

JANUSZ LIGIEZA*, MIKOŁAJ ADAMCZYK, PAWEŁ PRUS,
WIESŁAW WIŚNIEWOLSKI

**MONITORING RYGŁOWEJ PRZEPLAWKI DLA RYB I OPTYMALIZACJA
JEJ FUNKCJONOWANIA**

MONITORING AND OPTIMIZATION OF THE FUNCTIONING
OF A STEP-POOL FISHPASS CHANNEL

Instytut Rybactwa Śródlądowego im. Stanisława Sakowicza
Zakład Rybactwa Rzecznego, Żabieniec 05-500 Piaseczno

ABSTRACT

The operation of a step-pool fishpass channel located at the hydropower plant constructed on the Nysa Łużycka River, Poland was monitored for several years, during which the fishpass was modernized. The monitoring and modernization consisted of four stages. At Stage I, sampling of fish by trap and by electrofishing, and analysis of the functioning of the fishpass were made. They indicated that few fish (about 0.06 ind. per hour) were able to pass the channel due to high water velocity, highly turbulent water flow, and too slow attraction flow. Accordingly, at Stage II, measures to improve the efficiency of the fishpass were taken. Water velocity was reduced by throttling of the inflow with a stone ramp. This resulted in an increase in the number of fish individuals trapped at the exit of the fishpass to about 0.8 per hour. At Stage III, the thalweg in the lower part of the fishpass channel was raised by a stone layer and 3 additional steps were constructed. As a result, the number of fish individuals increased to about 1.6 per hour. At Stage IV, the downstream section of the fishpass was narrowed with stones to strengthen attraction flow in the tailwater, which resulted in the greatest increase in the efficiency, to about 6 fish ind. per hour.

Key words: fish migration, barriers, river connectivity, hydropower plant, bypass channel.

* Autor do korespondencji: rzeki@infish.com.pl

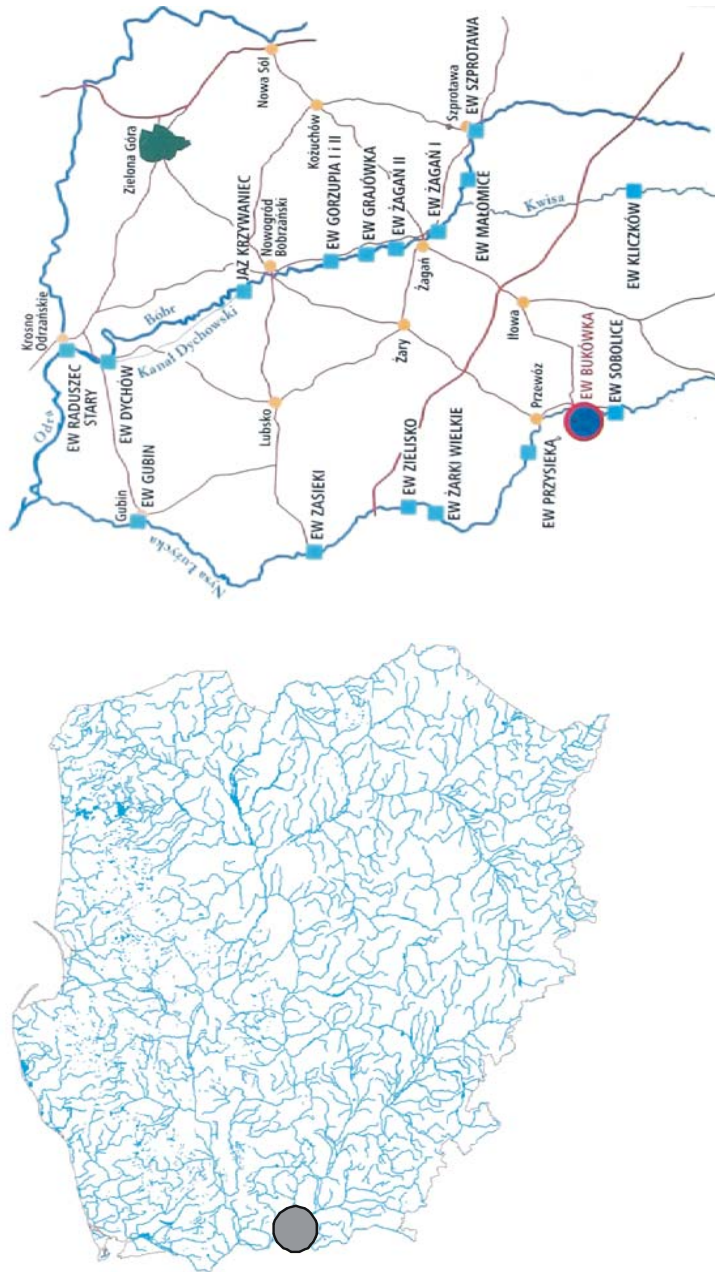
1. WSTĘP

Przywracanie ciągłości morfologicznej i ekologicznej rzek jest niezbędne w dążeniu do osiągnięcia co najmniej dobrego stanu lub potencjału ekologicznego wód. Obowiązek taki nakłada na Polskę Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 roku, tzw. Ramowa Dyrektywa Wodna. Aby warunek ten mógł zostać spełniony, konieczne jest zapewnienie możliwości swobodnej migracji organizmom wodnym, zwłaszcza rybom (Lubieniecki 2002, Wiśniewolski i Engel 2006, Błachuta i inni 2010, FAO/DVWK/WWF.PL. 2016).

Wraz z rozwojem zabudowy hydrotechnicznej rzek i energetyki wodnej, konieczne stało się budowanie przepławek, które umożliwiałyby rybom pokonywanie przeszkód przegradzających rzeki. Przepławki budowane są przy barierach migracyjnych już od połowy XIX w. (Zgrabczyński 2007). Warunkiem skuteczności funkcjonowania przepławki jest dostosowanie jej parametrów do możliwości pokonywania prądu wody przez ryby zasiedlające daną rzekę. Istotny jest także wybór właściwego rozwiązania konstrukcyjnego urządzenia migracyjnego, dostosowanego do wymagań biologicznych ichtiofauny. Na funkcjonowanie przepławki wpływa również miejsce jej lokalizacji na stopniu wodnym, w tym szczególnie położenie wejścia dla ryb i kąt ujścia do nurtu prądu wabiącego oraz łagodne połączenie dna przepławki z dnem rzeki (Gebler 1991, Jens i inni 1997, FAO/DVWK/WWF.PL. 2016). Aby zapewnić swobodną migrację nie tylko ryb, ale też innych organizmów wodnych przepławka powinna działać przez cały rok (Zgrabczyński 2007).

