

ZMIENNOŚĆ HYDROMORFOLOGICZNA DUŻEJ RZEKI NIZINNEJ OKREŚLONA W OPARCIU O HYDROMORFOLOGICZNY INDEKS RZECZNY (HIR) NA PRZYKŁADZIE RZEKI WARTY

Karol Pietruczuk^{1*}, Krzysztof Dajewski¹, Anna Garbarczyk¹, Krzysztof Szoszkiewicz²

¹ Główny Inspektorat Ochrony Środowiska w Warszawie, ul. Wawelska 52/54, 00-922 Warszawa

² Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wojska Polskiego 28, 60-624 Poznań

* Autor do korespondencji e-mail: k.pietruczuk@gios.gov.pl

STRESZCZENIE

Artykuł przedstawia wyniki badań hydromorfologicznych rzeki Warty uzyskanych w oparciu o Hydromorfologiczny Indeks Rzeczny (HIR). Oprócz indeksu HIR analizowano składowe tego mutimetriksu: wskaźnik różnorodności hydromorfologicznej (WRH) i wskaźnik przekształcenia hydromorfologicznego (WPH). Badania terenowe wykonano w latach 2017–2018 na 49 odcinkach rzeki Warty. Badania wykazały zróżnicowanie stanu hydromorfologicznego rzeki. Stwierdzono stan hydromorfologiczny badanych odcinków od bardzo dobrego do złego. Największą liczbę odcinków zaklasyfikowano do dobrego stanu hydromorfologicznego (26 odcinków), następnie mniejszy udział miały odcinki rzeki w stanie bardzo dobrym (10) oraz umiarkowanym (7). Stan słaby stwierdzono dla 5 odcinków natomiast zły dla jednego odcinka. Wykazano istotne statystycznie zależności, pomiędzy strukturą użytkowania strefy nadbrzeżnej badanych odcinków, a wskaźnikami hydromorfologicznymi – HIR, WRH i WPH. Najlepsze warunki hydromorfologiczne stwierdzono w obszarach gdzie w strefie przybrzeżnej dominowało seminaturalne i rolnicze użytkowanie terenu. Natomiast czynnikami istotnie pogarszającymi warunki hydromorfologiczne były różne formy antropopresji, ze szczególnym uwzględnieniem urbanizacji. Wykazano także wyższy stopień degradacji hydromorfologicznej Warty na odcinkach położonych w dolnym biegu rzeki niż w górnym.

Słowa kluczowe: różnorodność hydromorfologiczna, rzeka nizinna, antropopresja, hydromorfologia, HIR

HYDROMORPHOLOGICAL VARIABILITY OF A LARGE LOWLAND RIVER BASED ON THE HYDROMORPHOLOGICAL INDEX FOR RIVERS (HIR) BASING ON THE WARTA RIVER

ABSTRACT

The article presents the results of hydromorphological research of the Warta river basing of the Hydromorphological Index for Rivers (HIR). The HIR index considered as well as two components of this mutimetrix: hydromorphological diversity index (WRH) and modification transformation index (WPH). Field surveys were carried out in 2017-2018 on 49 survey sites of the Warta River. Studies have shown the diversification of the hydromorphological state of the river. Hydromorphological state of the surveyed sites from very good to bad was found. Good hydromorphological status (26 sites), for the most frequent category, followed by very good (10) and moderate (7). Poor conditions were detected for 5 sites and bad for one only. Statistically significant relationships were also found between the land use of the bank zone, and hydromorphological indices – HIR, WRH and WPH. The best hydromorphological conditions were found in semi-natural and agricultural areas. However, various forms of anthropopressure, with particular emphasis on urbanization, were factors significantly worsening the hydromorphological conditions. A higher degree of hydromorphological degradation was revealed in the lower course of the river comparing with the higher course of the Warta.

Keyword: hydromorphological diversity, lowland river, anthropopressure, hydromorphology, HIR

WSTĘP

Rzeki zaliczane są do grupy najbardziej przekształconych ekosystemów [Sala i in. 2000]. Zmiany związane są w dużym stopniu z użytkowaniem terenu, które dokonują się na przestrzeni ostatnich 300 lat. Narastające zmiany doprowadziły do degradacji jakości wód. Postępująca urbanizacja i sześciokrotny wzrost powierzchni gruntów ornych wpłynęły na ograniczenie ewapotranspiracji, kosztem zwiększenia spływu powierzchniowego do wód [Scanlon i in. 2007, Favreau i in. 2009]. Ponadto skutkiem zmian użytkowania dolin rzecznych jest eutrofizacja [Buck i in. 2007], która jest jednym z głównych następstw przekształceń antropogenicznych [Adamczyk i Jachimowski 2012, Stendera i in. 2012].

Ramowa Dyrektywa Wodna (Directive 2000/60/EC) nie tylko zdefiniowała elementy biologiczne (fitoplankton, fitobentos, makrofity, zoobentos i ichtiofauna), jako właściwe wyznaczniki stanu ekologicznego rzek o różnym czasie, sile i kierunku odpowiedzi na zakłócenia antropogeniczne [Hering i in. 2006, Kałuża i in. 2014], ale również wprowadziła do powszechnego użytku pojęcie hydromorfologii rzek. Wcześniej hydromorfologią ekosystemów wodnych zajmowano się na mniejszą skalę, głównie w środowisku akademickim [Jusik i in. 2014]. Pomimo, iż powiązania pomiędzy ekologią i hydromorfologią rzeki są niedostatecznie poznane i ciągle dyskutowane [Vaughan i in. 2009], to znany jest ogólny związek pomiędzy składem gatunkowym i jakościowym hydrobiontów, a warunkami fizykochemicznymi i hydromorfologicznymi w rzekach [Furse i in. 2006, Wyżga i in. 2008, Jusik i Szoszkiewicz 2009, Szoszkiewicz i in. 2014, Huang i in. 2019, Shi i in. 2019].

Wraz ze wzrostem różnorodności hydromorfologicznej rzeki i dostępnością siedlisk przyrodniczych roślin bogactwo i różnorodność gatunkowa organizmów wodnych [Gorman i Karr 1978, Schlosser 1987, Heino i in. 2007, Huang i in. 2019]. Ponadto jak pokazują badania naukowe, sposób zagospodarowania strefy nadbrzeżnej ma duży wpływ, na jakość zespołu hydrobiontów i przywrócenie lub utrzymanie dobrego stanu ekologicznego rzek [Jähnig i in. 2010, Lorenz i Feld 2013]. Zarazem niektóre badania pokazują, iż nie zawsze wysoka jakość hydromorfologiczna siedlisk jest równoznaczna z dobrym stanem ekologicznym, jednakże dobry stan hydromorfologiczny sprzyja osiągnięciu równowagi ekosyste-

mu wodnego [Kondolf i in. 2003, Brierley i Fryirs 2005, Florsheim i in. 2008].

