

## WPŁYW ZAGOSPODAROWANIA DOLINY ORAZ WARUNKÓW MORFOLOGICZNYCH NA ROŚLINNOŚĆ W KORYCIE RZECZNYM

Adam Marek Hamerla<sup>1</sup>, Łukasz Pierzchała<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Główny Instytut Górnictwa, pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice, e-mail: ahamerla@gig.eu, lpierzchala@gig.eu

### STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki badań zależności warunków hydromorfologicznych rzek miejskich na udział grup roślinności w korycie rzeczonym. Badanie przeprowadzone na przykładzie rzek w zurbanizowanej i przemysłowej części Górnego Śląska potwierdziło istotne związki pomiędzy zagospodarowaniem i użytkowaniem doliny rzecznej, a typem roślinności w korycie, jak również pozwoliło na określenie zależności poszczególnych czynników na wybrane grupy roślin wodnych.

**Słowa kluczowe:** rośliny wodne, ocena hydromorfologiczna, Urban River Survey

### THE IMPACT OF VALLEY LAND USE AND MORPHOLOGICAL CONDITION FOR VEGETATION IN RIVER BED

#### ABSTRACT

This paper is focused on the results of research about the relationship between hydromorphological condition and share of plants in river bed. Assessment, made in urbanized and heavy industry part of Upper Silesia, provide proof of strong relation between land use, land cover in river valley and type of river vegetation. Moreover, the relationship between hydromorphological indicators and groups of plants was defined.

**Keywords:** river plants, hydromorphological assessment, Urban River Survey

### WSTĘP

Niezbędnym elementem oceny wpływu działalności człowieka na środowisko wód powierzchniowych jest identyfikacja czynników, których zmiany powodują znaczące negatywne oddziaływania w funkcjonowaniu ekosystemów związanych z siedliskami wodnymi [Stoddard, 2006]. Poznanie tych zależności jest konieczne dla właściwego zarządzania zasobami wód płynących tak by spełnione były rygorystyczne cele środowiskowe.

Zgodnie z wytycznymi RDW roślinność wodna jest jednym z podstawowych elementów oceny stanu ekologicznego, który musi być uwzględniony w systemach oceny i klasyfikacji wód powierzchniowych, w tym wód płynących [Szozkiewicz i in. 2010]. Wynika to nie tylko z ważnych funkcji ekologicznych makrovegetacji, ale również z tego, że jest to element, który

reaguje na szereg oddziaływań antropogenicznych [Bis 2008]. Dążenie do osiągnięcia dobrego stanu ekologicznego wód płynących wiąże się nie tylko z usuwaniem punktowych źródeł zanieczyszczeń czy prowadzeniem działań rekultywacyjnych w obrębie koryta ale również, zwłaszcza w perspektywie długoterminowej z ograniczaniem oddziałujących na środowisko wodne stresorów w całej zlewni [Haase 2013]. Efektywne środowiskowo ale i ekonomicznie ograniczenie presji wymaga więc w pierwszym rzędzie poznania wzajemnych relacji pomiędzy tymi elementami. Prowadzone na szeroką skalę w ostatnich kilkunastu latach badania warunków hydromorfologicznych potwierdziły ich znaczenie w ocenie stanu ekologicznego rzek, jak również wykazały istny wpływ czynników hydromorfologicznych na elementy biologiczne. Krajowe badania w tym zakresie koncentrowały się jednak na rzekach o wysokim współczynniku naturalności [Wyżga i in.

2009, Radecki-Pawlik 2011, Szoszkiewicz 2007]. Celem przeprowadzonego badania było określenie warunków morfologicznych doliny rzecznej oraz sposobów jej zagospodarowania, które mają największy wpływ na rozwój roślinności wodnej w korycie cieków na terenach zurbanizowanych. Przeprowadzona analiza miała również za zadanie określenie w jakim zakresie analizowane czynniki hydromorfologiczne w obrębie doliny warunkują egzystencję roślinności w obrębie koryta, a na ile zależne są od innych czynników antropogenicznych i środowiskowych.