Ocena funkcjonowania przepławki jest wymagana podczas procesu udrażniania rzek. Próby przeprowadzania takiej oceny, których podejście metodyczne porównywalne jest ze współcześnie stosowanymi metodami, podejmowano już w początkach XX wieku (Gerhardt 1912). Podstawę oceny funkcjonalności przepławki stanowi liczba osobników i skład gatunkowy ryb pokonujących urządzenie w określonym czasie, w odniesieniu do zróżnicowania taksonomicznego i liczby osobników ichtiofauny zasiedlającej dany odcinek rzeki (Larinier 2001, Cooke i Hinch 2013, FAO/DVWK/WWF.PL. 2016).

Monitoring funkcjonowania przepławki przy Elektrowni Wodnej „Bukówka” prowadzony był w latach 2008–2014 i przebiegał w czterech etapach. Pierwszy – w latach 2008–2012 – obejmował ocenę możliwości pokonywania przepławki przez ryby. Kolejnym była wstępna korekta parametrów przepławki wykonana w roku 2012 oraz ocena jej skuteczności. W trzecim etapie (2013 r.) przeprowadzono gruntowną modernizację przepławki, zgodnie z wytycznymi opracowanymi w oparciu o dotychczasowe badania. Ostatni, w latach 2013–2014, polegał na końcowej modernizacji parametrów technicznych przepławki oraz ponownej ocenie możliwości pokonywania przepławki przez ryby po wszystkich przeprowadzonych modyfikacjach. Celem pracy jest przedstawienie procesu oceny funkcjonowania przepławki oraz działań podjętych dla zwiększenia jej efektywności.



Rys. 1. Lokalizacja przepławki przy EW Bukówka.

Fig. 1. Location of the fishpass at the Bukówka hydropower plant.

2. TEREN BADAŃ

Nysa Łużycka jest lewobrzeżnym dopływem Odry, o długości 221,6 km i powierzchni zlewni 4403 km² (Czarnecka 2005). Witkowski i inni (2000) podają dla historycznego i obecnego składu ichtiofauny Nysy Łużyckiej 38 gatunków ryb i minogów, w tym 3 gatunki obcego pochodzenia i 35 rodzimych. W odłowach wykonanych w Nysie Łużyckiej w 2008 r. odnotowano obecność 13 gatunków ryb, z wyraźną dominacją płoci, oraz znacznym udziałem uklei, kiełbia, szczupaka i klenia (dane własne niepublikowane). Z kolei podczas monitoringu przepławki przy Elektrowni Wodnej „Bukówka” zarejestrowano występowanie 19 gatunków ryb i minogów, wśród których dominował śliz, ze znacznym udziałem kiełbia, uklei i brzany. Nysa Łużycka przegrodzona jest wieloma piętrzeniami, których część nie posiada przepławek dla ryb (Adynkiewicz-Piragas i Lejcuś 2009), co skutkuje brakiem historycznie notowanych gatunków dwuśrodowiskowych w aktualnym zespole ichtiofauny (Witkowski i inni 2000, Błachuta i inni 2010).

Stopień Wodny „Bukówka” zlokalizowany jest w km 103 biegu Nysy Łużyckiej, w miejscowości Bucze, gminie Przewóz, województwo lubuskie. Pełni on funkcję piętrzenia energetycznego jako jedna z szeregu elektrowni wodnych (Rys. 1). Poziom wody górnej (NPP) znajduje się na rzędnej 128,60 m n.p.m., natomiast wody dolnej (przy SNQ) na 122,70 m n.p.m. Różnica poziomów wynosi więc 5,9 m, co uniemożliwia rybam wędrówkę w górę rzeki. W tej sytuacji niezbędne stało się wykonanie przepławki dla ryb. Elektrownia wyposażona jest w dwie turbiny typu Kaplana o mocy 420 KW każda, średnicy wirnika 1500 mm i 223 obrotach na minutę. Wlot wody do turbin zabezpieczony jest przed dostawaniem się do kanału turbozespołów zanieczyszczeń przez skośnie ustawioną kratę o rozstawie prętów 3 cm. Krata jest codziennie mechanicznie czyszczona. Krata taka stanowi również element ochrony ryb w trakcie migracji w dół rzeki, jednak może być skuteczna przede wszystkim dla większych osobników.

Znajdująca się przy Elektrowni Wodnej przepławka (Fot. 1) usytuowana jest na kanale derywacyjnym prowadzącym wodę do turbozespołów, około 80 m od prawego przyczółka jazu. Wlot do kanału znajduje się około 110 m powyżej jazu na prawym brzegu rzeki. Pomiędzy kanałem derywacyjnym a jazem znajduje się wyspa, na której usytuowana jest przepławka. Wlot wody do przepławki zlokalizowany jest w kanale derywacyjnym, ok. 60 m powyżej elektrowni, zaś wylot wody (wejście dla ryb od strony wody dolnej) usytuowany jest ok. 30 m poniżej elektrowni. Jest to przepławka typu ryglowego (kaskadowa), w której w betonowe koryto wbudowane zostały progi (rygle) wykonane z luźno ustawionych na sztorc głazów (Fot. 2). Pomiędzy nimi znajdują się różnej szerokości szczeliny, którymi przepływa woda. Dno przepławki pokryte jest narzutem z grubego żwiru i kamieni, osadzonych w betonie, co w połączeniu

z zastosowaniem głazów jako rygli nadaje jej seminaturalny charakter (Wildman i inni 2003, FAO/DVWK/WWF.PL. 2016).

