, GAM – Gammaridae, HEP – Heptageniidae, HYD – Hydropsychidae, LEU – Leuctridae, NEM – Nemouridae, OLI – Oligochaeta, PER – Perlidae, SIM – Simuliidae, POZ – pozostałe – others

Ryc. 3. Udział procentowy szczegółowych grup taksonomicznych w zespołach makrobezkręgowców bentosowych na poszczególnych stanowiskach w potoku Tym;

Fig. 3. Percentage of detailed taxonomic group of macroinvertebrates community in the particular sampling sites along Tym Stream



BMWP-PL – Polski Indeks Biotyczny – Biological Monitoring Working Party index adapted to the Polish conditions, d – indeks Margalefa – Margalef Diversity Index, H' – wskaźnik bioróżnorodności Shannon-Wienera – Shannon-Wiener Diversity Index, %EPT – udział procentowy jętek, widelnic i chruścików – percentage of mayflies, stoneflies and caddisflies

Ryc. 4. Wartości indeksów biotycznych dla poszczególnych stanowisk w potoku Tym
Fig. 4. Values of biotic indices for the particular sampling sites along Tym Stream

DYSKUSJA

Drobnoziarnisty osad mineralny, czyli cząstki o średnicy mniejszej od 2 mm, tworzony jest przez piasek, muł i glinę [Church i in. 1987]. W potokach górskich są to frakcje, które pokrywają niewielki procent dna i gromadzą się jedynie w zatoczkach lub w pobliżu naturalnych przeszkód tworzonych przez rumoszez drzewny [Carter i Fend 2001, Bojarski i in. 2005]. Wzmoczonej akumulacji osadów sprzyja także powstanie tamy borowej [Rolauffs i in. 2001].

W nieprzekształconym przez człowieka, czy też działalność bobrów potoku górskim, dno budują różnej wielkości kamienie, głazy oraz żwir [Wyżga i in. 2009]. Badany potok Tym ma wyraźnie górski charakter, a fragmenty koryta, gdzie podłoże zachowało stan naturalny (stanowisko 1 i 4) to odcinki ze zdecydowaną przewagą kamieni (tab. 1). Taki substrat, w połączeniu z dobrymi warunkami tlenowymi i dość szybkim prądem wody, sprzyja zasiedleniu przez bezkręgowce związane z ciekami górskimi oraz podgórskimi [Merritt i Cummins 1996]. Licznie występowały tu widelnice, jętki płaskie z rodziny Heptageniidae (rys. 2A, 3), stosunkowo liczne były także chruściki z rodzaju *Rhyacophila*. Wymienione bezkręgowce są jednymi z najbardziej wrażliwych, najszybciej reagujących na zmiany w środowisku wodnym taksonów [Kownacki i Soszka 2004]. Poza parametrami fizyko-chemicznymi wody, to właśnie struktura podłoża najsilniej wpływa na skład makrofauny bezkręgowej. Podłoże kamieniste jest najbardziej stabilne,

a jednocześnie oferuje liczne kryjówki dla zoobentosu. Fragmenty kamieniste potoków górskich charakteryzują się bardzo zróżnicowanym taksonomicznie makrozoobentosem, tworzonym głównie przez gatunki o dużych wymaganiach tlenowych [Rozkošný 1980, Merritt i Cummins 1996].

W zlewniach, w których prowadzona jest gospodarka leśna, do potoków dociera znaczna ilość cząstek wyplukiwanych z gleby [Mosley 1980, Hunsaker i Neary 2012]. Ich głównym źródłem są rozjeżdżone ciężkim sprzętem drogi gruntowe oraz szlaki zrywkowe, z których po opadach deszczu spływa do potoku wyplukiwana gleba powodująca okresowe zmętnienie wody [Riedel i in. 2007]. Drobnoziarnisty osad unoszony przez wodę ogranicza penetrację światła słonecznego, co w konsekwencji może zmniejszyć produkcję pierwotną [Davies-Colley i in. 1992]. Sedymentacja cząstek unoszonych i ich akumulacja na dnie czasem prowadzi do zmiany morfologii koryta potoku, lecz przede wszystkim modyfikuje podłoże. Muł pokrywa kamienie i żwir jednolitą warstwą, oraz wypełnia przestrzenie pomiędzy kamieniami [Doeg i Koehn 1994, Wood i Armitage 1997].

