

Justyna HACHOŁ, Elżbieta BONDAR-NOWAKOWSKA*

WIELOKRYTERIALNA OCENA SKUTKÓW REGULACJI RZEK

W pracy podjęto próbę oceny skutków wykonania robót regulacyjnych w korytach rzecznych w aspekcie bezpieczeństwa powodziowego i ekologicznego. Zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju, konieczne jest znalezienie kompromisu w tym zakresie. Dlatego w analizie uwzględniono zarówno kryteria techniczne, jak i przyrodnicze. Badania terenowe wykonano w okresach wegetacyjnych w latach 2008–2014, w małych i średnich ciekach nizinnych Dolnego Śląska, w których wykonano roboty regulacyjne. Zakres tych robót był zróżnicowany. Badania terenowe obejmowały pomiar i opis wybranych technicznych i przyrodniczych elementów złożonego systemu koryta cieku, takich jak: spadek podłużny, szerokość dna, głębokość koryta, nachylenie i sposób umocnienia skarp, substrat dna, zacieńnienie koryta, naturalne elementy w korycie, liczba gatunków naczyniowych roślin wodnych oraz stopień pokrycia przez nie dna cieku. Na podstawie wyników badań dokonano wielokryterialnej oceny skutków robót. W tym celu zastosowano metodę unitaryzacji zerowanej. Pozwoliło to utworzyć liniowy ranking koryt rzecznych oraz wskazać optymalne rozwiązanie w aspekcie zrównoważonego rozwoju.

1. WSTĘP

Regulacja rzek i potoków to planowe wykonanie różnego rodzaju zabiegów i budowli technicznych, za pomocą których przewiduje się osiągnięcie zamierzonego celu regulacji, a więc przede wszystkim powstrzymanie szkód, wywoływanych wodami płynącymi oraz zwiększenie użyteczności cieków dla powszechnego wykorzystania wody w gospodarce narodowej [12]. Według art. 67 ustawy Prawo wodne regulacja koryt cieków naturalnych polega na podejmowaniu przedsięwzięć, których zakres wykracza poza działania związane z utrzymaniem wód, a w szczególności na kształtowaniu przekroju podłużnego i poprzecznego oraz układu poziomego koryta cieku. Zabiegi te służą poprawie warunków korzystania z wód i ochronie przeciwpowodziowej [11].

* Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, pl. Grunwaldzki 24, 50–363 Wrocław, justyna.hachol@up.wroc.pl

Większość autorów jest zgodna co do tego, iż każda ingerencja człowieka w korycie cieków ma wpływ na jego biocenozę. Żelazo i Popek [14] podają, że zbiegi takie jak prostowanie koryt, zwiększenie spadku zwierciadła wody, nadawanie przekrojom poprzecznym koryt ujednoczonych kształtów i wymiarów, likwidacja nieregularności brzegów i dna, likwidacja wysp, a także zbędne lub prowadzone w zbyt szerokim zakresie roboty konserwacyjne przyczyniają się do utraty naturalności wód płynących. Według Gunkela [2] techniczna zabudowa cieków jest, obok bezpośredniego wprowadzania substancji do wód, głównym zagrożeniem dla ekosystemów wodnych. Regulacja konwencjonalna, prowadzona według tzw. zasad technicznych, jest przyczyną zmian charakterystyk hydraulicznych rzeki. Następstwem tego jest nieuniknione naruszenie istniejącej dynamicznej równowagi rzeki oraz jej środowiska, a tym samym jego ekologiczne zagrożenie [13]. Zgodnie z koncepcją zrównoważonego rozwoju każda ingerencja w koryto cieków powinna służyć poprawie warunków bytowych oraz bezpieczeństwa ludzi przy możliwie najszerzej ochronie przyrody [1]. Podczas planowania i wykonawstwa robót regulacyjnych i konserwacyjnych należy więc zapewniać optymalizację kryteriów gospodarczych i ekologicznych.