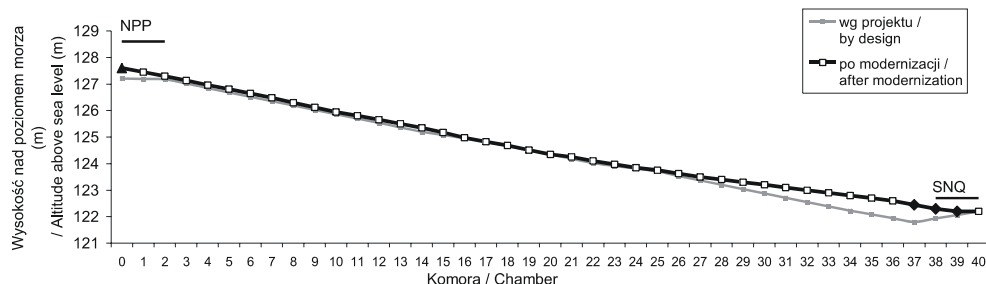
3. MATERIAŁ I METODY

W początkowej fazie badań wykonano pomiary metryczne wielkości komór i szerokości szczelin na całej długości przepławki oraz różnic wysokości dna kolejnych komór. Jednym z głównych elementów prowadzonych badań były pomiary prędkości wody w przepławce, a także poziomu jej napełnienia. Do pomiaru prędkości wody używano elektronicznego młynka przepływowego typu μ P-TAD firmy Höntzsch Instruments. Pomiary wykonywano w szczelinach wszystkich progów przepławki oraz komorach pomiędzy nimi, w punktach zlokalizowanych tuż pod powierzchnią wody, pośrodku jej słupa oraz w bezpośrednim sąsiedztwie dna. Pomiar odbywał się w ciągu 30 sekund, a uzyskany i zapisywany wynik końcowy stanowił średnią indywidualnych odczytów rejestrowanych automatycznie, co 2 sekundy. Do pomiaru poziomu napełnienia komór użyto łaty mierniczej. Krytyczne wartości prędkości wody w szczelinach przepławki dla ryb łososiowatych ($2,0 \text{ m s}^{-1}$), reofilnych karpowatych ($1,5 \text{ m s}^{-1}$), a także gatunków o słabych możliwościach przeciwstawiania się prądowi wody, gatunków drobnych oraz narybku ($1,0 \text{ m s}^{-1}$) określono w oparciu o dane literaturowe (Gebler 1991, Adam i inni 1996, 2006, Jens i inni 1997, Larinier 2001, Lubieniecki 2002, Wiśniewolski 2003, Zgrabczyński 2007, Wiśniewolski i inni 2013).

Kolejnym elementem badań były odłowy ryb. Do kontroli przechodzenia ryb przez przepławkę używano pojedynczego, dwukomorowego żaka o średnicy 80 cm i długości komory 270 cm, posiadającego dwa skrzydła, wykonanego z tkaniny sieciowej o wymiarach oka 25 mm w skrzydłach i 20 mm w klatce łownej. Żak ustawiano na wyjściu z przepławki (górna woda), zapisując czas jego ustawienia a następnie kontroli. Skrzydła żaka rozciągano aż do brzegów i mocowano za pomocą wbijanych w dno drewnianych kołków. Zamykano w ten sposób obszar w bezpośrednim sąsiedztwie wyjścia z przepławki, co zapobiegało ewentualnemu omijaniu żaka przez ryby wychodzące z przepławki. Liczbę osobników ryb łowionych w pułapkę, a więc pokonujących piętrzenie, była podstawową miarą oceny funkcjonalności przepławki.

Podczas kontroli przepławki po ekspozycji górnego żaka wejście do przepławki od strony wody dolnej (wylot wody na dolne stanowisko poniżej elektrowni) zastawiano dwukomorowym żakiem. Żak ten skonstruowany był w sposób analogiczny jak stosowany na stanowisku górnym. Różnił się on tylko sposobem mocowania skrzydeł, które połączone były z drewnianą ramą, wstawianą w specjalnie osadzone na ścianach przepławki prowadnice. Po ustawieniu pułapki zamykano za pomocą drewnianych szandorów dopływ wody do przepławki. W ten sposób rejestrowano ryby,

które dostały się do przepławki w czasie pracy górnego żaka, lecz jej nie pokonały. Ryby te spływały do dolnego żaka wraz z opadającą wodą, po zamknięciu szandorami dopływu wody do przepławki. W celu określenia liczby osobników ryb znajdujących się w przepławce wykonywano w niej również elektropułowy. Łowiono plecakowym agregatem elektrycznym firmy Honda o mocy 1,5 kW, napięciu prądu dwupołkowego wyprostowanego 250 V i natężeniu 3 A. Ręczna anoda w formie okrągłego kasara obszyta była siatką bezwęzłową o oczku 5 mm. Katodę stanowiła pleciona linka miedziana o długości 1 metra. Łowiono brodząc w górę przepławki zaczynając od żaka zainstalowanego na dolnej wodzie. Ryby liczone w poszczególnych komorach oraz identyfikowano pod względem przynależności gatunkowej. Po zakończeniu elektropułowy wyjmowano dolny żak. Znajdujące się w nim ryby, które spływały z przepławki, były mierzone i ważone. Po zakończeniu kontroli i demontażu dolnego żaka ponownie otwierano dopływ wody do przepławki. Doświadczalne elektropułowy w przepławce oraz zastawianie żakiem wejścia do przepławki od strony dolnej wody służyły sprawdzeniu, ile ryb odnajduje do niej drogę i do niej wpływa oraz czy przepławka jest wykorzystywana przez ryby również jako siedlisko.



Rys. 2. Zmiana profilu dna przepławki. Linia szara – profil początkowy – według projektu, linia czarna – profil dna po wprowadzeniu modyfikacji. Kwadraty z białym wypełnieniem – pierwotnie istniejące progi, romby z czarnym wypełnieniem – 3 nowe progi w dolnej części przepławki, trójkąt z czarnym wypełnieniem – dno podniesione narzutem kamiennym na stanowisku górnym. Zaznaczono średni poziom, NPP, na górnej wodzie oraz średni poziom, SNQ, na dolnej wodzie.