Ocena warunków hydromorfologicznych stanowi złożony algorytm prac, w skład którego wchodzi dogłębna analiza dostępnych materiałów źródłowych, wyznaczanie odcinków badawczych, badania terenowe, jak również wykonanie końcowej oceny warunków hydromorfologicznych. Z analizy literatury wynika, iż znaczne przemiany o charakterze antropogenicznym w ekosystemie Warty zaszły już w XIX wieku, gdzie wykonywano prace regulacyjne czy wybudowano zbiorniki wodne [Szmyt 1904, Jaguś i Rzętała 2000, Wierzbiński 2008]. Wiek XX był okresem wzrostu zanieczyszczenia wody, umacniania brzegów, budowy zapór, w tym zbiornika retencyjnego Jeziorsko [Cieplucha i in. 2014]. Dopiero około 10 lat po transformacji ustrojowej czy budowie nowoczesnych oczyszczalni ścieków, odnotowano poprawę jakości wód rzek nizinnych, w tym Warty. Co potwierdzają wykonane badania ichtiofauny [Lewicki i in. 2011, Cieplucha i in. 2016]. Badania ekologiczne w tym ichtiologiczne rzeki Warty są prowadzone na szeroką skalę, przez naukowców od wielu lat [Cieplucha i in. 2016], ponieważ uważane są jako bardzo dobry wskaźnik monitorowania stanu ekologicznego rzek w okresach długoletnich [Wiśniewski 2002].

Celem badań była ocena stanu hydromorfologicznego rzeki Warty, jako dużej rzeki nizinnej, w aspekcie sposobu użytkowania strefy przybrzeżnej i wpływu charakteru użytkowania na warunki morfologiczne rzeki. Ponadto celem prac była ocena warunków hydromorfologicznych, w odniesieniu do szerokości koryta rzecznego. W ramach prac wykonano badania 49 odcinków rzeki Warty o dużym gradiencie przestrzennym, przez co wyniki pozwalają rozpoznać stan degradacji hydromorfologicznej tej rzeki na jej poszczególnych odcinkach, które zlokalizowane były zarówno w górnym biegu rzeki, w centralnej części rzeki oraz w obszarze ujściowym. Ocenę przeprowadzono w oparciu o Hydromorfologiczny Indeks Rzeczny [Szoszkiewicz i in. 2017].

MATERIAŁY I METODY

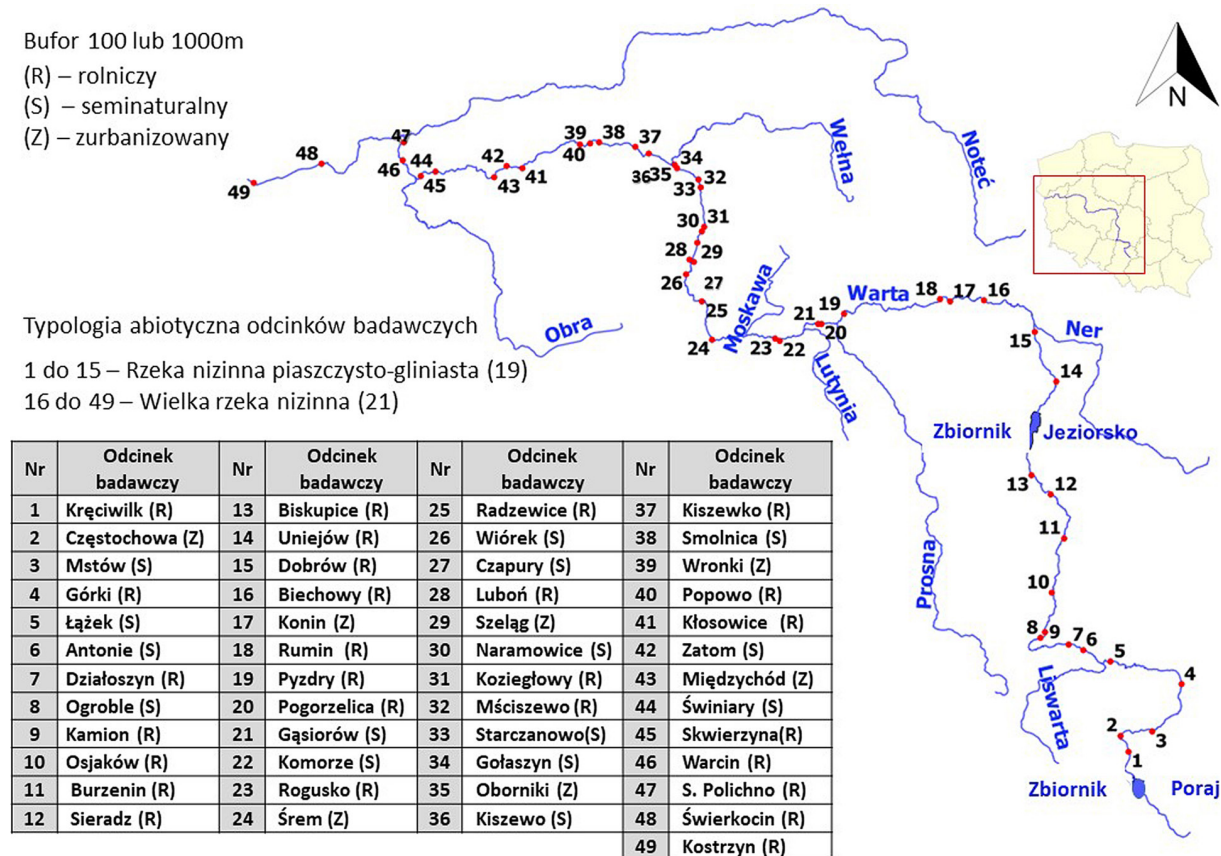
Rzeka Warta to w ujęciu Strahlera [Strahler 1957] II rzędowy dopływ Odry, o całkowitej długości 795 km i powierzchni zlewni 54519,6 km² [Czarnecka 2005]. Źródła rzeki zlokalizowane są na Śląsku w okolicy Zawiercia. Do większych

dopływów Warty zalicza się m.in. Noteć, Obrę, Wełnę, Prosię czy Ner. Rzeką Warta przepływa przez cztery województwa: śląskie (154 km), łódzkie (215 km), wielkopolskie (316 km) oraz lubuskie (110 km), gdzie uchodzi w okolicach Kostrzyna do Odry [RZGW 2007, MPHP 2017]. Na odcinku Warty poniżej miejscowości Poraj w 1978 roku wybudowano zbiornik retencyjny z zaporą o wysokości 12 m [Cieplucha i in. 2014]. Z kolei na 306+00 km Warty, rzekę przegrodzono w 1986 roku zaporą ziemną, wskutek czego powstał czwarty co do pojemności całkowitej w Polsce zbiornik retencyjny Jeziorsko [Cieplucha i in. 2014]. Wskutek działalności elektrowni wodnej poziom wody poniżej zbiornika podlega dużym wahaniom reżimu hydrologicznego [Penczak i in. 1998, Wierzbicki i in. 2008].

Badania terenowe oraz ocenę hydromorfologiczną, przeprowadzono w latach 2017-2018. Badania terenowe wykonano na 49 odcinkach badawczych o łącznej długości 46,5 km (rys. 1), w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ). Wyznaczanie odcinków badawczych oparte jest o użytkowanie terenu w strefie bezpośrednio przylegającej do rzeki, zwanej „buforem”. Zgodnie z metodyką HIR odcinki ba-

dawcze posiadają szerokość bufora po 1 km od brzegów rzeki, na odcinkach o szerokości koryta > 30 m oraz po 100 m dla rzeki o szerokości koryta ≤ 30 m. Zgodnie z typologią abiotyczną rzek zaproponowaną przez Błachutę i in. [2010a], Warta od odcinka 1 do 15 to rzeka nizinna piaszczysto-gliniasta (typ 19), następnie od odcinka 16 do ujścia, rzeka przyjmuje charakter dużej rzeki nizinnej (typ 21). Od źródeł do ujścia rzeka Warta tworzyła łącznie 25 jednolitych części wód powierzchniowych (JCWP).