Osady mineralne pokrywając dno, zasadniczo zmieniają warunki w korycie potoku [Hunsaker i Neary 2012]. Mimo że w badanym cieku osady były w znacznej mierze stopniowo zmywane w dół, to środkowa część potoku Tym uległa widocznej degradacji. Problem silnego zamulania podłoża dotyczył odcinka, na którym zlokalizowane były stanowiska 2 i 3 (ryc. 1, tab. 1). Zamulenie podłoża kamienistego powoduje przede wszystkim zmniejszenie dostępnych siedlisk dla organizmów zasiedlających dno [Petts 1984]. Zamiast mozaiki siedlisk występującej w potoku górskim tworzą się odcinki z homogennym dnem pokrytym przez osady, a fauna bezkręgowca staje się mniej urozmaicona [Rolauuffs i in. 2001, Extence i in. 2013]. Ciasno upakowane cząstki podłoża mulistego nie pozwalają na swobodny przepływ natlenionej wody, stąd poza przystosowaniami ułatwiającymi zagłębianie się w osadach, zwierzęta żyjące na podłożu mulistym muszą być również przystosowane do przetrwania w niekorzystnych warunkach tlenowych [Wood i Armitage 1997]. Zespół bezkręgowców dennych stanowisk 2 i 3 składał się przede wszystkim z preferujących podłoże drobnoziarniste larw muchówek Chironomidae oraz skąposzczetów. Wśród jętek dominowała tu rodzina Baetidae, do której należą gatunki wykorzystujące różne typy siedlisk i część z nich jest odporna na modyfikacje siedliska. Na stanowiskach 2 i 3 charakterystyczny był też duży udział jętek grzebiących Ephemeridae (ryc. 3) związanych z dnem piaszczystym [Rozkošný 1980, Kownacki i Soszka 2004]. Ogólne zagęszczenie makrozoobentosu na stanowiskach zamulanych było podobne jak na stanowiskach niezamulanych (tab. 2). Natomiast wyraźnie zmieniła się struktura fauny bezkręgowcej, która w części potoku z nagromadzonym osadem drobnoziarnistym (stanowiska 2 i 3) została zdominowana przez cztery taksony (ryc. 3).

Zmianom warunków w potoku górskim po zamuleniu dna towarzyszą ilościowe i jakościowe zmiany makrozoobentosu. Pojawiają się grupy, które w potoku nie występowały, bądź były nieliczne. Dno pokryte osadem mineralnym i organicznym zasiedlają liczne larwy ochotkowatych Chironomidae oraz skąposzczety *Oligochaeta* [Pliūraite i Kesminas 2012]. Pokrycie kamienistego dna drobnocząsteczkowym osadem jest powodem zaniku wielu taksonów bezkręgowców bentosowych typowych dla potoku górskiego. Z takich odcinków wycofują się gatunki widelnic, jętek i chruścików związane z podło-

zem kamienistym [Harthun 1999, Hering i in. 2001, Relyea i in. 2012]. W potoku Tym na stanowiskach 2 i 3 udział przedstawicieli tych rzędów owadów był prawie dwukrotnie mniejszy w porównaniu do niezamulonych stanowisk 1 i 4 (ryc. 4).

Z jakościowymi i ilościowymi zmianami w zespole makrobezkręgowców bentosowych stanowisk 2 i 3 w potoku Tym ściśle związane były zmiany frekwencji funkcjonalnych grup troficznych. W tych zdegradowanych odcinkach potoku najliczniej reprezentowana była grupa zbieraczy (ryc. 2B). Na odcinkach potoku górskiego, gdzie gromadzi się drobnoziarnisty materiał mineralny, nie znajdując odpowiednich siedlisk, zanikają takie grupy ekologiczne jak filtratory czy zdrapywacze [Anderson i Rosemond 2010].

Makrobezkręgowce bentosowe zasiedlające dno potoków są dobrym wskaźnikiem stanu ekologicznego cieków. Do jego oceny najczęściej stosuje się zintegrowane indeksy biotyczne, które są wspierane dodatkowo analizą parametrów hydromorfologicznych koryta oraz fizyko-chemicznych wody [Gorzel i Kornijów 2004]. Ponieważ parametry fizyko-chemiczne wody w potoku Tym były charakterystyczne dla wód czystych, to za różnice w wartościach indeksów biotycznych poszczególnych stanowisk odpowiadały, wynikające z rodzaju podłoża, odmienne siedliska dla fauny bezkręgowej (ryc. 4, tab. 1). Indeks BMWP-PL wskazał na dobry stan ekologiczny stanowisk położonych w strefie zamulania (ryc. 1, 4), jednakże, system ten nie uwzględnia zagęszczenia bezkręgowców [Kownacki i Soszka 2004], i nie wystarcza do ostatecznej oceny. Wartości wskaźnika różnorodności biologicznej Shanona-Wienera (ryc. 4) świadczą o znacznym zubożeniu fauny stanowisk 2 i 3 [Krebs 2011]. Ocena oparta na indeksach biotycznych (ryc. 4), połączona z analizą jakościową i ilościową makrozoobentosu wskazała na wyraźne zaburzenia w składzie bentofauny stanowisk zlokalizowanych w strefie akumulacji osadów.