Fig. 2. Changes of the fishpass bottom profile. Grey line – initial profile – by design, black line – bottom profile after modernization. White squares – steps present at the initial stage, black diamonds – 3 new steps in the lower part of the fishpass, black triangle – bottom raised with a stone ramp at the upper site. NPP – mean water level upstream of the dam; SNQ – mean water level in the tailwater.

Tabela 1. Parametry techniczne przepławki na stopniu wodnym Bukówka przed modernizacją (2008–2011) i po jej wykonaniu (2013–2014).

Table 1. Technical parameters of the fishpass at the Bukówka hydropower plant before modernization (2008–2011) and after modernization (2013–2014).

Parametr / Parameter	Przed modernizacją / Before modernization (2008–2011)	Po modernizacji / After modernization (2013–2014)
Szerokość przepławki [m] Fishpass width [m]	2,0	2,0
Długość przepławki [m] Fishpass length [m]	120,8	120,8
Wysokość piętrzenia [m] Damming height [m]	5,9	5,9
Średnia głębokość wody w przepławce (zakres) [m] Average water depth in fishpass (range) [m]	0,58 (0,41–1,35)	0,76 (0,6–1,0)
Liczba progów (rygli) Steps number	36	39
Średnia sumaryczna szerokość szczelin progów (zakres) [m] Average sum width of step openings (range) [m]	0,77 (0,56–0,91)	0,48 (0,25–0,65)
Odległość od wylotu wody z przepławki (dolna woda) do pierwszego progów [m] Distance from the tailwater to the first step [m]	11,0	3,0
Wydatek przepławki [m ³ s ⁻¹] Fishpass discharge [m ³ s ⁻¹]	0,97	0,51
Średnia prędkość wody w szczelinach progów (zakres) [m s ⁻¹] Average water velocity in step openings (range) [m s ⁻¹]	1,33 (0,37–2,28)	0,97 (0,03–1,9)
Średnia prędkość wody w komorach przepławki (zakres) [m s ⁻¹] Average water velocity in fishpass chambers (range) [m s ⁻¹]	0,66 (0,04–1,61)	0,59 (0,13–1,2)
Prędkość prądu wabiącego [m s ⁻¹] Attraction flow velocity [m s ⁻¹]	0,2	0,34 (2013) 0,50 (2014)

Schemat monitoringu oraz podejmowanych modernizacji przepławki na stopniu Bukówka obejmował następujące etapy działań:

Etap I. W latach 2008–2012 podczas przeprowadzonych badań scharakteryzowano:

- a. lokalizację (usytuowanie) przepławki względem elektrowni w odniesieniu do wymagań ryb,

- b. podstawowe parametry konstrukcyjne przepławki (Rys. 2, Tabela 1),
- c. warunki przepływu wody w przepławce,
- d. możliwości pokonywania przepławki przez ryby,
- e. kierunki i możliwości modyfikacji konstrukcji przepławki w celu poprawy jej funkcjonowania.

Po wykonaniu szczegółowych pomiarów wszystkich rygli i komór przepławki stwierdzono, że wymiary poszczególnych komór mierzone od krawędzi głazów tworzących rygle mieszczą się w zakresie długości od 180 do 280 cm, natomiast szerokości poszczególnych szczelin rygli oscylują w przedziale od 7 do 50 cm. Sumaryczna szerokość szczelin pojedynczego rygla osiągała wartość średnią 77 cm i wahała się na długości całej przepławki od 56 cm do 91 cm (Tab. 1).

Analiza różnic wysokości dna pomiędzy poszczególnymi komorami wykazała ich nierównomierny rozkład. Różnice poziomów pomiędzy sąsiadującymi ze sobą komorami wahały się od 9 cm między komorą 15 a 16 i 21 a 22, do 33 cm między komorą 22 a 23. Ta ostatnia wartość stanowiła poważne utrudnienie dla migracji ryb.

Na podstawie dokumentacji technicznej (Projekt 2005), uzupełnionej o pomiary wykonane w przepławce, sporządzono profil podłużny dna przepławki (Rys. 2). Zwraca uwagę znaczne przegłębienie w dolnej części przepławki. Poziom dna był o 40 cm niższy niż przy wylocie wody na stanowisko dolne rzeki, co wpływało na zwiększenie głębokości i wytracenie siły prądu wabiącego.

Tabela 2. Rzędne dna przepławki po modernizacji (2013 r.) w odniesieniu do projektowych. Podano wysokości absolutne dna poszczególnych komór, różnice w wysokości dna sąsiednich komór, oraz różnice poziomów dna poszczególnych komór przed i po modernizacji.

Table 2. Fishpass bottom levels after the modernization (year 2013) compared with the designed levels. Absolute altitudes of the bottoms of given chambers, differences between the bottom levels of adjoining chambers, and differences between bottom levels before and after the modernization are presented.

Komora / Chamber	Wysokość wg projektu / Altitude by design	Wysokość po modernizacji / Altitude after modernization	Różnica poziomu dna sąsiednich komór po modernizacji / Present bottom level difference between adjoining chambers	Długość komory / Chamber length	Różnica pomiędzy obecnym a projektowanym poziomem dna / Difference between present and designed bottom levels
	m n.p.m. / m. a.s.l.	m n.p.m. / m a.s.l.	m	m	m
Górna woda / Headwater	127,2	127,60			0,40
1		127,45	0,15	2,4	
2	127,18	127,30	0,15	2,3	0,12
3		127,13	0,17	2,3	