## METODYKA

### Charakterystyka obszaru i objekty badań

Badaniem objęte zostały odcinki rzek: Kłodnicy (7 odcinków), Ślepiotki (3 odcinki), Kochłówek (3 odcinki), Bytomki (4 odcinki), Jamny (2 odcinki), Rawy (2 odcinki) i Dramy (1 odcinek). Każdy z analizowanych odcinków oceniony został w dziesięciu profilach badawczych co w sumie dało dwieście dwadzieścia prób badawczych. Badania przeprowadzone zostały na dwudziestu dwóch pięciusetmetrowych odcinkach dolin rzecznych – zgodnie z metodą Urban River Survey ocenę warunków hydromorfologicznych należy wykonać na co najmniej trzystumetrowych odcinkach o jednorodnym profilu inżynierskim koryta.

Analizie poddano odcinki dolin rzecznych, które umożliwiły analizę możliwie szerokiego zestawu elementów hydromorfologicznych mogących oddziaływać na występowanie roślinności w korycie, jak również porównanie tych samych elementów charakteryzujących się odmienną budową (np. umocnienia brzegów, materiał dna itp.). Wszystkie z analizowanych odcinków położone są w obszarze silnie zurbanizowanym i przekształconym przez działalność gospodarczą, w tym działalność górniczą. Przeanalizowano natomiast odcinki zlokalizowane w obszarach o różnorodnym zagospodarowaniu – od terenów leśnych po centra miast i tereny przemysłowe.

## METODY BADAWCZE

Badania wykonano w oparciu o metodę oceny warunków hydromorfologicznych rzek miejskich Urban River Survey (URS) wywodzącej się

z brytyjskiej metody River Habitat Survey (RHS) opracowanej w ramach projektu SMURF [Davenport i in. 2004].

Opracowane indeksy oceny w ramach metody Urban River Survey umożliwiają zgodną z wytycznymi RDW ocenę stanu ekologicznego sztucznych lub silnie zmienionych części wód [Skinner i Bruce-Burgess 2005, England i in. 2008, Hering i in. 2010].

Metoda ta w Polsce została przetłumaczona na język polski i jest wykorzystywana przez zespół Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach od 2013 roku [Hamerla i in. 2015].

W badaniu oceniona została roślinność według grup wyróżnionych w metodzie URS: wątrobowce/mchy (WM), wynurzone szerokolistne (WS), wynurzone wąskolistne (WW), zanurzone o liściach pływających (ZLP), swobodnie pływające (SP), zakorzenione w brzegu (ZB), zanurzone szerokolistne (ZS), zanurzone wąskolistne (ZW), zanurzone o podzielonych liściach (ZPL) oraz glony strukturalne (GS).

Pośród ocenianych warunków morfologicznych doliny analizie wpływu na występowanie roślinności w korycie poddano (zdiagnozowane w badaniu) umocnienia brzegów (beton – BE, beton z cegłą – BC, okładziny i bruki – OK, odpady budowlane – OB, narzut kamienny – NK, faszyna – PF, brak umocnień – BR), typ przepływu (rwący – RW, przelewowy – PE, wznoszący – WZ, wartki – WA, gładki – GA, niedostrzegalny – ND), materiał dna (sztuczny/beton – AN, kamienie – OT, żwir-kamienie – OZ, torf – TM, piasek – PI, muł – MU, niewidoczne – NW), Użytkowanie brzegów w pasie 50m (rezydencjalna – Re, komercyjna – Ko, przemysłowa – Pr, przemysłowa /komercyjna – Pk, transportowa – Tr, teren porzucony – Tp, teren zanieczyszczony – Tz, grunt orny – Go, pastwisko – Pa, sad – Sa, las szpilkowy – Ls, las liściasty – Ll, otwarte zadrzewienie – Oz, niskie zakrzaczenie – Zn, otwarta zieleń urządzona – Ou, tereny rekreacyjne (boiska) – Te, parki miejskie – Pm), struktura roślinności na brzegach oceniana dla dwóch brzegów łącznie (brak roślinności B\_B/B, jednorodna struktura B\_J/J, prosta struktura B\_P/P, złożona struktura B\_Z/Z), struktura roślinności na skarpach oceniana dla dwóch skarp łącznie (brak roślinności S\_B/B, jednorodna struktura S\_J/J, prosta struktura S\_P/P, złożona struktura S\_Z/Z).