Wybór odcinków badawczych oraz badania terenowe przeprowadzono, wykorzystując metodę opartą na Hydromorfologicznym Indeksie Rzeczny (HIR) [Szoszkievicz i in. 2017]. W ramach oceny terenowej oceniono od 1 do 3 odcinków w każdej JCWP. Liczba wyznaczonych odcinków badawczych, obliczona została zgodnie z metodyką HIR i uzależniona była od szerokości koryta rzeki oraz sposobu użytkowania terenu w buforze. Odcinki badawcze HIR lokalizowane były w strefach reprezentatywnych dla różnego użytkowania terenu (seminaturalnym, rolniczym lub zurbanizowanym), pod warunkiem, że dany typ użytkowania obejmował, co najmniej 25% JCWP. Zgodnie z metodyką HIR badania tereno-



Rys. 1. Lokalizacja odcinków badawczych

we w rzekach dużych (>30 m średniej szerokości koryta), przeprowadza się na odcinku badawczym o długości 1000 m, natomiast w rzekach małych i średnich (≤ 30 m średniej szerokości koryta) na odcinku 500 m.

Badania terenowe wg metody HIR pozwalają scharakteryzować koryto rzeczne oraz częściowo dolinę rzeki. W trakcie badania wykonuje się ocenę 10 profili kontrolnych. Profile te rozmieszczone są równomiernie od siebie, co 100 m w rzekach o średniej szerokości > 30 m, i co 50 metrów w rzekach o średniej szerokości ≤ 30 m. Na każdym z profili kontrolnych badane są cechy morfologiczne koryta, do których możemy zaliczyć między innymi: rodzaj materiału dennego, materiał skarp brzegowych, typy nurtu, występowanie umocnień oraz elementów antropogenicznych i naturalnych elementów hydromorfologicznych, zwiększających mozaikowość koryta. Uwzględnia się także rodzaj roślinności występującej w wodzie, bezpośrednie użytkowanie terenu, strukturę roślinności na skarpie i w strefie przybrzeżnej. Parametry abiotyczne i biotyczne analizowane są na każdym profilu kontrolnym. Po wykonaniu badań na profilach kontrolnych przeprowadza się syntetyczne podsumowanie całego odcinka, uwzględniając również elementy niestwierdzone w profilach kontrolnych, lecz występujące na badanym odcinku rzeki.

Na podstawie danych terenowych, oblicza się syntetyczny wskaźnik hydromorfologiczny HIR. Wskaźnik ten jest sumą wielu parametrów uwzględnionych w metodyce HIR i pozwala przedstawić stan hydromorfologiczny badanego odcinka rzeczno w formie liczbowej, z podziałem na klasy jakości hydromorfologicznej (tab. 1).

Wskaźnik HIR jest multimetriksem opartym na dwóch wskaźnikach cząstkowych, takich jak: wskaźnik heterogeniczności środowiska rzeczno oraz stopnia jego naturalności, dla tych cech oblicza się wskaźnik różnorodności (WRH) i wskaźnik przekształcenia hydromorfologicznego (WPH). Na indeks różnorodności hydromorfo-

gicznej składa się 13 parametrów m.in. zróżnicowanie profilu podłużnego i poprzecznego, heterogeniczność nurtu i materiału koryta, struktura roślinności strefy przybrzeżnej, w korycie i na skarpach, naturalność i heterogeniczność doliny rzecznej oraz jej łączność z korytem. Z kolei na wskaźnik WRH składa się 5 parametrów m.in.: przekształcenie profilu podłużnego i poprzecznego koryta, łączność rzeki z doliną oraz obecność budowli i pozostałych presji antropogenicznych.

Do oceny zależności pomiędzy wynikami z oceny stanu hydromorfologicznego, a strukturą użytkowania buforów, posłużono się testami istotności różnic. Każdorazowo analizowano w grupach dopasowanie dystrybuanty zmiennej do rozkładu normalnego testem Kołmogorowa-Smirnowa. Następnie w zależności od rozkładu zmiennej, liczby obiektów i homogeniczności wariancji w grupach stosowano testy parametryczne (analiza wariancji z testem post-hoc kontrastów Scheffe'a) lub nieparametryczne (test Wilcozona i Kruskala-Wallis). Podobieństwo odcinków badawczych pod względem jakości hydromorfologicznej zaprezentowano za pomocą analizy skupień metodą łączenia średnich. Łączenie średnich oblicza średnią dla grupy za pomocą nieważonej metody para-grupa z wykorzystaniem średnich arytmetycznych. Sklasteryzowane wyniki przedstawiono w formie dendrogramu. Obliczenia wykonano w programie SAS Enterprise Guide 7.1.

WYNIKI

Wykonane badania wykazały zróżnicowane warunki hydromorfologiczne rzeki Warty. Badane odcinki zaklasyfikowano do pięciu klas stanu hydromorfologicznego (tab. 2). Największą liczbę odcinków zaklasyfikowano do stanu dobrego (26 odcinków), następnie mniejszy udział miały odcinki rzeki w stanie bardzo dobrym (10) oraz umiarkowanym (7). Stan słaby stwierdzono dla 5 odcinków, natomiast zły dla 1 odcinka.

Tabela 1. Wartości graniczne multimetriksu HIR dla pięciu klas stanu hydromorfologicznego rzek

Typ hydrom. rzeki	Odcinek badawczy	Szerokość koryta	Typ abiotyczny	Wartości graniczne multimetriksu HIR właściwe dla klasy				
				I	II	III	IV	V
H2A	1 do 5	≤ 30 m	19	$\geq 0,761$	$\geq 0,639$	$\geq 0,500$	$\geq 0,375$	$< 0,375$
H2B	6 do 15	> 30 m	19	$\geq 0,761$	$\geq 0,639$	$\geq 0,500$	$\geq 0,375$	$< 0,375$
H4	16 do 49	> 30 m	21	$\geq 0,728$	$\geq 0,613$	$\geq 0,486$	$\geq 0,359$	$< 0,359$

Objaśnienia: H2A – rzeka nizinna piaszczysto-gliniasta ≤ 30 m, H2B – rzeka nizinna piaszczysto-gliniasta > 30 m, H4 – wielka rzeka nizinna > 30 m.