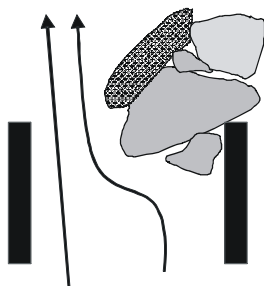
4		126,96	0,17	2,3	
5	126,68	126,81	0,15	2,3	0,13
6		126,65	0,16	2	
7		126,48	0,17	2,6	
8	126,19	126,30	0,18	2,1	0,11
9		126,12	0,18	2,3	
10		125,95	0,17	2,4	
11	125,7	125,80	0,15	2	0,10
12		125,65	0,15	2,2	
13		125,50	0,15	2,3	
14	125,2	125,35	0,15	2,3	0,15
15		125,17	0,18	2,3	
16		124,98	0,19	2,8	
17	124,83	124,83	0,15	2,8	0,00
18		124,68	0,15	2,4	
19	124,51	124,51	0,17	2,5	0,00
20		124,35	0,16	2,3	
21		124,25	0,10	2,2	
22	124,02	124,10	0,15	2,3	0,08
23		123,97	0,13	1,8	
24	123,7	123,85	0,12	2,2	0,15
25		123,75	0,10	2,3	
26		123,62	0,13	2,3	
27	123,2	123,50	0,12	2,5	0,30
28		123,40	0,10	2,3	
29		123,30	0,10	2,2	
30	122,72	123,20	0,10	2,3	0,48
31		123,10	0,10	2,3	
32		123,00	0,10	2,3	
33	122,23	122,90	0,10	1,9	0,67
34		122,80	0,10	2	
35		122,70	0,10	2,5	
36		122,60	0,10	3	
37	121,8	122,45	0,15	3	0,65
38		122,30	0,15	3	
39		122,20	0,10	3	
Dolna woda / Tailwater	122,2	122,20	0,00		0,00

W wyniku pierwszego etapu przeprowadzonych badań określono efektywność funkcjonowania przepławki. Podczas nich rejestrowano niewielką liczbę osobników ryb docierających do żaka zainstalowanego na górnej wodzie, co sugerowało, że możliwości pokonywania przepławki przez ryby występujące w Nysie Łużyckiej są ograniczone. W związku z tym na kolejnym etapie podjęto działania modernizujące.

Etap II. Jesienią 2012 r. dokonano wstępnej modyfikacji warunków przepływu przez ograniczenie ilości wody dopływającej do przepławki. Efekt ten osiągnięto dzięki podniesieniu narzutom kamiennym rzędnej dna kanału elektrowni przy wlocie wody do przepławki. Wprowadzono także korekty profilu dna środkowego i dolnego odcinka przepławki (również z wykorzystaniem narzutu kamiennego). Prace te miały na celu niwelację zbyt dużych różnic poziomu dna komór oraz likwidację przegłębienia i podniesienie poziomu dna w dolnym odcinku przepławki. Modyfikacja profilu dna dolnego odcinka przepławki miała na celu zwiększenie prędkości prądu wabiącego. Po wprowadzeniu zmian dokonano pomiarów prędkości wody oraz wykonano odłowy ryb.

Etap III. W marcu 2013 r. przeprowadzono kompleksową modernizację przepławki (Tab. 1, 2, Rys. 2) polegającą na:

- a. podniesieniu poziomu dna przy wlocie wody do przepławki oraz dna komór górnego odcinka przepławki (z wykorzystaniem narzutu kamiennego) (Fot. 3);
- b. zmniejszeniu maksymalnych i średnich prędkości wody w przepławce;
- c. ograniczeniu turbulentnego charakteru przepływu wody w komorach przepławki, poprzez zmniejszenie sumarycznej szerokości szczelin w poszczególnych progach i wymuszenie sinusoidalnego przebiegu nurtu przez naprzemienny układ głównych szczelin;
- d. korekcie profilu podłużnego dna (podniesienie rzędnej dna) w dolnej części przepławki;
- e. dobudowaniu 3 progów w dolnym odcinku przepławki;
- f. wytworzeniu wyczuwalnego dla ryb prądu wabiącego, wypływającego z przepławki na dolne stanowisko, co uzyskano poprzez zwiększenie spadku dna końcowego odcinka.



Rys. 3. Koncentracja nurtu wody wypływającego z przepławki w celu wzmocnienia i ukierunkowania prądu wabiącego.

Fig. 3. Concentration of water flow in the tailwater of the fishpass to strengthen and focus the attraction flow.

Etap IV. Ostatnią modyfikacją przepławki w kwietniu 2014 r. było zawężenie i ukierunkowanie strugi wody wypływającej na dolne stanowisko, w celu wzmocnienia prądu wabiącego (Rys. 3, Tab. 1, Fot. 4).

W latach 2013–2014 przeprowadzono ocenę możliwości pokonywania przepławki przez ryby po wykonanych modyfikacjach. Uzyskane wyniki zestawiono z danymi zebranymi podczas wcześniejszych badań funkcjonowania przepławki, w latach 2008–2012.

Tabela 3. Liczba ryb poszczególnych gatunków pokonujących przepławkę oraz czas ekspozycji pułapki (żaka) umieszczonego na górnej wodzie i intensywność migracji w kolejnych etapach monitoringu: I etap – stan wyjściowy, II etap – po wstępnym ograniczeniu dopływu wody, III etap – po modernizacji przepławki, IV etap – po modyfikacji prądu wabiącego. Gatunki reofilne zaznaczono wytłuszczoną czcionką.

Table 3. Number of fish of given species that passed the fishpass and exposure time of a trap located at the upper entrance to the fishpass. Fish migration intensity is given for the following stages of monitoring: stage I – initial state, stage II – after preliminary modernization, stage III – after final modification, stage IV – after attraction flow modification. Rheophilic species are marked by bold font.