Ze względu na słabo rozwiniętą sieć monitoringu parametrów fizykochemicznych wody oraz brak monitoringu wielkości przepływu nie

uwzględniono tych czynników w przeprowadzonych analizach. Należy natomiast przyjąć, że poza Ślepiotką wszystkie z analizowanych rzek na odcinkach badawczych obciążone są znacznym udziałem zanieczyszczeń związanych z odprowadzaniem oczyszczonych i nieoczyszczonych ścieków komunalnych oraz ładunkiem związanym z odprowadzaniem wód kopalnianych bogatych w chlorki i siarczany zwiększające stopień zasolenia tych rzek [Olkowska i in. 2014, Czaja i in. 2014]. Zlewnie tych rzek charakteryzują się znacznym stopniem uszczelnienia, który skutkuje gwałtownym wzrostem przepływu w rzekach w trakcie i bezpośrednio po występowaniu opadów, zwłaszcza nawałnych.

### Statystyczna analiza danych

W celu określenia głównych czynników siedliskowych, które różnicują charakter roślinności wodnej i przybrzeżnej został wykorzystany liniowy model ordynacyjnej analizy (PCA) wykonany za pomocą pakietu CANOCO [Šmilauer i Lepš 2014]. Analiza ta pozwala na określenie głównych kierunków zróżnicowania w obrębie badanej grupy organizmów i określenie w jakim stopniu zróżnicowanie to jest skorelowane z badanymi czynnikami środowiskowymi.

### WYNIKI

Spośród dwudziestu dwóch przebadanych odcinków badawczych, aż na sześciu nie stwierdzono występowania roślinności w korycie (trzy odcinki Kłodnicy, dwa Rawy i raz w Jamnie). Podczas przeprowadzonych badań terenowych występowanie roślinności stwierdzono w stu siedmiu profilach badawczych co stanowiło 48,6% wszystkich przebadanych profili badawczych. W poniższej tabeli przedstawiono częstość występowania poszczególnych grup roślin w profilach badawczych.

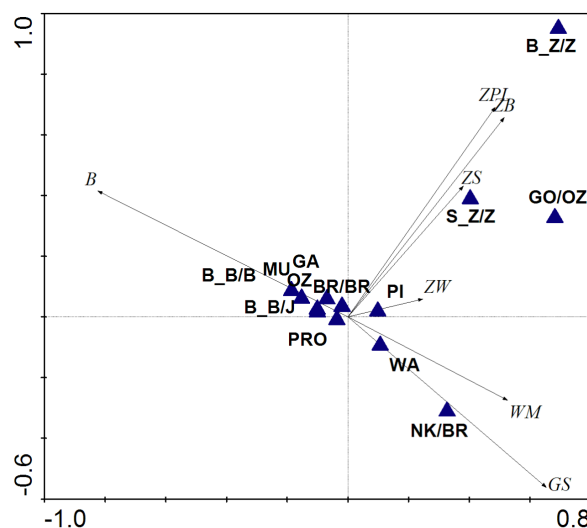
Przeprowadzona analiza PCA wykazała, że analizowane warunki hydromorfologiczne doliny wyjaśniają 26,8% zróżnicowania roślinności. Pierwsza oś ordynacyjna modelu PCA wyjaśnia 21,1% całkowitego zróżnicowania roślinności i najsilniej ujemnie koreluje z gładkim przepływem wody w korycie (-0,33) (GA), profilowaniem koryta (-0,31) (PROF), mulistym charakterem dna (-0,31) (MU) oraz brakiem roślinności na brzegach (-0,2639) (B\_B/B). Dodatnie z tą osią

koreluje wartki przepływ wody (0,3276) (WA), piaszczysty charakter dna (0,2793) (PI) oraz złożona struktura roślinności skarp koryta (0,29) (S\_Z/Z) i brzegu (0,2699) (B\_Z/Z) (tab 1). Oś ta wyznacza zatem gradient od wyprostowanych koryt z niższą predkością przepływu, mulistym dnem i brakiem roślinności na brzegach po warunki z szybszym przepływem wody w korycie oraz złożoną roślinnością na brzegach i skarpach.