Celem pracy jest wielokryterialna ocena skutków wykonania robót regulacyjnych w małych i średnich rzekach nizinnych. Aby ten cel osiągnąć zidentyfikowano kryteria oceny oraz zaproponowano dla nich syntetyczne wskaźniki oceny skutków robót.

2. METODYKA

Badania prowadzono w sezonach wegetacyjnych w latach 2008–2014 na czterech odcinkach badawczych. Odcinki te zlokalizowane były w czterech ciekach nizinnych na Dolnym Śląsku, w których w ciągu ostatnich 3–5 lat wykonano roboty regulacyjne. Zakres robót regulacyjnych obejmował głównie: pogłębienie koryta, zmianę pochylenia skarp, wykonanie umocnień brzegowych za pomocą kieszki faszynowej, koszy siatkowo-kamiennych lub z wykorzystaniem elementów betonowych. Zakres robót wykonanych na poszczególnych odcinkach przedstawiono w tabeli 1.

Na każdym odcinku badawczym dokonano szczegółową inwentaryzację elementów koryta cieków, kształtowanych przez roboty regulacyjne. Były to: spadek podłużny, szerokość dna, głębokość koryta, nachylenie skarp, sposób ich umocnienia oraz substrat dna. Pomiar spadku podłużnego, szerokości dna, głębokości koryta oraz nachylenia skarp wykonywany był na całej długości odcinka badawczego, w profilach poprzecznych rozmieszczonych co 10 m. Na tej podstawie obliczano wartość średnią dla całego odcinka. W tych samych profilach oceniano rodzaj umocnienia skarp oraz substrat dna.

Tabela 1. Zakres robót regulacyjnych na odcinkach badawczych

Rzeka	Zakres robót w korycie:	Szerokość dna [m]	Głębokość koryta [m]
Dobra	wykoszenie roślin w strefie przybrzeżnej i na skarpach, pogłębienie koryta, ukształtowanie przekroju poprzecznego ze skarpami pionowymi, umocnienie skarpi koszami siatkowo-kamiennymi,	6,8	2,0
Sąsiedzka	wykoszenie roślin w strefie przybrzeżnej i na skarpach, odmulenie dna wraz z usunięciem roślin wodnych, ukształtowanie przekroju poprzecznego ze skarpami o nachyleniu 1:2, umocnienie podstawy skarpi darnią	10,0	1,5
Ślęza	wykoszenie roślin w strefie przybrzeżnej i na skarpach, pogłębienie koryta, ukształtowanie przekroju poprzecznego ze skarpami pionowymi, umocnienie skarpi murkiem betonowym, umocnienie dna elementami betonowymi	5,0	3,0
Żurawka	wykoszenie roślin w strefie przybrzeżnej i na skarpach, odmulenie dna wraz z usunięciem roślin wodnych, ukształtowanie przekroju poprzecznego ze skarpami o nachyleniu 1:2, umocnienie podstawy skarpi kieszka faszynową	3,0	2,0

Na każdym odcinku badawczym zidentyfikowano gatunki naczyniowych roślin wodnych oraz określono stopień pokrycia przez nie dna. Pod uwagę brano wszystkie rośliny naczyniowe, zakorzenione w wodzie przez przynajmniej 90% okresu wegetacji, a także rośliny wyższe, swobodnie pływające na powierzchni wody lub pod nią. Gatunki roślin wodnych oznaczano bezpośrednio na stanowisku badawczym. Do określenia stopnia obfitości roślin w korycie zastosowano skalę 5-stopniową Kohlera [4]. W skali tej 1 oznacza gatunek bardzo rzadki, 2 – gatunek rzadki, 3 – gatunek częsty, 4 – obfity, 5 – gatunek bardzo obfity. Skala ta została zaadoptowana w metodyce monitoringowej, zgodnej z założeniami Ramowej Dyrektywy Wodnej, w której każdemu stopniowi przypisane są przedziały wartości procentowego udziału w pokryciu dna [8]. W trakcie badań oceniano również stopień zacienienia koryta, a także liczbę naturalnych elementów morfologicznych koryta.