Tabela 2. Wyniki indeksów WRH, WPH i HIR dla poszczególnych odcinków badawczych

Nr	Odcinek badawczy	WRH	WPH	HIR	Nr	Odcinek badawczy	WRH	WPH	HIR
1	Kręciwilk (R)	49,5	5,5	0,717	26	Wiórek (S)	55	2	0,767
2	Częstochowa (Z)	33	39	0,439	27	Czapury (S)	40,5	11,5	0,633
3	Mstów (S)	51	3,5	0,736	28	Luboń (R)	34,5	23	0,536
4	Górki (R)	28	5	0,600	29	Szeląg (Z)	15,5	54	0,258
5	Łązek (S)	52,5	0	0,764	30	Naramowice (S)	55,5	14	0,703
6	Antonie (S)	57,5	0	0,792	31	Koziegłowy (R)	45,5	18,5	0,622
7	Działoszyn (R)	44,5	0	0,719	32	Mściszewo (R)	39,5	14,5	0,611
8	Ogroble (S)	56,5	0	0,786	33	Starczanowo (S)	48	8	0,694
9	Kamion (R)	53,5	0	0,769	34	Gołaszyn (S)	46,5	24,5	0,592
10	Osjaków (R)	55,5	1	0,775	35	Oborniki (Z)	32,5	31,5	0,478
11	Burzenin (R)	46,5	2	0,719	36	Kiszewo (S)	50	4	0,728
12	Sieradz (R)	27	30	0,456	37	Kiszewko (R)	37	4	0,656
13	Biskupice (R)	41,5	4	0,681	38	Smolnica (S)	42	6,5	0,669
14	Uniejów (R)	36	3	0,656	39	Wronki (Z)	21	39,5	0,369
15	Dobrów (R)	42,5	3	0,692	40	Popowo (R)	41,5	8,5	0,656
16	Biechowy (R)	23	2	0,589	41	Kłosowice (R)	42,5	14	0,631
17	Konin (Z)	27	20	0,511	42	Zatom (S)	40	14	0,617
18	Rumin (R)	26,5	0	0,619	43	Międzychód (Z)	47,5	22	0,614
19	Pyzdry (R)	39,5	7	0,653	44	Świniary (S)	56	9	0,733
20	Pogorzelnica (R)	39	11	0,628	45	Skwierzyna (R)	37,5	14,5	0,600
21	Gąsiorów (S)	41,5	3	0,686	46	Warcin (Z)	48	4	0,717
22	Komorze (S)	53	0	0,767	47	S. Polichno (R)	47,5	10	0,681
23	Rogusko (R)	50	5	0,722	48	Świerkocin (R)	42	13,5	0,631
24	Śrem (Z)	27	40,5	0,397	49	Kostrzyn (R)	55,5	13,5	0,706
25	Radzewice (R)	54,5	1	0,769					

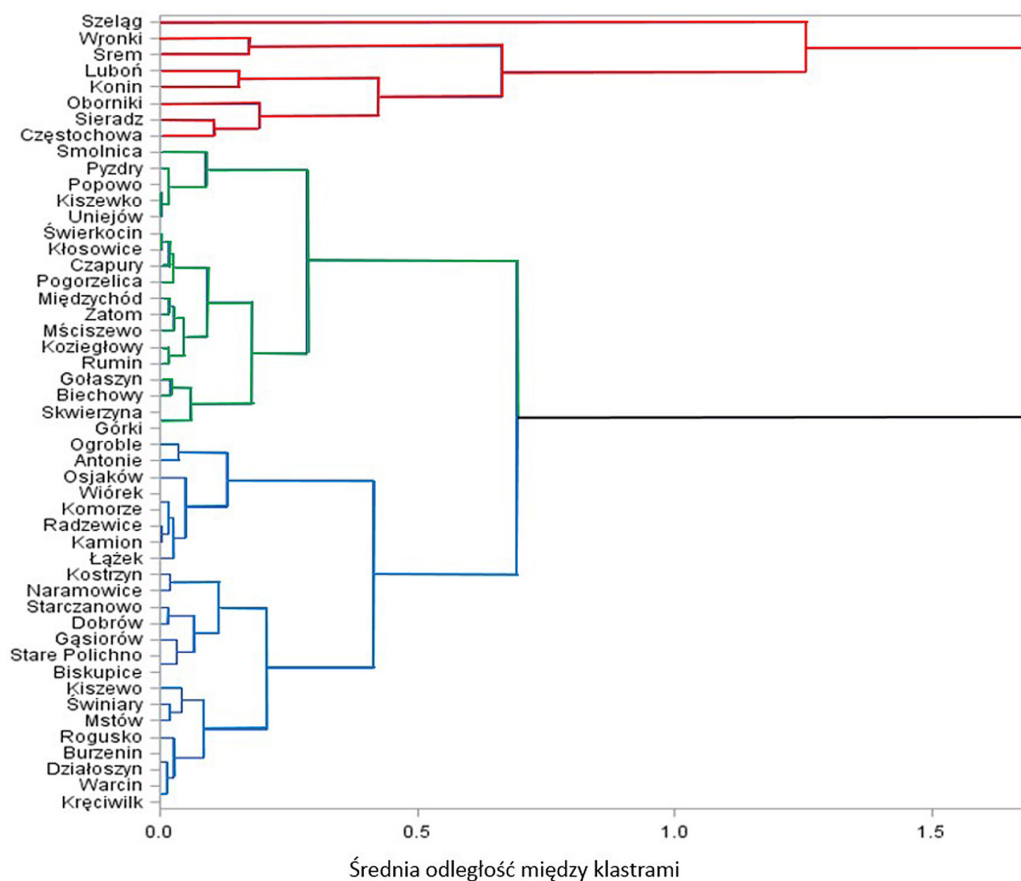
Objaśnienia: WRH – wskaźnik różnorodności hydromorfologicznej, WPH – wskaźnik przekształcenia hydromorfologicznego, HIR – hydromorfologiczny indeks rzeczny, R – bufor rolniczy, S – bufor seminaturalny, Z – bufor zurbanizowany.

W tabeli 2 zaprezentowano także wyniki indeksu HIR i jego składowych – wskaźników WRH i WPH dla poszczególnych odcinków badawczych. Największe wartości wskaźnika WRH uzyskano dla odcinków Antonie (WRH = 57,5), Ogroble (WRH = 56,5) oraz Świniary (WRH = 56). Odcinki te zlokalizowane są w buforze seminaturalnym. Natomiast najniższe wartości wskaźnika WRH odnotowano na odcinkach Szeląg (WRH = 15,5), Wronki (WRH = 21) oraz Biechowy (WRH = 23). Pierwsze dwa odcinki są zlokalizowane w buforze zurbanizowanym, a trzeci odcinek w buforze rolniczym. W odniesieniu do wskaźnika WPH najwyższe wartości, które świadczą o dużych zmianach morfologicznych, odnotowano na odcinkach: Szeląg (WPH = 54), Śrem (WPH = 40,5) oraz Wronki (WPH = 39,5). Wszystkie wymienione odcinki położone są w obszarze zurbanizowanym. Najniższe wartości wskaźnika WPH = 0, stwierdzono aż na 7 odcinkach: Antonie, Działoszyn, Kamion, Komorze, Łązek, Ogroble i Rumin, co świadczy o braku wykonanych istot-

nych zmian morfologicznych. Ponadto odcinki Osjaków i Radzewice posiadają wartość indeksu WPH = 1, co wskazuje na niewielkie zmiany morfologiczne rzeki w tych odcinkach.