**Tabela 1.** Częstość występowania poszczególnych grup roślin w profilach badawczych

**Table 1.** The frequency of incidence particular plant groups in the profiles

Grupa roślin wg metody URS	Występowanie w profilach badawczych	Częstość występowania
Brak roślin	103	46,8%
Wątrobowce / mchy	25	11,4%
Wynurzone szerokolistne	5	2,3%
Wynurzone wąskolistne	19	8,6%
Zanurzone o liściach pływających	0	0,0%
Swobodnie pływające	0	0,0%
Zakorzenione w brzegu	3	1,4%
Zanurzone szerokolistne	6	2,7%
Zanurzone wąskolistne	12	5,5%
Zanurzone o podzielonych liściach	3	1,4%
Głony strukturalne	82	37,3%



**Rys. 1.** Wynik analizy głównych składowych (PCA). Zróżnicowanie grup makrofitów w odniesieniu do analizowanych uwarunkowań hydromorfologicznych

**Fig. 1.** The result of principal component analysis (PCA method). Diversity of groups of macrophytes in relation to the analyzed hydromorphological condition

Gradient ten określa zróżnicowanie makrofitów od ich całkowitego braku występowania (B) po zwiększenie częstotliwości występowania roślin zanurzonych wąskolistnych (ZW) oraz wątrobowców i mchów (WM). Istotny dodatni wpływ na występowanie roślinności zanurzonej (ZS, ZW, ZPL) i zakorzenionej w brzegu (ZB) oraz negatywny na obecność mchów i wątrobowców mają także uwarunkowania, w których jeden brzeg jest rolniczo zagospodarowany, a drugi porastają otwarte zadrzewienia (GO/OZ) (wartość korelacji z I osią 0.3259).

II oś modelu wyjaśnia natomiast 16,8% całkowitego zróżnicowania roślinności i najsilniej dodatnie koreluje ze złożoną strukturą brzegu (B\_Z/Z), gładkim przepływem (0,29) (GA) i brakiem umocnień (BR/BR). Ujemnie z tą osią koreluje wartki przepływ wody (WA) (-0.2799), oraz uwarunkowania w których co najmniej jeden brzeg umocniony jest narzutem kamiennym (NK/BR) (-0.1925) (tab. 1). Oś ta wyznacza zatem gradient od koryt z szybszym przepływem i antopogenicznym umocnieniem w postaci narzutu kamiennego po koryta z gładkim przepływem, bez umocnień i quasi-naturalną roślinnością brzegu. Z gradientem tym pozytywnie skorelowane jest występowanie roślinności zanurzonej o szerokich (ZS) i podzielonych liściach (ZPL) oraz roślinności zakorzenionej w brzegu (ZB). Negatywną zależność z tym gradientem wykazała natomiast częstotliwość występowania glonów strukturalnych (GS). W poniższej tabeli zestawiono parametry wykazujące najwyższe wartości korelacji.

## DYSKUSJA

Istotne znacznie warunków hydromorfologicznych na charakter roślinności w korycie zostało potwierdzone na początku wprowadzenia tego typu oceny do monitoringu stanu wód. Dwudziestometrowa strefa buforowa wzdłuż koryt rzecznych jest szczególnie narażona na przekształcenia i ingerencję ludzką często prowadzoną w ramach ochrony przeciwpowodziowej czy działań rewitalizacyjnych [Dawson i in. 1999]. Zjawisko to jest intensywne zwłaszcza na obszarach zurbanizowanych gdzie czynnik gospodarczy często dominuje nad środowiskowym. Przeprowadzone badanie dowiodło natomiast znaczącej roli warunków morfologicznych oraz bezpośredniego zagospodarowania doliny rzecznej na udział roślinności w korycie, a co z tym się wiąże jakości ekosys-