Do oceny skutków regulacji cieków w aspekcie technicznym i przyrodniczym zastosowano metodę unitaryzacji zerowanej. Metoda ta należy do grupy metod wielokryterialnej analizy porównawczej. Każde kryterium charakteryzowane jest przez parametry, które w ostatecznej ocenie będą warunkowały wybór optymalnego rozwiązania.

2.1. KRYTERIUM TECHNICZNE

Jednym z głównych celów regulacji rzek jest zapewnienie bezpieczeństwa powodziowego na terenach przyległych. W związku z tym jako kryterium techniczne przyjęto w ocenie poziom ochrony przed powodzią.

Na poziom ten wpływają:

- stateczność dna i skarp,
- trwałość i odporność dna i skarp na działanie wody i lodu,
- stan techniczny umocnień,
- powierzchnia przekroju poprzecznego.

Na stateczność, trwałość oraz odporność skarp mają wpływ materiały stosowane do umocnienia. Ubezpieczenie brzegów w postaci naturalnej biologicznej obudowy koryta spełnia kryteria regulacji przyjaznej naturze [12, 14]. Jednak stateczność i odporność na działanie wody i lodu tak umocnionych skarp są niewielkie. Znacznie lepszą ochronę przeciwpowodziową zapewniają: narzut kamienny, gabiony siatkowo-kamienne, murki oporowe, okładziny betonowe oraz ścianki szczelne [9].

Do oceny stateczności, trwałości i odporności skarp na działanie wody i lodu przyjęto skalę 6-stopniową (tabela 2).

Tabela 2. Skala oceny stateczności, trwałości i odporności skarp

Liczba punktów	Rodzaj umocnienia skarp
1	Brak
2	Biologiczna obudowa koryta
3	Faszyna
4	Narzut kamienny
5	Gabiony i materace siatkowo-kamienne
6	Murek oporowy, okładziny betonowe, ścianki szczelne

Na stateczność, trwałość i odporność dna wpływa rodzaj substratu oraz sposób jego umocnienia. Wraz ze wzrostem wielkości ziaren substratu wzrasta odporność dna na działanie wody i lodu. Do oceny stateczności, trwałości i odporności dna przyjęto skalę 5-stopniową (tabela 3).

Stan techniczny umocnień oceniano bezpośrednio w terenie. W analizie brano pod uwagę liczbę wyrw, podmyć, pęknięć i innych uszkodzeń. Pole powierzchni przekroju poprzecznego obliczono dla profili poprzecznych rozmieszczonych co 10 m. Następnie wartość uśredniono dla każdego odcinka badawczego.

Tabela 3. Skala oceny stateczności, trwałości i odporności dna

Liczba punktów	Rodzaj substratu dna
1	Organiczny
2	Piasek
3	Żwir
4	Kamienie
5	Beton

2.2. KRYTERIUM PRZYRODNICZE

Jako wskaźniki oceny tego kryterium przyjęto:

- liczbę gatunków naczyniowych roślin wodnych,
- wskaźnik różnorodności gatunkowej Shannona-Wienera,
- zadrzewienia na brzegach,
- naturalne elementy morfologiczne koryta.

Liczba gatunków jest podstawowym biologicznym wskaźnikiem ilościowej oceny zbiorowisk roślin wodnych. Wskaźnik Shannona-Wienera pozwala ocenić różnorodność gatunkową analizowanego zbiorowiska, uwzględniając zarówno liczbę gatunków, jak i równomierność ich udziału w pokryciu. Wskaźnik ten wyznaczono na podstawie wzoru [8]:

$$H = -\sum_{i=1}^s (N_i \times \ln N_i) \quad (1)$$

gdzie:

H – wskaźnik różnorodności gatunkowej,

s – liczba gatunków roślin wodnych na stanowisku badawczym,

N_i – wskaźnik obliczony ze wzoru:

$$N_i = \frac{Q_i}{Q} \quad (2)$$

gdzie:

Q_i – sześciąt wartości stopnia pokrycia dna przez rośliny i -tego gatunku,

Q – sześciąt wartości stopnia pokrycia dna przez rośliny wszystkich gatunków.