Analiza skupień wykazała trzy główne grupy agregacji odcinków badawczych (rys. 2). Pierwszy klastr skupia najbardziej zdegradowane odcinki w stanie od złego do umiarkowanego (HIR od 0,258 do 0,536) – kolor czerwony. Drugi z klastrów łączy odcinki o względnie średnich parametrach hydromorfologicznych w stanie umiarkowanym oraz dobrym (HIR od 0,589 do 0,669) – kolor zielony. Natomiast trzecia grupa skupia odcinki należące do stanu dobrego i bardzo dobrego o najwyższej jakości hydromorfologicznej i nieznacznym przekształceniu siedlisk rzecznych (HIR od 0,686 do 0,792) – kolor niebieski.

Przeprowadzono analizę związku pomiędzy stanem jakości hydromorfologicznej odcinka rzecznych, a użytkowaniem strefy przybrzeżnej (bufory), w którym są położone oraz reprezentowanego typu abiotycznego i hydromorfo-



Rys. 2. Analiza skupień metodą łączenia średnich dla indeksu HIR

gicznego (tab. 3). W celu zaprezentowania różnic pomiędzy wspomnianymi grupami, wybrano dwie miary statystyczne – średnią arytmetyczną i medianę.

Najkorzystniejsze warunki hydromorfologiczne zostały stwierdzone przy odcinkach rzecznych usytuowanych na terenach seminaturalnych. Odcinki te charakteryzowały się szczególnie licznie występującymi atrybutami wskazującymi na naturalny charakter cieków (indeks WRH) i najmniejszym stopniem przekształcenia (WPH). Średnia wartość indeksu HIR dla tych odcinków wynosiła 0,71. W przypadku odcinków położonych w użytkowaniu rolniczym średnie wartości indeksów WPH, a także HIR były nieco gorsze, jednakże test statystyczny wykazał, że nie jest to różnica istotna (tab. 4). W przypadku wartości indeksu WRH różnica między użytkowaniem seminaturalnym, a rolniczym była już istotna statystycznie. Średnie dla odcinków w buforze zurbanizowanym wykazywały zdecydowanie najwyższy stopień degradacji hydromorfologicznej, co potwierdziły wskaźniki WRH, WPH i HIR. Porównanie z pozostałymi buforami wykazały istotne statystycznie różnice (tab. 4).

Analiza zróżnicowania warunków hydromorfologicznych dla odcinków Warty wykazujących różne typy hydromorfologiczne, wykazała najwyższy stopień degradacji odcinków położonych bardziej w dole rzeki, sklasyfikowanych jako wielka rzeka nizinna (H4). Odcinki rzeki w typie hydromorfologicznym H2B (szerokość >30m) charakteryzowały się wyższymi walorami niż węższe odcinki odpowiadające typowi H2A (szerokość <30 m). Analizy statystyczne wykazały, że zróżnicowanie statystyczne dotyczy tylko indeksu WPH i HIR (tab. 5). Analizy nie wykazały istotnych różnic w odniesieniu do różnorodności hydromorfologicznej ($p > 0.05$) na podstawie testu Wilcoxon, który dotyczy oceny warunków hydromorfologicznych, pomiędzy wspomnianymi typami (tab. 5).

Badania wykazały pewne zróżnicowanie stanu hydromorfologicznego pomiędzy typami abiotycznymi. Warta od odcinka 1 do 15 zaklasyfikowana jest jako rzeka nizinna piaszczysto-gliniasta (typ 19), gdzie stwierdzono lepszy stan hydromorfologiczny niż na odcinkach od 16 do 49 (do ujścia), gdzie przyjmuje charakter dużej rzeki nizinnej (typ 21). Różnice dotyczą wszyst-

Tabela 3. Wartości średniej arytmetycznej i mediana dla indeksów WHR, WPH i HIR klasyfikowanych wg zmiennych niezależnych – bufor, typ hydromorfologiczny i typ abiotyczny

Zmienna klasyfikująca	Parametr	Średnia arytmetyczna			Mediana		
		WRH	WPH	HIR	WRH	WPH	HIR
Użytkowanie strefy przybrzeżnej (bufor)	Rolniczy	41,78	8,06	0,66	42,0	5,00	0,66
	Seminaturalny	49,70	6,67	0,71	51,00	4,00	0,73
	Zurbanizowany	29,07	35,21	0,41	27,00	39,00	0,44
Typ hydromorfologiczny	H2A	42,80	10,60	0,65	49,50	5,00	0,72
	H2B	46,10	4,30	0,70	45,50	1,50	0,72
	H4	41,24	13,76	0,62	41,75	11,25	0,63
Typ abiotyczny	19	45,00	6,40	0,69	46,50	3,00	0,72
	21	41,24	13,76	0,62	41,75	11,25	0,63

Tabela 4. Jednoczynnikowa analiza wariancji – procedura porównań wielokrotnych dla indeksów hydromorfologicznych, dla odcinków rzecznych usytuowanych w różnych strukturach użytkowania (buforach)

Bufor	WRH	WPH	HIR
Seminaturalny- rolniczy	7,922***	1,389	0,05151
Seminaturalny- zurbanizowany	20,629***	28,548***	0,27308***
Rolniczy-zurbanizowany	12,706***	27,159***	0,22157***

*** różnica istotna statystycznie na poziomie 0.05.

Tabela 5. Nieparametryczne testy istotności różnic dla indeksów hydromorfologicznych w typach abiotycznych i hydromorfologicznych

Test	WRH	WPH	HIR
Wilcoxon (Typy abiotyczne 19, 21)	0,20	0,01***	0,02***
Kruskal-Wallis (Typy hydromorfologiczne H2A, H2B, H4)	0,38	0,01***	0,04***

*** różnica istotna statystycznie na poziomie 0.05.

kich analizowanych wskaźników hydromorfologicznych (tab. 3), przy czym w przypadku WRH test statystyczny nie wykazał istotności zaobserwowanego zróżnicowania.

DYSKUSJA

Przeprowadzone badania pozwalają rozpoznać stan degradacji hydromorfologicznej rzeki Warty na jej poszczególnych odcinkach i przedstawiają obraz klasyfikacji hydromorfologicznej tego ciekę wg kryteriów RDW. Badania hydromorfologiczne dużych rzek nizinnych wykonywane są w mniejszej ilości niż cieków małych czy średnich w Polsce. Głównym powodem takich dysproporcji jest niewielka liczba dużych rzek w kraju. Badania hydromorfologiczne rzeki Warty w największym zakresie były prowadzone w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska, a wyniki z tych badań terenowych przedstawiono

w niniejszym artykule. Ponadto na dużą skalę badania hydromorfologiczne prowadził zespół z Uniwersytetu Przyrodniczego z Poznania, metodą ekomorfologicznej waloryzacji cieków [Ilnicki i Lewandowski 1997], a także metodą monitoringu hydromorfologicznego rzek (MHR) [Górecki i Ilnicki 2017]. Niemniej jednak badania przeprowadzone przez naukowców z Uniwersytetu Przyrodniczego z Poznania, dotyczyły głównie przedstawienia metodyki [1997] lub porównania metod MHR i EcomorphEval na przykładzie rzek tworzących tzw. wielką pętlę wielkopolski. Nie odnotowano w literaturze wyników badań hydromorfologicznych poświęconych wyłącznie rzece Warcie, obejmujących, co najmniej 49 odcinków badawczych. Tak duża liczba przebadanych odcinków pozwala dokładnie scharakteryzować warunki hydromorfologiczne rzeki, również z uwzględnieniem typologii abiotycznej. Od wymienionych badań Ilnickiego i Lewandowskiego [1997] minęło około 20 lat. Na skutek upływu lat,

ewolucji metod hydromorfologicznych i zmienności cieków, które są układami bardzo dynamicznymi w czasie, porównanie obecnych wyników z archiwalnymi może prowadzić do dość dużych rozbieżności. Z kolei badania prowadzone przez Góreckiego i Ilnickiego [2017] dotyczyły ocen JCWP, a nie konkretnych odcinków rzek.