temu oraz stanu ekologicznego rzek. W silnie zdegradowanej przestrzeni Górnego Śląska ich wpływ oceniony został na ponad 25%. Warunki hydromorfologiczne są więc nie mniej istotne niż wpływ parametrów fizykochemicznych wód płynących, gdzie jednym z najważniejszych czynników jest trofia wody [Dawson i Szoszkiewicz 1999] czy stopień uszczelnienia zlewni, któremu kluczową rolę na stan ekologiczny przypisuje się miejskim i częściowo zurbanizowanym rzekom [Tippler i in. 2012]. W warunkach badanych rzek dodatkową presję powoduje działalność górnictwa węgla kamiennego [Smoliński 2006, Lach i in., 2006, Harat 2015]. Poza oczywistym wpływem wód kopalnianych na skład chemiczny wód w przeprowadzonym badaniu potwierdzone zostało oddziaływanie działalności górniczej na uwarunkowania hydromorfologiczne – muł na dnie koryt, utrudniony przepływ związany z przekształceniami powierzchni i brakiem naturalnego spadku koryta i ich negatywny wpływ na występowanie roślin w korytach rzek.

Potwierdzona została kluczowa rola takich elementów morfologicznych jak profilowanie koryt, umocnienia skarp jak i zagospodarowanie pasa przybrzeżnego rzek [Bondar-Nowakowska i in. 2013]. Wyniki wskazują, że obecność złożonej roślinności na brzegu i skrapach dodatnio koreluje z występowaniem pożądanej roślinności w obrębie koryta. Zależność ta może wynikać zarówno z tego, że odcinki charaktery-

**Tabela 2.** Wartości współczynnika korelacji pomiędzy analizowanymi warunkami hydromorfologicznymi, a I i II osią modelu PCA

**Table 2.** The values of the correlation coefficient between the analyzed hydromorphological condition and I and II axis of PCA model

Parametr	Oś I	Oś II
GA	-0.3373	0.2901
PRO	-0.314	-0.0776
MU	-0.31	0.124
B_B/B	-0.2639	0.1231
OZ	-0.2281	0.0563
B_B/J	-0.2071	0.0326
BR/BR	-0.1088	0.1968
NK/BR	0.2025	-0.1925
B_Z/Z	0.2699	0.3697
PI	0.2793	0.0542
S_Z/Z	0.2969	0.2865
WA	0.3176	-0.2799
GO/OZ	0.3259	0.1559

zujące się quasi naturalną strukturą roślinności w strefie brzegowej tworzą dogodne warunki dla rozwoju makrofitów, ale także z tego, że są one mniej przekształcone antropogenicznie i dzięki temu charakteryzują się dogodniejszymi warunkami hydromorfologicznymi do rozwoju roślinności w strefie korytowej. Istotnym elementem negatywnie oddziałującym na udział roślinności w korycie potwierdzonym w badaniu jest udział drzew i krzewów w pasie przybrzeżnym. Związane jest to najprawdopodobniej ze zacięciem oddziaływaniem zadrzewień i zakrzewień. Preferowanie przez makrofity otwartych lub jedynie częściowo zacięzionych przez roślinność wysoką koryt jest od dawna wskazywane w literaturze [Ham i in., 1982, Dawson 1989, Robachl 1996]. Pozytywna korelacja występowania roślinności zanurzonej wąskolistnej oraz negatywna zależność obności mchów i wątrobowców z terenami użytkowymi rolniczo prawdopodobnie potwierdza wpływ nawożenia na zróżnicowanie roślinności w obrębie rzek przepływających przez tego typu tereny [Hachol i Bondar-Nowakowska 2014].

Z przeprowadzonej analizy wynika, że czynnikiem mogącym istotnie wpływać na roślinność w strefie korytowej jest charakter przepływu. W warunkach wartkiego przepływu poza glonami strukturalnymi oraz wątrobowcami i mchami preferują również rośliny wąskolistne, które nie stawiają tak dużego oporu wodzie jak rośliny szerokolistne, przez co są mniej narażone na wyrwanie z dna. Jest to szczególnie istotna cecha w obszarach o znacznym stopniu uszczelnienia zlewni i skanalizowania gdzie po opadach dochodzi do znacznego przyspieszenia przepływu wody w korytach. Istotna zależność występowania glonów strukturalnych na antropogenicznych umocnieniach i w warunkach szybszego przepływu wody może wskazywać na inżynierską rolę tego typu roślinności (nadmierne przekształcenie koryta). Wskazuje to również na to że, znaczącym antropogenicznym czynnikiem dla występowania roślinności w korycie, który nie został poddany analizie jest stopień stopnia uszczelnienia i skanalizowania zlewni badanych odcinków. Jak pokazują badania wahania przepływu w ciekach o znacznym stopniu uszczelnienia zlewni, w wielu przypadkach uniemożliwia występowanie roślinności naczyniowej w korycie [Pardo i in. 2012, Le Maitre i in. 2014].