W trakcie regulacji koryt często zachodzi potrzeba wycięcia drzew występujących w strefie przybrzeżnej. Dla ekosystemu koryta ciek nie jest to korzystne, ponieważ zadrzewienia spełniają szereg ważnych funkcji [3, 5]. W przeprowadzonej analizie oceny zadrzewień przyjęto stopień zacienienia koryta, wyrażony w skali 5-stopniowej,

w której 0 oznacza brak zacienienia, 1 – zacienienie małe, 2 – średnie, 3 – duże, 4 – całkowite [8]. Naturalne elementy morfologiczne koryta to: wychodnie skalne i odsłonięte głazy porośnięte lub nieporośnięte roślinnością, odsypy śródkorytowe utrwalone lub nieutrwalone roślinnością, wyspy i naturalne spiętrzenia [9].

2.3. METODA UNITARYZACJI ZEROWANEJ

Do oceny skutków robót regulacji cieku, uwzględniającej zarówno kryteria techniczne, jak i przyrodnicze, zastosowano metodę wielowymiarowej analizy statystycznej – metodę unitaryzacji zerowanej (MUZ) [6]. Metoda ta wymagała nadania wszystkim wskaźnikom oceny wartości liczbowych, niemianowanych. W tym celu wskaźniki oceny podzielono na trzy grupy: stymulanty, destymulanty oraz nominanty.

Stymulanta to taka zmienna diagnostyczna, której wzrost należy kojarzyć ze wzrostem, spadek zaś ze spadkiem oceny skutków regulacji koryta. Zmienne te normowano według wzoru [6]:

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (3)$$

Destymulanta to zmienna diagnostyczna, której wzrost należy kojarzyć ze spadkiem, spadek zaś ze wzrostem oceny skutków regulacji. Destymulanty były normowane według wzoru [6]:

$$Z_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (4)$$

Nominanta to zmienna diagnostyczna, która tylko dla pewnej wartości lub przedziału wartości (optimum), przybiera najwyższą ocenę. Zmienne te normowano według wzorów [6]:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\text{opt } x_{ij} - \min x_{ij}}, \text{ dla } x_{ij} < \text{opt } x_{ij} \quad (5)$$

$$z_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\text{opt } x_{ij} - \max x_{ij}}, \text{ dla } x_{ij} > \text{opt } x_{ij} \quad (6)$$

gdzie:

i – numer odcinka badawczego,

j – numer zmiennej diagnostycznej,

z_{ij} – zmienna znormalizowana,

x_{ij} – zmienna przed normalizacją,

$\max x_{ij}$ – wartość maksymalna zmiennej w danym zbiorze,

$\min x_{ij}$ – wartość minimalna zmiennej w danym zbiorze,

$\text{opt } x_{ij}$ – wartość optymalna zmiennej w danym zbiorze.

W tabeli 4 zestawiono analizowane wskaźniki oceny oraz ich podział na stymulanty, destymulanty i nominanty.