Gatunek / Species		Etap I / Stage I	Etap II / Stage II	Etap III / Stage III	Etap IV / Stage IV
	<i>Salmo trutta m. fario</i>				
Pstrąg potokowy	Linnaeus			1	
	<i>Leuciscus cephalus</i> (Linnaeus)	11	12	15	45
Kleń	<i>Leuciscus leuciscus</i> (Linnaeus)	6	27	2	
Jelec	<i>Barbus barbus</i> (Linnaeus)	4			3
Brzana	<i>Chondrostoma nasus</i> (Linnaeus)				1
Świnka	<i>Barbatula barbatula</i> (Linnaeus)			1	1
Ukleja	<i>Alburnus alburnus</i> (Linnaeus)	5	24	155	170
Okoń	<i>Perca fluviatilis</i> (Linnaeus)	4	3	4	41
Płoc	<i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus)	3	27	19	655
Kiełb	<i>Gobio gobio</i> (Linnaeus)		9	1	19
Krap	<i>Abramis bjoerkna</i> (Linnaeus)				10
Lin	<i>Tinca tinca</i> (Linnaeus)				5
Łącznie [osobn.] / Total [ind.]		33	102	198	950
Czas obserwacji [h] / Exposure time [h]		594	129	120,5	246
Intensywność migracji [osobn. h ⁻¹] / Migration intensity [ind. h ⁻¹]		0,06	0,79	1,64	3,86
Intensywność migracji [osobn. doba ⁻¹] / Migration intensity [ind. day ⁻¹]		1,33	18,98	39,44	92,68

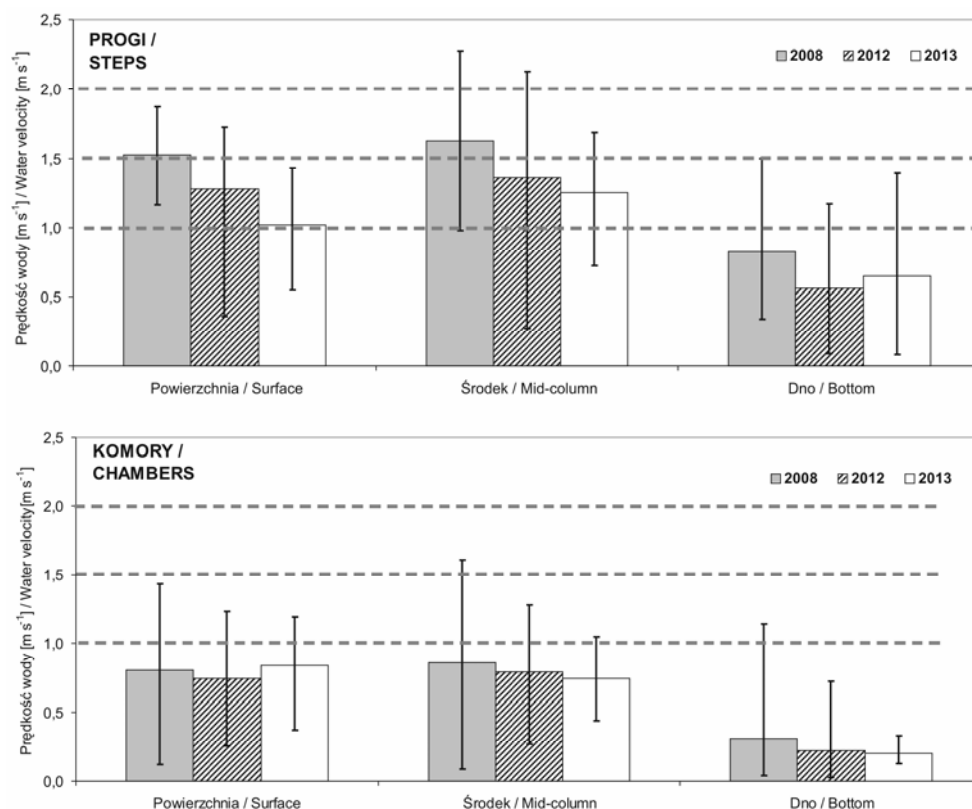
4. WYNIKI

Wydatek przepławki przy EW „Bukówka”, czyli ilość przepływającej przez nią wody wyrażoną w $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, określono w projekcie technicznym na co najmniej $0,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ przy NPP 128,6 m n.p.m. Wartość obliczona na podstawie parametrów technicznych przepławki w stanie wyjściowym wynosi $0,94 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Podobną wartość ($0,97 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) uzyskano w wyniku obliczenia wydatku na podstawie pomiarów prędkości wody i napełnienia przepławki wykonanych w 2008 r. Po wstępnym ograniczeniu dopływu wody do przepławki przez narzut kamienny wykonany w 2012 r. wydatek zmniejszył się do ok. $0,58 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, natomiast po końcowej modernizacji przepławki jego wielkość spadła do ok. $0,51 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Wielkość wydatku przepławki miała zasadniczy wpływ na charakter przepływu i prędkości wody notowane w przepławce, które mają kluczowe znaczenie dla prawidłowego jej funkcjonowania.

Badania wykonano przy początkowych warunkach przepływu, po jego wstępnej modyfikacji oraz po modernizacji przepławki (Rys. 4). Średnie prędkości dla wszystkich warstw słupa wody, zarówno na progach jak i w komorach, zmniejszyły się po wstępnym ograniczeniu ilości dopływającej wody. W większości przypadków po końcowej modernizacji przepławki nastąpiła dalsza redukcja prędkości. Początkowo średnie prędkości na progach dla powierzchni i środka słupa wody przekraczały $1,5 \text{ m s}^{-1}$ i były wyższe od wartości krytycznej dla reofilnych ryb karpiowatych. Po wstępnym zmniejszeniu dopływu wody spadły do poziomu $1,3\text{--}1,4 \text{ m s}^{-1}$, zaś końcowa modernizacja przyniosła dalsze ich ograniczenie do poziomu $1,1\text{--}1,3 \text{ m s}^{-1}$. Maksymalne notowane prędkości uległy także znaczącemu obniżeniu (Rys. 4). Zwraca uwagę istotne obniżenie minimalnych prędkości dla progów przepławki. Przed ograniczeniem dopływu wartości minimalne dla powierzchni i środka słupa wody przekraczały $1,0 \text{ m s}^{-1}$, były więc większe od wartości krytycznej dla eurytopowych ryb karpiowatych i małych ryb. W roku 2012 i 2013 minimalne prędkości nie przekraczały $0,8 \text{ m s}^{-1}$. Również prędkości wody notowane w komorach przepławki uległy redukcji w wyniku podjętych zabiegów. W warstwie powierzchniowej zmniejszyły się wartości maksymalne, natomiast w środku słupa wody i przy dnie – zarówno średnie jak i maksymalne wartości (Rys. 4).