Prowadzenie badań terenowych w odpowiednich buforach, które zostały określone zgodnie z formami użytkowania terenu, pozwoliło na szczegółową analizę warunków hydromorfologicznych odcinków badawczych, z uwzględnieniem różnorodnych presji, charakterystycznych dla poszczególnych buforów. Zdaniem Grizzetti i in. [2017] w przypadku europejskich rzek dobry stan ekologiczny jest powiązany z seminaturalną strefą przybrzeżną, podczas gdy wysoka trofia wody i urbanizacja dolin rzecznych to prognostyki degradacji ekologicznej. Zarówno wyniki z przeprowadzonych badań rzeki Warty, jak i innych cieków [Kail i in. 2009, Lorenz i Feld 2013], potwierdziły wpływ zagospodarowania strefy przybrzeżnej (bufora) na warunki hydromorfologiczne cieku. O ile w przypadku małych i średnich rzek nizinnych zarówno rolnicze jak i urbanistyczne zagospodarowanie stref nadbrzeżnych, obniża wartości parametrów hydromorfologicznych [Pietruczuk i in. 2019], co znacznie pogarsza warunki hydromorfologiczne poprzez uproszczenie różnorodności hydromorfologicznej skarp i innych elementów morfologicznych [Teufl i in. 2013], to w przypadku Warty nie stwierdzono istotnych różnic w indeksie HIR pomiędzy odcinkami zlokalizowanymi w buforach seminaturalnych i rolniczych. Ponadto wartości średnie wskaźników WRH i WPH były w tych obydwu buforach również zbliżone. Natomiast wartości średnie poszczególnych wskaźników w buforze zurbanizowanym, potwierdzają zdecydowaną odrębność morfologiczną tego bufora od rolniczego i seminaturalnego.

Homogenność warunków hydromorfologicznych Warty w odcinkach rolniczych i seminaturalnych, wynikała z szerokiej strefy brzegowej i nadbrzeżnej, które pozwalają zachować wiele spójnych cech, pozytywnie wpływających na warunki morfologiczne, jak np. podłużne zadrzewienia wzdłuż cieku oraz elementy im towarzyszące czy szerokie tereny zalewowe. Ponadto w wielu odcinkach Warty stwierdzono struktury takie jak rumosze, powalone drzewa, zróżnicowana roślinność na skarpach brzegowych, które zwiększają różnorodność morfologiczną koryta, a tym sa-

mym produktywność biocenoz [Allouche 2002, Kałuża i Radecki-Pawlik 2014].

W ramach badań analizie poddano ocenę warunków hydromorfologicznych w poszczególnych typach abiotycznych, do których rzeka Warta jest zaklasyfikowana [Błachuta i in. 2010a]. Stwierdzono różnice w przekształceniu hydromorfologicznym pomiędzy typami 19 i 21, które wynikały z ogólnej tendencji do wzrostu nasilenia presji wraz z rozmiarami cieku. Wraz ze wzrostem szerokości koryta rzeki, odnotowano coraz więcej umocnień koryta, większą ilość ostróg brzegowych wykonanych w celu koncentracji nurtu i zapobieganiu erozji bocznej. Odcinki położone w górnym biegu rzeki (typ 19), w odróżnieniu od odcinków badawczych położonych w dolnym biegu rzeki (typ 21), nie były tak często obwałowywane oraz profilowane ostrogami kamiennymi, które są konstrukcjami stosowanymi na szeroka skale w regulacji dużych rzek nizinnych [Robakiewicz 2006]. Powyższe wnioski potwierdzają wyższą średnią wartość wskaźnika WPH w typie 21 niżeli 19. Natomiast średnia wartość wskaźnika WRH jest wyższa w typie 19, niżeli 21, co oznacza, że odcinki te charakteryzują się większą różnorodnością hydromorfologiczną. Jak zalecają Wiśniewolski i Gierej [2011] w celu zachowania bioróżnorodności ekosystemu powinno wykonywać się umocnienia brzegów tylko punktowo w miejscach o największym zagrożeniu erozją oraz zachowywać możliwie naturalny przebieg cieków, meandrów i ich połączeń z obszarami zastoiskowymi. Natomiast dość często stosuje się umocnienia i profilowania na dłuższych odcinkach, tak jak ma to miejsce na Warcie.

Analiza skupień wykazała 3 grupy odcinków badawczych, charakteryzujących się wspólnymi cechami. Pierwsza z nich reprezentowana przez 5 odcinków zlokalizowanych w buforze zurbanizowanym (Częstochowa, Śrem, Szelaż w Poznaniu, Oborniki, Wronki) i jeden rolniczy (Sieradz) cechowała się słabym lub złym stanem hydromorfologicznym. Stwierdzono tu niską różnorodnością hydromorfologiczną (WRH = 15,5–32,5) oraz znaczne przekształcenie antropogeniczne (WPH = 30,5–54). Dominującymi presjami hydromorfologicznymi były profilowania i umocnienia skarp ostrogami kamiennymi. Najbardziej zdegradowany antropogenicznie odcinek zlokalizowany był w Poznaniu (Szelaż), który w całości umocniony był okładzinami betonowymi. Ilnicki i Lewandowski [1997] także podkreślają dużą degradację hydromorfologiczną Warty w

Poznaniu, wskazując na liczne umocnienia i kilkukrotne zmiany przebiegu koryta. Odcinek ten, jak i pozostałe o niskich wartościach WRH i HIR, posiadały uproszczoną strukturę roślinności na skarpach i strefie nadbrzeżnej, co wynika z ingerencji ludzkiej w przestrzeni zurbanizowanej. Ingerencje w bezpośrednią dolinę rzeczną korelują z niskim udziałem roślinności w korycie, a więc obniżeniem jakości ekologicznej, a zarazem hydromorfologicznej ekosystemu [Hamerla i in. 2015]. Dużymi oddziaływaniami były także obwałowania odnotowywane najczęściej w obrębie aglomeracji miejskich (Szelaż, Śrem, Luboń, Kolin, Częstochowa), a niekiedy także wśród odcinków położonych w pozostałych buforach. W niektórych przypadkach (Rogusko, Radzewice) konstrukcje te uniemożliwiały łączność rzeki ze starorzeczami i innymi terenami przyległymi do rzeki. Starorzeczca i inne środowiska lenityczne to miejsca rozrodu i refugia organizmów zagrożonych [Jelonek 2002], pełniące także ważną rolę w funkcjonowaniu biocenoz dużych rzek poprzez dryf organizmów w okresie potamofazy [Dembowska i Napiórkowski 2012].