Tabela 4. Kryteria oceny skutków regulacji i konserwacji rzek z podziałem na stymulanty, destymulanty i nominanty

Kryterium	Wskaźnik	Jednostka	Stymulanta	Destymulanta	Nominanta
Techniczne	Stateczność, trwałość i odporność skarp	liczba punktów			X
	Stateczność, trwałość i odporność dna	liczba punktów			X
	Stan techniczny umocnień	liczba uszkodzeń		X	
	Powierzchnia przekroju poprzecznego	m ²	X		
Przyrodnicze	Liczba gatunków roślin wodnych	liczba gatunków	X		
	Wskaźnik Shannona-Wienera	-	X		
	Zadrzewienia na brzegach	stopień zacienienia koryta			X
	Naturalne elementy w korycie	liczba naturalnych elementów	X		

Suma wartości zmiennych unormowanych z_{ij} dla poszczególnych odcinków badawczych, określana jako zmienna zagregowana Q , stanowiła podstawę do utworzenia rankingu uregulowanych odcinków rzek. Im wyższa była wartość zmiennej Q , tym wyższa była pozycja danego obiektu w rankingu.

3. WYNIKI I DYSKUSJA

W tabeli 5 przedstawiono wartości ocenianych zmiennych, zmierzone lub ocenione w trakcie badań terenowych. Z danych przedstawionych w tabeli 4 wynika, że najwyższy stopień przekształcenia charakteryzował odcinek badawczy zlokalizowany

w korycie Ślęzy. Do umocnienia jego skarp oraz dna zastosowano w nim elementy betonowe. W tak silnie przekształconych ciekach, charakteryzujących się prostą geometrią dna oraz nieprzepuszczalnym dnem i skarpami mogą żyć jedynie składniki biofilmu bentosowego, bezkręgowce pełzające po płaskich powierzchniach, rzadko ryby [7]. Z roślin wyższych w korytach takich mogą występować tylko takie, które swobodnie unoszą się na powierzchni wody, jak przedstawiciele rodziny *Lemnaceae* (rzęszowate).

Tabela 5. Wartości zmiennych diagnostycznych uwzględnianych w rankingu

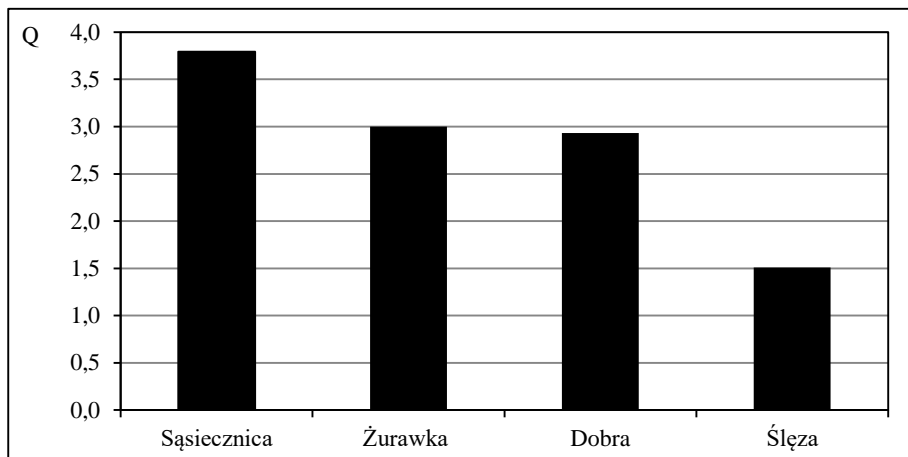
Odcinek badawczy	Kryterium techniczne				Kryterium przyrodnicze			
	Stateczność, trwałość i odporność skarp	Stateczność, trwałość i odporność dna	Stan techniczny umocnień – liczba uszkodzeń	Powierzchnia przekroju poprzecznego, m ²	Liczba gatunków roślin wodnych	Wskaźnik Shannona-Wienera	Zadrzewienia na brzegach – stopień zacielenia koryta	Naturalne elementy w korycie
Dobra	5	4	0	14,4	3	1,10	0	0
Sąsiedz-nica	2	2	2	19,5	8	1,80	0	2
Śleza	6	5	0	16,8	0	0,00	0	0
Żurawka	3	2	2	14,0	8	2,28	1	0