## WNIOSKI

Poznanie zależności pomiędzy czynnikami zewnętrznymi takim jak zagospodarowanie brzegów czy użytkowanie terenów przyległych do koryt rzecznych, a stanem ekosystemów rzecznych jest szczególnie ważne w przestrzeniach miejskich w aspekcie osiągnięcia dobrego stanu ekologicznego wód. Istotne wzajemne oddziaływanie czynników hydromorfologicznych i biotycznych powoduje, że w ocenie efektów działań rewitalizacyjnych czy zarządzania dolinami rzecznyymi nie należy traktować tych elementów rozłącznie [Poppe i in. 2015]. Ostatnie badania [Gurnell 2014] wskazują również na odwrotny kierunek oddziaływania, grup roślinności na kształtowanie naturalnych elementów morfologicznych w korytach i kształtowanie odpowiednich uwarunkowań dla rozwoju wartościowych ekosystemów rzecznych nawet na terenach poddanych silnej presji ze strony działalności ludzkiej. Wprowadzanie odpowiednich gatunków roślin należy zatem traktować jako zabieg inżynierski wpływający również na abiotyczne elementy środowiska rzecznoego.

W ramach zarządzania przestrzeniami nad-rzecznyymi i pracami w korycie należy zwracać uwagę na system tych zależności i tak planować zabiegi pielęgnacyjne w dolinie, w tym działania przeciwpowodziowe, aby nie uszczuplać walorów przyrodniczych. Jednocześnie należy pamiętać, o ogromnym wpływie pozostałych czynników zlokalizowanych w zlewniach, zwłaszcza terenów zurbanizowanych na skład gatunkowy roślin w korytach rzek. W miejscach gdzie możliwym jest zapewnienie stabilnego przepływu wody (bez znacznych amplitud) należy dążyć do utrzymywania koryta bez sztucznych umocnień i ze złożoną strukturą roślinności na brzegach i skarpiach – jak dowiedziono są to odpowiednie warunki do rozwoju roślin zanurzonych szerokolistnych, o liściach silnie podzielonych czy roślin zakorzenionych w brzegu.

## LITERATURA

1. Bis B. 2008. Assessing the Ecological Status Assessment of Freshwaters. W: Voreadou C. (red.), Freshwater Ecosystems in Europe – An Educational Approach, Chapter 4, 56–69,
2. Bondar-Nowakowska E., Hachol J., Lubczyński A. 2013. Wpływ przekształceń koryta na makrofity