Do dwóch pozostałych grup klastrów wydzielonych w oparciu o analizę skupień należały odcinki w dobrym (26) i bardzo dobrym (10) stanie hydromorfologicznym (tylko 5 odcinków w klasie III). Z wyjątkiem odcinka w Międzychodzie wszystkie były zlokalizowane w buforze rolniczym lub seminaturalnym. Wspólnymi cechami wspomnianej grupy odcinków były bogactwo elementów towarzyszących zadrzewieniom, szeroka strefa nadbrzeżna o złożonej strukturze roślinności, zróżnicowanie profilu podłużnego jak i poprzecznego koryta (obecność odsypów brzegowych i śródkorytowych, erodujących i stabilnych podcięć brzegów). Wszystkie przedstawione cechy są ważnym elementem kształującym wysokie walory morfologiczne rzek [Jusik i in. 2014]. Skarpy zbudowane były z materiałów naturalnych tj. piasek, ziemia, glina oraz rzadko były umacniane za pomocą ostróg kamiennych. Wspomniane warunki oraz niski stopień antropresji zapewniły trzeciej grupie klastrów minimum dobry stan hydromorfologiczny. Odcinki o minimum dobrym stanie hydromorfologicznym stanowiły 74% wszystkich odcinków Warty.

Na wszystkich odcinkach badawczych, mniej ważnymi presjami były mosty oraz pozostałe presje, ponieważ nie zaburzały reżimu hydrologicznego rzeki i miały niewielki wpływ na warunki hydromorfologiczne. Natomiast należy

wspomnieć o zbiorniku zaporowym Jeziorsko, który jest jednym z największych zbiorników w Polsce oraz o zbiorniku Poraj, który jest zdecydowanie mniejszy, ale również mający wpływ na warunki hydromorfologiczne, jak i ekologiczne rzeki [Wierzbicki i in. 2008, Ciepłucha i in. 2014]. Zbiorniki zaporowe wpływają na warunki hydrologiczne rzeki, kształtowanie struktury użytkowania stref przybrzeżnych, migracje organizmów czy warunki fizykochemiczne wody w ciekach [Allan 1998, Błachuta i in. 2010b, Niechwiej 2015]. Jak podają Wierzbicki i in. [2008] w wyniku erozji podłużnej doszło do obniżenia poziomu dna w Warcie, a w konsekwencji lustra wody bezpośrednio poniżej zbiornika Jeziorsko o 1,9 metra. Wskazują również na oddziaływanie zbiornika Jeziorsko na warunki hydrologiczne rzeki poniżej zapory na odcinku 10 km, co spowodowało dwukrotne zmniejszenie spadku podłużnego zwierciadła wody w wyniku oddziaływania erozji na przestrzeni 24 lat. Wykonanie badania z wykorzystaniem metody HIR, przedstawiają stan ekosystemu rzeczno-taki, jaki stwierdzono w czasie wykonywanych badań. Ponieważ, tego typu badania hydromorfologiczne metodą HIR, nie były poprzednio wykonane, nie da się jeszcze zaobserwować postępujących procesów hydromorfologicznych i określenia kierunków zmian, powodowanych eksploatacją wspomnianych zbiorników. Aby rozpoznać ten problem, należałoby prowadzić systematycznie badania hydromorfologiczne jedną metodą badawczą, co najmniej raz w roku na przestrzeni, co najmniej kilkunastu lat.

LITERATURA

1. Adamczyk W., Jachimowski A. 2013. Impact of Biogenic Components on Quality and Eutrophication of Flowing Surface Waters Constituting the Source of Drinking Water for the City of Kraków. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 6(91), 175–190.
2. Allouche S. 2002. Nature on functions of cover for riverine fish. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*. 365/366, 297–324.
3. Błachuta J., Picińska-Fałtynowicz J., Czoch K., Kulesza K. 2010a. Typologia wód płynących w Polsce. *Gospodarka Wodna*, 5, 181-191.
4. Błachuta J., Rosa M., Wiśniewolski W., Zgrabczyński J. (red). 2010b. Ocena potrzeb i priorytetów udroźnienia ciągłości morfologicznej rzek w kontekście osiągnięcia dobrego stanu i potencjału części wód w Polsce. KZGW, Warszawa.

5. Brierley G.J., Fryirs K.A. 2005. *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*. Blackwell Publishing, Oxford.
6. Ciepłucha M., Kruk A., Zięba G., Marszał L. 2014. *Fish Fauna of The Warta River*. Roczniki Naukowe PZW, 27, 147-184.
7. Ciepłucha M., Kruk A., Zięba G., Marszał L., Błońska D., Tybulczuk S. Tsydel M., Galicka W., Przybylski M. Penczak T. 2016. *Regeneracja ichtiofauny rzeki Warty: weryfikacja kategorii zagrożenia gatunków ryb*. Roczniki Naukowe PZW, 29, 23–41.
8. Czarnecka H. (red.) 2005. *Atlas podziału hydrograficznego Polski. Część 2. Zestawienia zlewni*. Seria Atlasy Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Wydawnictwa IMGW, Warszawa.
9. Dembowska E., Napiórkowski P. 2012. *Dlaczego warto chronić starorzeczka? Kosmos*, 295,341-349.
10. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy]. *Dz.U. UE L z dnia 22 grudnia 2000 r.*
11. Favreau G., Cappelaere B., Massuel S., Leblanc M., Boucher M., Boulain N., Leduc C. 2009. *Land clearing, climate variability and water resources increase in semiarid southwest Niger: A revive*. *Water Resources Research*. 45 (7), 1–18.
12. Florsheim J. L., Mount J. F., Chin A. 2008. *Bank Erosion as a Desirable Attribute of Rivers*. *BioScience*. Oxford University Press, 58 (6), 519-529.
13. Fryirs K., Arthington A., Grove J. 2008. *Principles of river condition assessment*. [W:] Brierley G.J., Fryirs K.A. (red.) *River futures: An integrative scientific approach to river repair*. Washington, DC. Island Press s. 100–118.
14. Gorman O., Karr J.R. 1978. *Habitat Structure and Stream Fish Communities*. *Ecology*. 59, (3), 507-515.
15. Górecki K., Lewandowski P. 2017. *Hydromorfologiczna ocena Wielkiej Pętli Wielkopolski – porównanie metod i wyników*. *Nauka Przyroda Technologie*, 11 (1), 5-22.
16. Grizzetti B., Pistocchi A., Lique C., Udias A., Bouraoui F., Van de Bund W. 2017. *Human pressures and ecological status of European rivers*. *Scientific Reports*, 7 (1).
17. Hamerla A. M., Trzaski L., Łabaj P., 2015. *Assessment of hydromorphological conditions of urban streams with Urban River Survey method*. *Inżynieria Ekologiczna*. 41, 26-35.
18. Heino J., Mykrä H., Hämäläinen h., Aroviita J., Muotka T. 2007. *Responses of taxonomic distinctness and species diversity indices to anthropogenic impacts and natural environmental gradients in stream macroinvertebrates*. *Freshwater Biology*, 52, (9), 1846-1861.
19. Hering D., Johnson R.K., Kramm S., Schmutz S., Szoszkiewicz K., Verdonschot P.F.M. 2006. *Assessment of European streams with diatoms, macrophytes, macroinvertebrates and fish: a comparative metric-based analysis of organism response to stress*. *Freshwater biology*, 51, (9), 1757-1785.
20. Huang J., Huang L., Wu Z., Mo Y. 2019. *Correlation of fish assemblages with habitat and environmental variables in a headwater stream section of Lijiang River, China*. *Sustainability*, 11, (4).
21. Ilnicki P., Lewandowski P. 1997. *Ekomorfolożyczna waloryzacja dróg wodnych Wielkopolski*. *Boğucki Wydawnictwo Naukowe*. Poznań.
22. Jaguś A., Rzętała M. 2000. *Zbiornik Poraj: charakterystyka fizycznogeograficzna*. Sosnowiec WNoZ UŚ, s. 82.
23. Jähnig S.C., Brabec K., Buffagni A., Erba S., Lorenz A.W., Ofenböck T., Verdonschot P.F.M., Hering D. 2010. *A comparative analysis of restoration measures and their effects on hydromorphology and benthic invertebrates in 26 central and southern European rivers*. *Journal of Applied Ecology*, 47. (3), 671–680.
24. Jelonek M. 2012. *Znaczenie dla środowiska i gospodarki rybackiej starorzeczy oraz innych zbiorników wodnych w terenach zalewowych*. *Acta Hydrobiologica*, 3, 29-35.
25. Jokiel J., Backiel T. 1960. *Połowy troci (Salmo trutt L.) w Zatoce Gdańskiej I systemie rzeczonym Wisły*. *Roczniki Nauk. Rolniczych, seria B*, 75 (2), 213-222.
26. Jusik S., Bryl Ł. S., Przesmycki M., Kasprzak M. 2014. *The Evolution of Hydromorphological Method for River Assessment RHS-PL in Poland*. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 17(1), 41-62.
27. Kail J., Jähnig S. C., Hering D. 2009. *Relation between floodplain land use and river hydromorphology on different spatial scales – A case study from two lower-mountain catchments in Germany*. *Fundamental and Applied Limnology*, 174 (1), 63–73.
28. Kałuza T., Radecki-Pawlik A. 2014: *Influence of coarse and fine plant debris on river channel hydrodynamics*. – In Polish. *Wpływ grubego i drobnego rumoszu roślinnego na hydrodynamikę koryt rzecznych*. *Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus*, 13 (1), 67-80.
29. Kondolf G.M., Piégay H. Y., Sear D. 2003. *Integrating geomorphological tools in ecological and management studies*. [W:] Kondolf G.M., Piégay H. (red.) *Tools in Fluvial Geomorphology* Chichester: J.Wiley & Sons, s. 633-660.
30. Lewicki Z., Konopczyński W., Demidowicz M., Susek P., Szenfeld M. (red.) 2011. *Stan środowiska w województwie lubuskim w latach 2009–2010*. *Biblioteka Monitoringu Środowiska, Zielona Góra – Gorzów Wielkopolski*.