Najmniejszym stopniem przekształcenia charakteryzowało się koryto Sąsiedzniczicy. Zrezygnowano tu z umocnienia skarp i dna. Brak umocnień rekompensowany jest przez dużą powierzchnię przekroju poprzecznego, zapewniającą znaczną przepustowość koryta w sytuacji podwyższonych stanów wody. Na odcinku tym oznaczono 8 gatunków roślin wodnych. Podobną liczbę gatunków zinwentaryzowano w korycie Żurawki, w którym podstawy skarp umocniono kiszka faszynową. Odcinek ten charakteryzował się największą różnorodnością gatunkową roślin wodnych.

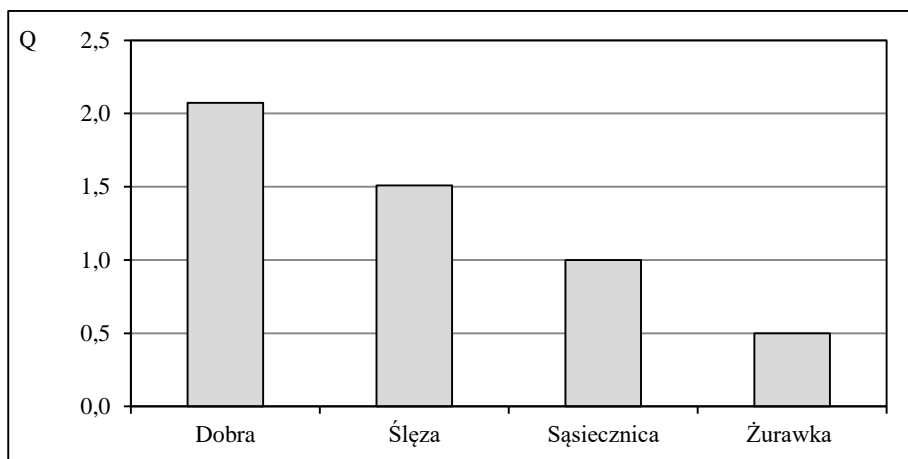
Ranking odcinków, uwzględniający zarówno kryteria techniczne, jak i przyrodnicze, przedstawiono na rysunku 1.

Z rysunku 1 wynika, że najlepszym sposobem regulacji rzeki, zapewniającym zarówno ochronę przeciwpowodziową, jak i bezpieczeństwo ekologiczne, jest ukształtowanie przekroju poprzecznego koryta, zapewniającego dużą przepustowość, ze skarpami o nachyleniu 1:2, umocnionymi darnią. Rozwiązanie takie zastosowano w korycie Sąsiedzniczicy. Podobną wartością zmiennej zagregowanej Q charakteryzują się odcinki Żurawki i Dobrej, mimo że rozwiązania techniczne zastosowane w tych korytach są różne. Ostatnie miejsce w rankingu zajmuje odcinek rzeki Ślęzy, charakteryzujący się największym stopniem przekształcenia.

Na rysunku 2 przedstawiono ranking obiektów, zbudowany na podstawie wskaźników kryterium technicznego.



Rys. 1. Ranking odcinków badawczych uwzględniający kryteria techniczne i przyrodnicze