Poza zmianami w faunie bezkręgowej, obecny w korycie osad drobnoziarnisty wpływa także na ichtiofaunę. Nawet cienka warstwa drobnego osadu mineralnego działa na ryby negatywnie: pośrednio – zubożając ich potencjalną bazę pokarmową [Witkowski i Terlecki 2000], ale także bezpośrednio – niekorzystnie wpływając na rozwój ikry i wylęgu [Berkman i Rabeni 1987]. W efekcie dno pokryte osadem jest nieprzydatne na tarliska gatunków litofilnych [Carling i McCahon 1987].

W lasach eksploatowanych gospodarczo całkowite wyeliminowanie problemu zamulania koryt potoków śródlęśnych wydaje się trudne. Należy jednak podejmować próby ograniczenia spływu wód ze szlaków zrywkowych i zmniejszenia transportu rumowiska do potoków, tak aby zahamować dalszą degradację potoków.

PODSUMOWANIE

Wzrost erozji gleby w zlewni badanego potoku był spowodowany przez prace leśne naruszające strukturę gleby. Drogi gruntowe i szlaki zrywkowe stały się źródłem drobnoziarnistego materiału mineralnego, który wraz z wodami opadowymi spływał wzdłuż stoków czy też drogą biegnącą wzdłuż potoku. W zlewni potoku liczne są również cieki okresowe, które dodatkowo wpływały na zwiększenie dostawy wypłukiwanych z gleby cząstek. Osady mineralne pokrywając dno, zasadniczo zmieniły warunki w korycie potoku. Mimo, że osady były stopniowo zmywane w dół, to jednak badana część potoku uległa widocznej degradacji. Dostarczenie do koryta drobnoziarnistego osadu pokrywa-

jącego dna potoku, skutkowało pogorszeniem się warunków dla gatunków związanych z kamienistym dnem, szczególnie dla widelnic, jętek czy chruścików. Zmianom warunków w potoku po zamuleniu dna (stanowiska 2–3) towarzyszyły ilościowe i jakościowe zmiany makrozoobentosu. Liczniej pojawiły się grupy, które w potokach górskich występują w mniejszych zagęszczeniach. Dno pokryte osadem mineralnym i organicznym zasiedliły larwy *Chironomidae* oraz skąposzczety, a spośród jętek larwy Ephemeroidea związane z piaszczysto-mulistym dnem. Ocena stanu ekologicznego zamulonej części potoku, oparta na makrozoobentosie, wskazała na jego wyraźnie gorszy stan w stosunku do naturalnych kamienistych odcinków cieku.