31. Lorenz W.A., Feld K.Ch. 2013. Upstream river morphology and riparian land use overrule local restoration effects on ecological status assessment. *Hydrobiologia*, 704, (1), 489–501.
32. Niechwiej A. 2015. Kształtowanie się zoobentosu w strefie występowania małej zabudowy hydrotechnicznej, w potokach zlewni Kamienicy Nawojowskiej (Beskid Sądecki). Rozprawa doktorska. Uniwersytet Opolski, Opole.
33. Penczak T., Głowacki Ł., Galicka W., Koszaliński H. 1998. A long-term study (1985–1995) of fish populations in the impounded Warta River, Poland. *Hydrobiologia*, 368, 157–173.
34. Pietruczuk K., Dajewski K., Garbarczyk A., Wyrzykowska D. 2019. Zróżnicowanie warunków hydromorfologicznych wybranych rzek Wielkopolski z uwzględnieniem typologii abiotycznej i użytkowania doliny rzecznej. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 19, 2 (66), 79–95.
35. Robakiewicz M. 2006. Rola ostróg w regulacji rzek. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 4 (2), 151-158.
36. Sala O.E., Chapin F.S., Armesto J. J., Berlow E., Bloomfield J., Dirzo R., Huber-Sanwald E., Huenneke L. F., Jackson R. B., Kinzig A., Leemans R., Lodge D. M., Mooney H.A., Oesterheld, M., Poff N., Sykes M. T., Walker B.H., Walker M., Wall D.H., 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287, (5459), 1770–1774.
37. Scanlon B.R., Jolly I., Sophocleous M., Zhang L. 2007. Global impacts of conversions from natural to agricultural ecosystems on water resources: Quantity versus quality. *Water Resources Research*, 43, (3), 1–18.
38. Schlosser J.I. 1987. The Role of Predation in Age- and Size-Related Habitat Use by Stream Fishes. *Ecology*, 68 (3), 651-659.
39. Shi X., Liu J., You X., Bao K., Meng B., Zou Q., 2019. Shared effects of hydromorphological and physico-chemical factors on benthic macroinvertebrate integrity for substrate types. *Ecological Indicators*, 105, 406-414.
40. Stendera S., Adrian R., Bonada N., Cañedo-Arguelles M., Huguency B., Januschke K., Pletterbauer F., Hering D. 2012. Drivers and stressors of freshwater biodiversity patterns across different ecosystems and scales: a review. *Hydrobiologia*, 696. 1-28.
41. Strahler A. N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions American Geophysical Union*, 38 (6), 913–920.
42. Szmyt J. 1904. *Rybaństwo w Wielkopolsce*. Kraków, Okólnik Rybacki, 72, 266–272.
43. Szoszkiewicz K., Jusik S., Adynkiewicz-Piragas M., Gebler D., Achtenberg K., Radecki-Pawlik A., Okruszko T., Gielczewski M., Pietruczuk K., Przesmycki M., Nawrocki P. 2017. Podręcznik oceny wód płynących w oparciu o hydromorfologiczny indeks rzeczny. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
44. Teufl B., Weigelhofer G., Fuchsberger J., Hein T. 2013. Effects of hydromorphology and riparian vegetation on the sediment quality of agricultural low-order streams: consequences for stream restoration. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(3), 1781-1793
45. Wierzbiński M., Hämmerling M., Przedwojski B. 2008. Przebieg procesu erozji poniżej zbiornika Jezioro na rzece Warcie. *Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 17, 2 (40), 136–145.
46. Wiśniewolski W. 2002. Czynniki sprzyjające i szkodliwe dla rozwoju i utrzymania populacji ryb w wodach. *Supplementa ad Acta Hydrobiologica*, 3, 1-28.
47. Wiśniewolski W., Gierej A. 2011. Regulacja rzek a ichtiofauna – skutki i środki zaradcze. [W:] *Użytkownik rybacki 2011*. Polski Związek Wędkarski, Warszawa.
48. Wyżga B., Amirowicz A., Radecki-Pawlik A., Zawiejska J. 2008. Zróżnicowanie hydromorfologiczne rzeki górskiej a bogactwo gatunkowe i liczebność ichtiofauny. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 02.
49. Vaughan I. P., Diamond M., Gurnell A. M., Hall K. A., Jenkins A., Milner N. J., Naylor L. A., Sear D. A., Woodward G., Ormerod S. J. 2007. Integrating ecology with hydromorphology: a priority for river science and management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 19(1), 113-125.