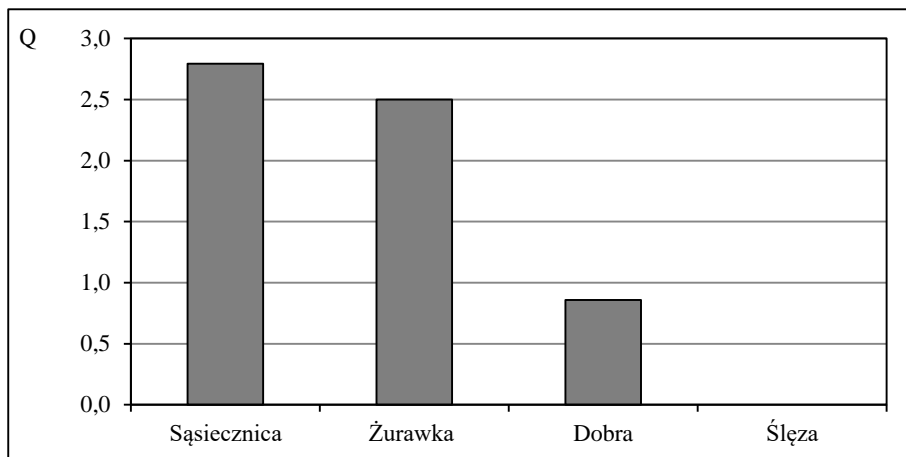


Rys. 2. Ranking odcinków badawczych uwzględniający wyłącznie kryteria techniczne

Z punktu widzenia ochrony przed powodzią, najlepsze jest rozwiązanie zastosowane na odcinku badawczym zlokalizowanym w korycie Dobrej (rys. 2). Kolejny w rankingu jest odcinek rzeki Śłęzy. Oba te odcinki charakteryzują się dużym stopniem przekształcenia koryta, w szczególności skarp. Skarpy umocnione za pomocą kamienia lub betonów charakteryzują się większą statecznością, trwałością oraz odpornością na działanie wody. Ostatnie miejsce w tym rankingu zajmuje odcinek Żurawki, charakteryzujący się najmniejszą powierzchnią przekroju porzecznego.

Zupełnie inaczej kształtuje się ranking rozpatrywanych obiektów, uwzględniający wyłącznie kryterium przyrodnicze (rys. 3). W rankingu tym na pierwszych miejscach

znajdują się odcinki o nieumocnionych w sposób techniczny skarpach i naturalnym substracie dna, sprzyjającym rozwojowi roślin wodnych. Na ostatnim miejscu znajdują się odcinek Ślęży.



Rys. 3. Ranking odcinków badawczych uwzględniający wyłącznie kryteria przyrodnicze

Skarpy nieumocnione, umocnione naturalną zabudową roślinną lub o umocnionej tylko podstawie, są bardziej podatne na uszkodzenia spowodowane erozją wodną, a także działalnością zwierząt lub człowieka. Wskazują na to wyniki inwentaryzacji, w trakcie której uszkodzenia skarp stwierdzono tylko w korytach o skarpach umocnionych darnią lub kiszka faszynową. Ponadto skarpy takie są szybko zarastane przez rośliny, co wpływa na pogorszenie warunków hydraulicznych koryta [10]. Powoduje to konieczność częstszego wykonywania robót konserwacyjnych.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzone badania i analizy wskazują, że w ocenach skutków regulacji rzek należy rozpatrywać dużą liczbę czynników, zarówno technicznych, jak i przyrodniczych. Badania wykazały, że oddziaływanie tych czynników jest zmienne, w wielu przypadkach synergiczne, co nie pozwoliło na ustalenie rankingu tych czynników w bezpieczeństwie powodziowym i ekologicznym.

Przyjęta do badań metoda pozwoliła na systemowe ujęcie problemów związanych z regulacją rzek. W rankingu obiektów, uwzględniającym zarówno czynniki techniczne, bezpośrednio związane z bezpieczeństwem powodziowym, jak i przyrodnicze, bezpośrednio wpływające na stan ekologiczny ciek, na pierwszym miejscu znalazł się ciek, w którym przeprowadzono roboty regulacyjne w pełnym zakresie. Wynik ten świadczy

o możliwym kompromisie między techniką a środowiskiem w robotach regulacyjnych w rzekach. W celu potwierdzenia tego wniosku należy kontynuować badania.