PIŚMIENNICTWO

- Allan, J.D., Flecker, S.A. (1993). Biodiversity conservation in running waters. Identifying the major factors that threaten destruction of riverine species and ecosystems. *Bioscience*, 43, 32–43.
- Anderson, C.B., Rosemond, A.D. (2010). Beaver invasion alters terrestrial subsidies to subantarctic stream food webs. *Hydrobiologia*, 652, 349–361.
- Berkman, H.E., Rabeni, C.F. (1987). Effects of siltation on stream fish communities. *Environ. Biol. Fish.*, 18, 285–294.
- Bojarski, A., Jeleński, J., Jelonek, M., Litewka, T., Wyżga, B., Zalewski, J. (2005). Zasady dobrej praktyki w utrzymaniu rzek i potoków górskich. Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- Bucała, A., Radecki-Pawlik, A. (2011). Wpływ regulacji technicznej na zmiany morfologii górskiego potoku: potok Jamne, Gorce. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 10(1), 3–16.
- Bylak, A., Kukuła, K., Kukuła, E. (2009). Influence of regulation on ichthyofauna and benthos of the Różanka stream. *Ecohydrol. Hydrobiol.*, 9, 211–223.
- Carling, P.A., McCahon, C.P., (1987). Natural siltation of brown trout (*Salmo trutta* L.) spawning gravels during low-flow conditions. [W:] J.F. Craig, J.B. Kemper (red.). *Regulated streams: Advances in ecology*. Plenum Press, New York, 229–244.
- Carter, J.L., Fend, S.V. (2001). Inter-annual changes in the benthic community structure of riffles and pools in reaches of contrasting gradient. *Hydrobiologia*, 459, 187–200.
- Church, M.A., Mclean, D.G., Wolcott, J.F. (1987). River bed gravels: Sampling and analysis. [W:] Thorne, C.R., Bathurst, J.C., Hey, R.D. (red.). *Sediment transport in gravel-bed rivers*. John Wiley, Chichester, 43–79.
- Davies-Colley, R.J., Hickey, C.W., Quinn, J.M., Ryan, P.A. (1992). Effects of clay discharges on streams: 1. Optical properties and epilithon. *Hydrobiologia*, 248, 215–234.
- Doeg, T.J., Koehn, J.D. (1994). Effects of draining and desilting a small weir on downstream fish and macroinvertebrates. *Reg. Riv. Res. Manag.*, 9, 263–278.
- Dynowska, I., Maciejewski, M. (red.) (1991). *Dorzecze górnej Wisły*. Cz. I. PWN, Warszawa – Kraków.
- Extence, C.A., Chadd, R.P., England, J., Dunbar, M.J., Wood, P.J., Taylor, E.D. (2013). The assessment of fine sediment accumulation in rivers using macro-invertebrate community response. *River Res. Appl.*, 29(1), 17–55.
- Gorzal, M., Kornijów, R. (2004). Biologiczne metody oceny jakości wód rzecznych. *Kosmos*, 53(2), 183–191.
- Harthun, M. (1999). The Influence of the European beaver (*Castor fiber albicus*) on the biodiversity (*Odonata*, *Mollusca*, *Trichoptera*, *Ephemeroptera*, *Diptera*) of brooks in Hesse (Germany). *Limnologica*, 29, 449–464.
- Hennig, I. (1991a). Regulacja rzek. [W:] Dynowska, I., Maciejewski, M. (red.). *Dorzecze górnej Wisły*. Część II. Warszawa, Kraków, PWN, 154–157.

- Hennig, I. (1991b). Zabudowa potoków i rzek górskich. [W:] I. Dynowska, M. Maciejewski (red.). Dorzecze górnej Wisły. Cz. II. PWN, Warszawa – Kraków, 158–161.
- Hering, D., Gerhard, M., Kiel, E., Ehlert, T., Pottgiesser, T. (2001). Review study on near-natural conditions of central European mountains streams, with particular reference to derbis and beaver-dams: results of the „REG Meeting” 2000. *Limnologica*, 31, 81–92.
- Hunsaker, C.T., Neary, D.G. (2012). Sediment loads and erosion in forest headwater streams of the Sierra Nevada, California. Revisiting Experimental Catchment Studies in Forest Hydrology, Proceedings of a Workshop held during the XXV IUGG General Assembly in Melbourne, June–July 2011, IAHS Publ. 353.
- Kamiński, B., Wróbel, S. (1991). Zanieczyszczenia wód. [W:] I. Dynowska, M. Maciejewski, (red.). Dorzecze górnej Wisły. Cz. II. PWN, Warszawa – Kraków, 27–42.
- Kownacki, A., Soszka, H., (2004). Wytyczne do oceny stanu rzek na podstawie makrobezkręgowców oraz do pobierania prób makrobezkręgowców w jeziorach. IOŚ, Warszawa.
- Krebs, C.J. (2011). Ekologia. Eksperymentalna analiza rozmieszczenia i liczebności. PWN, Warszawa.
- Kukuła, K. (2003). Structural changes in the ichthyofauna of the Carpathian tributaries of the River Vistula caused by anthropogenic factors. *Suppl. ad Acta Hydrobiol.*, 4, 1–63.
- Kukuła, K., Bylak, A. (2011). Wpływ czynników antropogenicznych na faunę karpackich dopływów Wisły. *Rocz. Bieszcz.*, 11, 207–222.
- Kukuła, K., Szczęsny, B. (2000). Ecological characteristics and conservation of aquatic ecosystems in Western Bieszczady Mountains. [W:] S. Michalik, J. Pawłowski (red.). *Monogr. Bieszcz.*, 10, 79–114.
- Merritt, R.W., Cummins, K.W. (red.) (1996). An introduction to the aquatic insects of North America, Wyd. 3. Kendall/Hunt Publ. Co., Dubuque (Iowa).
- Mosley, M.P. (1980). The impact of forest road erosion in the Dart Valley, Neison. *N. Z. J. For.*, 184–198.
- Nilsson, A.N. (red.) (1996). *Aquatic Insects of North Europe – A Taxonomic Handbook. Vol. 1.*, ApolloBooks, Stenstrup.
- Nilsson, A.N. (red.) (1997). *Aquatic Insects of North Europe – A Taxonomic Handbook. Vol. 2.*, ApolloBooks, Stenstrup.
- Petts, G.E. (1984). *Impounded rivers: Perspectives for ecological management.* John Wiley, Chichester.
- Pliūraite, V., Kesminas, V. (2012). Ecological impact of Eurasian beaver (*Castor fiber*) activity on macroinvertebrate communities in Lithuanian trout streams. *Cent. Eur. J. Biol.*, 7(1), 101–114.
- Punzet, J. (1994). Podsumowanie wykonanych badań nad zmiennością koryt rzek karpackich w XX wieku. *Gosp. Wodna*, 7, 157–162.
- Relyea, C.D., Minshall, G.W., Danehy, R.J. (2012). Development and validation of an Aquatic Fine Sediment Biotic Index. *Environ. Manag.*, 49(1), 242–252.
- Riedel, M.S., Swift, L.W. Jr., Vose, J.M., Clinton, B.D., 2007. Forest Road Erosion Research at the Coweeta Hydrologic Laboratory. [W:] M. Furniss, C. Clifton, K. Ronnenberg (red.). *Advancing the Fundamental Sciences: Proceedings of the Forest Service National Earth Sciences Conference, San Diego, CA, 18-22 October 2004, PNW-GTR-689, Portland.*
- Rolauffs, P., Hering, D., Lohse, S. (2001). Composition, invertebrate community and productivity of a beaver dam in comparison to other stream habitat types. *Hydrobiologia*, 459, 201–212.
- Rozkošný, R. (red.), 1980. *Klíč vodních larev hmyzu. Českoslov. Akad. VĚD, Praha.*
- Stanisz A., 2006. *Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. Tom 1. Statystyki podstawowe.* StatSoft Polska, Kraków.
- Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M., Usseglio-Polatera, P. (2002). *Invertébrés d'eau douce, Systématique, biologie, écologie,* CNRS Editions, Paris.