- wodne na przykładzie rzeki Smortawy. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, (3/IV).
3. Czaja S., Rahmonov O., Wach J., Gajos M. 2014. Ecohydrological monitoring in assessing the mining impact on riverside ecosystems. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(2).
  4. Dawson F.H. 1989. Ecology and management of water plants in lowland streams. *Ann. Rep. Freshwat. BioI. Ass.* 57, 43–60.
  5. Dawson F.H., Raven, P.J., Gravelle M.J. 1999. Distribution of the morphological groups of aquatic plants for rivers in the UK (pp. 123–130). Springer Netherlands
  6. Dawson F.H., Szoszkiewicz K. 1999. Relationships of some ecological factors with the associations of vegetation in British rivers. *Hydrobiologia* 415 (Dev. Hydrobiol. 147), 117–122.
  7. Davenport A.J., Gurnell, A.M., Armitage P.D. 2004. Habitat survey and classification of urban rivers. *River Research and Applications*, 20(6), 687–704.
  8. England J., Skinner K.S., Carter M.G. 2008. Monitoring, river restoration and the Water Framework Directive. *Water and Environment Journal*, 22(4), 227–234.
  9. Gurnell A. 2014. Plants as river system engineers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(1), 4–25.
  10. Haase P., Hering D., Jähnig S.C., Lorenz A.W., Sundermann A. 2013. The impact of hydromorphological restoration on river ecological status: a comparison of fish, benthic invertebrates, and macrophytes. *Hydrobiologia*, 704(1), 475–488.
  11. Hachol J., Bondar-Nowakowska E. 2014. Wpływ sposobu zagospodarowania strefy przybrzeżnej cieków na naczyniowe rośliny wodne. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, (II/3).
  12. Ham S.F., Cooling D.A., Htley P., McLeish P.R., Scorgie H.R.A., Berrie A.D. 1982. Growth and recession of aquatic macrophytes on a shaded section of the River Lambourn, England, from 1971 to 1980. *Freshwater Biology*, 12(1), 1–15.
  13. Hamerla A.M., Trząski L., Łabaj P. 2015. Ocena warunków hydromorfologicznych cieków miejskich metodą Urban River Survey. *Inżynieria Ekologiczna*, 41, 26–35.
  14. Harat A., Rapantova N., Grmela, A., Adamczyk, Z. 2015. Impact of mining activities in the Upper Silesian coal basin on surface water and possibilities of its reduction. *Journal of Ecological Engineering*, 16 (3), 61–69.
  15. Hering D., Borja A., Carstensen, J., Carvalho, L., Elliott M., Feld C.K., Solheim A.L. 2010. The European Water Framework Directive at the age of 10: a critical review of the achievements with recommendations for the future. *Science of the total Environment*, 408(19), 4007–4019.
  16. Lach R., Łabaj P., Bondaruk J., Magdziej A. 2006. Monitoring wód kopalnianych odprowadzanych do rzek. *Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko*, Główny Instytut Górnictwa, 97–115.
  17. Le Maitre D.C., Kotzee I.M., O'Farrell P.J. 2014. Impacts of land-cover change on the water flow regulation ecosystem service: Invasive alien plants, fire and their policy implications. *Land Use Policy*, 36, 171–181.
  18. Olkowska E., Kudlak B., Tsakovski S., Ruman M., Simeonov V., Polkowska Z. 2014. Assessment of the water quality of Kłodnica River catchment using self-organizing maps. *Science of The Total Environment*, 476, 477–484.
  19. Pardo I., Gómez-Rodríguez C., Wasson J.G., Owen R., van de Bund W., Kelly M., Mengin N. 2012. The European reference condition concept: A scientific and technical approach to identify minimally-impacted river ecosystems. *Science of the Total Environment*, 420, 33–42.
  20. Poppe M., Kail J., Aroviita J., Stelmaszczyk M., Giełczewski M., Muhar S. 2015. Assessing restoration effects on hydromorphology in European mid-sized rivers by key hydromorphological parameters. *Hydrobiologia*, 1–20.
  21. Robachl F., Thiebaut G., Tremolieres M., Muller S. 1996. A reference system for continental running waters: plant communities as bioindicators of increasing eutrophication in alkaline and acidic waters in north-east France *Hydrobiologia*, 340, 67–76.
  22. Skinner K.S., Bruce-Burgess L. 2005. Strategic and project level river restoration protocols—key components for meeting the requirements of the Water Framework Directive (WFD). *Water and Environment Journal*, 19(2), 135–142.
  23. Smoliński A. 2006. Gospodarka zasolonymi wodami kopalnianymi. *Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko/Główny Instytut Górnictwa*, 5–15.
  24. Stoddard J.L., Larsen D.P., Hawkins C.P., Johnson R.K., Norris R.H. 2006. Setting expectations for the ecological condition of streams: the concept of reference condition, *Ecological Applications* 16, 4, 1267–1276.
  25. Szoszkiewicz K., Jusik S., Lawniczak A.E., Zgola T. 2010. Macrophyte development in unimpacted lowland rivers in Poland. *Hydrobiologia*, 656 (1), 117–131.
  26. Šmilauer P., Lepš J. 2014. *Multivariate analysis of ecological data using CANOCO 5*. Cambridge university press.
  27. Tippler C., Wright I.A., Hanlon A. 2012. Is catchment imperviousness a keystone factor degrading urban waterways? A case study from a partly urbanised catchment (Georges River, South-Eastern Australia). *Water, Air & Soil Pollution*, 223(8), 5331–5344.