LITERATURA

- [1] DUSZYŃSKI R., *Ekologiczne techniki ochrony brzegów i rewitalizacji rzek*, Inżynieria Morska i Geotechnika, 2007, No. 6, 341–351.
- [2] GUNKEL G., *Renaturierung kleiner Flißgewässer*, Gustav Fischer Verlag, Jena-Stuttgart, 1996.
- [3] JERMACZEK A., PAWLACZYK P., PRZYBYLSKA J., *Ochrona i odtwarzanie naturalnego charakteru rzek i dolin rzecznych na przykładzie rzeki Stobrawy*, Wydawnictwo UM Województwa Opolskiego, Opole 2014.
- [4] KOHLER A., *Methods of mapping the flora and vegetation of freshwater habitats*, Landschaft und Stadt, 1978, No. 10, 73–85.
- [5] KÖHLER J., HACHOŁ J., HILT S., *Regulation of submersed macrophyte biomass in a temperate lowland river: Interactions between shading by bank vegetation, epiphyton and water turbidity*, Aquatic Botany, 2010, Vol. 92, No. 2, 129–136.
- [6] KUKUŁA K., *Metoda unitaryzacji zerowanej*, PWN, Warszawa 2000.
- [7] LENAR-MATYAS A., WOLAK A., *Budowle regulacyjne – ich wpływ na makrofaunę wodną*, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, 2009, 56, 251–260.
- [8] SCHAUMBURG J., SCHRANZ C., STELZER D., HOFMANN G., GUTOWSKI A., FOERSTER J., *Instruction Protocol for the ecological Assessment of Running Waters for Implementation of the EC Water Framework Directive: Macrophytes and Phytobenthos*, Bavarian Environment Agency, München 2006.
- [9] SZOSZKIEWICZ K., ZGOŁA T., JUSIK S., HRYC-JUSIK B., DAWSON F.H., RAVEN P., *Hydromorfologiczna ocena wód płynących. Podręcznik do badań terenowych według metody River Habitat Survey w warunkach Polski*, Wydawnictwo Naukowe Bogucki, Poznań-Warrington 2008.
- [10] TYMIŃSKI T., *Charakterystyczne parametry do opisu gęstości roślin w korytach rzecznych*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 2008, No. 7, 153–165.
- [11] USTAWA z dnia 18 lipca 2001 Prawo Wodne, Dz. U. Nr 239, poz. 2019.
- [12] WOŁOSZYN J., CZAMARA W., ELIASIEWICZ R., KRĘŻEL J., *Regulacja rzek i potoków*, Wydawnictwo AR we Wrocławiu, Wrocław 1994.
- [13] ŻELAZO J., *Współczesne poglądy na regulację małych rzek nizinnych*, [w:] Ochrona przyrody i środowiska w dolinach nizinnych rzek Polski, pod red. L. Tomiałojcia, Wydawnictwo Instytutu Ochrony Przyrody PAN, Kraków 1993, 145–154.
- [14] ŻELAZO J., POPEK Z., *Podstawy renaturyzacji rzek*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2002.

MULTI-CRITERIA EVALUATION OF THE EFFECTS OF RIVER REGULATION

The study presents an attempt of evaluation of the effects of the regulatory works in river beds in terms of the flood protection and the ecological safety. In accordance with the principle of sustainable development it is necessary to find a compromise in this regard. Therefore, the analysis takes into account both the technical criteria, as well as the natural criteria. The field studies were conducted in growing seasons in years 2008–2014 on four small and medium-sized lowland watercourses in Lower Silesia region, where the regulation works have been performed. The range of these works was varied. The study included measurements and description of selected technical and natural elements of complex stream bed system, such as: longitudinal profile, bottom width, watercourse depth, bank slope, type of bank protection, type of bottom

substrate, the degree of shading, natural elements in the watercourse bed, number of aquatic plants species and bottom coverage with the plants. Based on the results of the study the multi-criteria evaluation of the effects of river regulation was performed. Analysis was performed with the use of the Zero Unitarization Method. It allowed to determine a linear ranking of the river beds and to identify the optimal solution in terms of the sustainable development.