- Towpasz, K., Zemanek, B. (1995). Szata roślinna. [W:] J. Warszyńska (red.). Karpaty Polskie. UJ, Kraków.
- Witkowski, A., Terlecki, J. (2000). Głowacz pęrgopletwy *Cottus poecilopus*. [W:] M. Brylińska (red.). Ryby słodkowodne Polski. PWN, Warszawa, 447–450.
- Wood, P.J., Armitage, P.D. (1997). Biological effects of fine sediment in the lotic environment. *Management*, 21, 203–217.
- Wyźga, B., Bojarski, A., Jeleński, J., Jelonek, M., Litewka, T., Zalewski, J. (2008). Ocena stanu istniejącego cieków z karpackiej części dorzecza górnej Wisły i możliwości jego poprawy w świetle “Zasad dobrej praktyki w utrzymaniu rzek i potoków górskich”. [W:] L. Tomiałojć, A. Drabiński (red.). Środowiskowe aspekty gospodarki wodnej. Komitet Ochrony Przyrody PAN, Wrocław, 191–208.
- Wyźga, B., Amirowicz, A., Radecki-Pawlik, A., Zawiejska, J. (2009). Hydromorphological conditions, potential fish habitats and the fish community in a mountain river subjected to variable human impacts, the Czarny Dunajec, Polish Carpathians. *River. Res. Applic.*, 25, 517–536.

BENTHIC MACROINVERTEBRATE COMMUNITIES RESPONSE ON THE FINE SEDIMENT ACCUMULATION IN MOUNTAIN STREAM

Abstract. Forestry is often associated with an increase rates of soil erosion and sediment transport, and forest roads facilitate the flow of sediment particles to streams. The aim of the study was ecological status assessment of the stream exposed to silting, based on benthic invertebrates responses. The research was carried out in the Tym Stream, which is a mountainous stream with a rather large slope and pebble-gravel bottom. Changes in channel of the stream were associated with the accumulation of fine sediments. Sources of sediments in the stream were mainly forest roads and trails. There were 4 sampling sites: two in the zone of sediments accumulation and two in the sections of the stream that were not silted. Morphological and physico-chemical parameters were measured. The main object of the study was macrozoobenthos. The accumulation of fine sediments worsen the living conditions of natural communities of invertebrate fauna, especially invertebrates associated with stony bottom and quickly flowing water like stoneflies, mayflies and caddisflies. Siltation of the substrate decreased the variety of the habitats. In the community of benthos in silted sites chironomid larvae and oligochaetes dominated.

Keywords: Carpathians, forestry, forest roads, soil erosion, quality of habitat, macrozoobenthos

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 10.03.2016

Do cytowań – For citation: Bylak, A., Wójcik, M. (2016). Reakcje bezkręgowców bentosowych na akumulację drobnoziarnistego osadu w potoku górskim. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 15(1), 35–47.