Po przeprowadzonej końcowej modernizacji w 2013 r. uzyskane wyniki pomiarów prędkości wody mierzone w szczelinach progów przepławki w żadnym miejscu nie przekraczały wartości dopuszczalnej dla ryb łososiowatych, wynoszącej $2,00 \text{ m s}^{-1}$. Maksymalna prędkość nurtu mierzona w środku słupa wody wynosiła $1,69 \text{ m s}^{-1}$. Pod powierzchnią, prędkości układały się przeważnie na poziomie zbliżonym do dopuszczalnego dla małych ryb, cechujących się gorszymi możliwościami pokonywania nurtu wody, osiągając wartości w przedziale $0,55\text{--}1,47 \text{ m s}^{-1}$ (średnio $1,02 \text{ m s}^{-1}$).

Tuż nad dnem, prędkości wody kształtowały się w granicach 0,08–1,39 m s⁻¹ (średnio 0,62 m s⁻¹). Najwyższe prędkości nurtu odnotowano w środkowej części słupa wody: 0,72–1,69 m s⁻¹ (średnio 1,25 m s⁻¹) (Rys. 4).



Rys. 4. Rozkład prędkości wody (średnie i zakres – wartości minimalne i maksymalne) w szczelinach progów i komorach przepławki w warstwach – pod powierzchnią, pośrodku i przy dnie. Szare słupki – stan wyjściowy (2008), słupki kreskowane – po wstępnym ograniczeniu dopływu wody (2012), słupki białe – po końcowej modernizacji przepławki (2013). Zaznaczono wartości graniczne przepływu dla: limnofilnych ryb karpiovatych i małych ryb (dolna linia przerywana), reofilnych ryb karpiovatych (środkowa linia przerywana) oraz ryb łososiowatych (górna linia przerywana).

Fig. 4. Distribution of water velocity (mean and range – minimum and maximum values) in steps' openings and in chambers of the fishpass. Velocity measured under the surface, in the middle of water column and near bottom. Grey bars – initial state (2008), dashed bars – after preliminary modernization by discharge reduction (2012), white bars – after final modification (2013). Critical velocity values are marked: for limnophilic and small fish species (lower dashed line), for rheophilic cyprinid fish species (middle dashed line) and for salmonid fish species (upper dashed line).

Maksymalne prędkości wody mierzone w komorach przepławki po końcowej modernizacji w żadnym punkcie nie przekraczały wartości krytycznej dla reofilnych ryb karpowatych ($1,5 \text{ m s}^{-1}$), zaś wartości średnie były przy powierzchni i w środku słupa wody niższe niż $0,8 \text{ m s}^{-1}$. Wartości maksymalne mierzone w komorach przy dnie nie przekraczały $0,5 \text{ m s}^{-1}$, przy średniej poniżej $0,25 \text{ m s}^{-1}$ (Rys. 4).

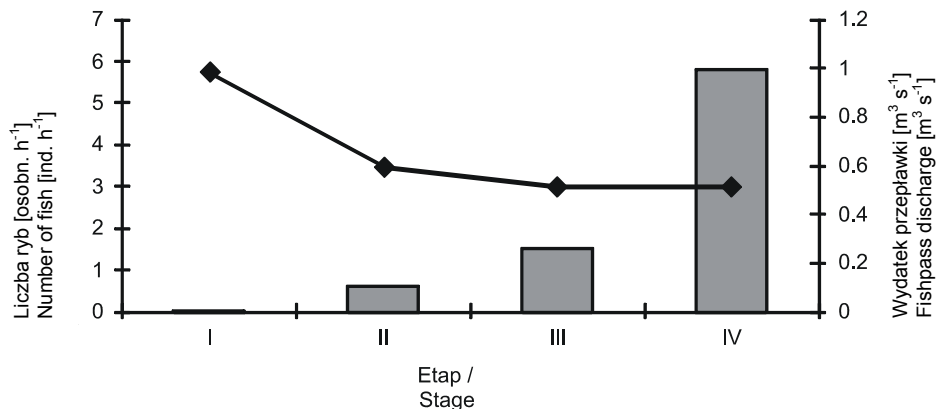
Analizując wyniki obserwacji przechodzenia ryb przez przepławkę (odłowy za pomocą żaka na górnej wodzie) w kolejnych latach monitoringu, podzielono cały okres badań od 2008 do 2014 roku na cztery etapy (Tab. 3).

Etap I. Obejmował okres od początku monitoringu do momentu wykonania narzutu kamiennego na wlocie do przepławki od strony wody górnej. W powyższych warunkach hydrologicznych w górnym żaku stwierdzono 33 ryby należące do 6 gatunków. Dominował kleń, udział pozostałych gatunków był niewielki. Gatunki reofilne stanowiły łącznie 64% liczby osobników ryb (Tab. 3). Intensywność migracji była w tym etapie najniższa ($0,06 \text{ osobn. h}^{-1}$).

Etap II. Przypadał od momentu wykonania narzutu kamiennego na wlocie wody do przepławki i wstępnej korekty profilu dna (2012 r.) do modernizacji przepławki (2013 r.). Zmniejszenie wydatku przepławki oraz zmiana charakteru przepływu ułatwiły migrację ryb. Przepławkę pokonywało 6 gatunków, przy czym najliczniej notowano jelca, płoć oraz ukleję (Tab. 3). Obserwowano ponad 13-krotny wzrost intensywności migracji ryb w porównaniu z Etapem I, przy czym udział gatunków reofilnych zmniejszył się do 38%.

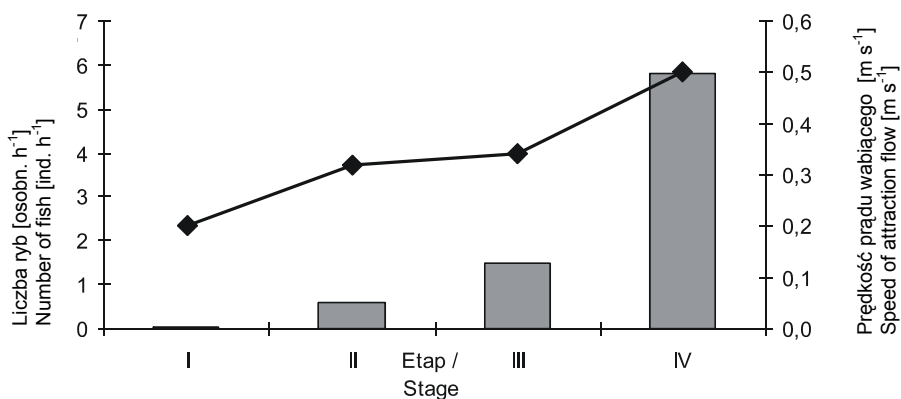
Etap III. Obejmował okres od modernizacji przepławki (2013 r.) do korekty prądu wabiącego w roku 2014. W tym etapie nastąpił dalszy, blisko dwukrotny wzrost liczby osobników ryb pokonujących przepławkę, a tempo migracji osiągnęło poziom $1,64 \text{ osobn. h}^{-1}$. Dominantem była ukleja (78% liczby osobników ryb). Gatunki reofilne stanowiły mniej niż 10% migrujących ryb, zaznaczył się natomiast znacznie większy udział gatunków o słabszych możliwościach przeciwstawiania się prądowi wody (Tab. 3).

Etap IV. To końcowa faza badań, po zwięźeniu szerokości szczeliny wyprowadzającej wodę z przepławki na dolne stanowisko. Liczba osobników ryb pokonujących przepławkę w tym okresie zwiększyła się ponad dwukrotnie w stosunku do Etapu III – do poziomu $3,9 \text{ osobn. h}^{-1}$. Maksymalna intensywność migracji zanotowana we wrześniu 2014 r. wynosiła 21 osobn. h^{-1} . Dominowała: płoć (69%), przy znacznym udziale uklei (18%). Obserwowano dalsze zmniejszanie udziału gatunków reofilnych wśród ryb pokonujących przepławkę – do ok. 5% (Tab. 3).



Rys. 5a. Liczba osobników ryb pokonujących przepławkę w ciągu godziny (słupki i lewa skala), w odniesieniu do wydatku przepławki (linia i prawa skala) w poszczególnych etapach monitoringu: Etap I – stan wyjściowy, Etap II – po wstępnym ograniczeniu dopływu wody, Etap III – po modernizacji przepławki, Etap IV – po modyfikacji prądu wabiącego.

Fig. 5a. Abundance (per hour) of fish which passed the fishpass (bars, left hand scale), in reference to fishpass discharge (line, right hand scale) in the following stages of monitoring: Stage I – initial state, Stage II – after preliminary modernization by reducing discharge, Stage III – after final modification, Stage IV – after modification of attraction flow.



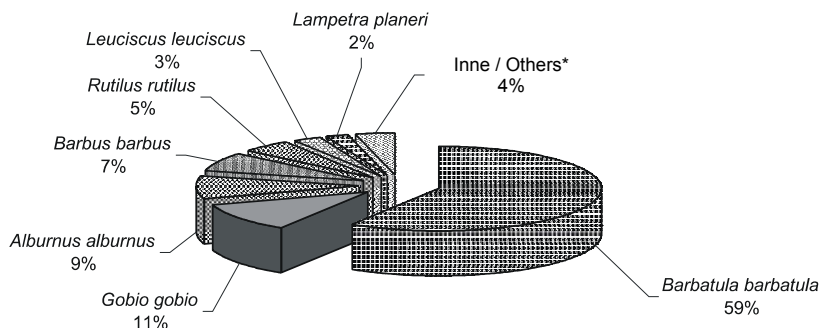
Rys. 5b. Liczba osobników ryb pokonujących przepławkę w ciągu godziny (słupki, lewa skala), w odniesieniu do prędkości prądu wabiącego (linia, prawa skala) w poszczególnych etapach monitoringu: Etap I – stan wyjściowy, Etap II – po wstępnym ograniczeniu dopływu wody, Etap III – po modernizacji przepławki, Etap IV – po modyfikacji prądu wabiącego.

Fig. 5b. Number of individuals (per hour) of fish which passed the fishpass (bars, left hand scale), in reference to attraction flow (line, right hand scale) in following stages of monitoring: stage I – initial state, stage II – after preliminary modernization by reducing discharge, stage III – after final modification, stages IV – after modification of attraction flow.

Dla każdego wydzielonego okresu zsumowano liczby osobników ryb, które pokonały przepławkę i odniesiono do czasu ekspozycji pułapki na górnej wodzie (osobn. h^{-1}). Uzyskane wyniki zestawiono z wielkością wydatku przepławki (Rys. 5a) oraz z prędkością nurtu wabiącego (Rys. 5b). Wyraźnie widoczny był wzrost efektywności funkcjonowania przepławki wraz ze zmniejszeniem wydatku przepławki oraz zwiększeniem prędkości prądu wabiącego.

W latach 2009–2012 (Etap I) podczas 25 elektropołówów odnotowano łącznie 2803 osobn. ryb i minogów należących do 18 gatunków (Rys. 6a). Średnio w jednym elektropołówie notowano zatem 112 osobników. Dominował śliza (1649 osobn.), a subdominantami były: kiełb (296 osobn.), ukleja (240 osobn.) i brzana (202 osobn.). Znaczny udział śliza w elektropołówach wynika z dogodnych warunków siedliskowych panujących w komorach przepławki dla tego gatunku. W przypadku śliza przepławka pełni przede wszystkim funkcję siedliska. Pozostałe gatunki (łącznie 1154 osobniki), wstępują do przepławki w celu przemieszczenia się w górę rzeki. Dotyczy to zarówno licznych gatunków reofilnych, takich jak brzana, i mniej licznie reprezentowanych, takich jak kleń, jelec, strzebla potokowa *Phoxinus phoxinus* (Linnaeus), pstrąg potokowy, boleń *Aspius aspius* (Linnaeus) oraz minóg strumieniowy *Lampetra planeri* (Bloch), jak też kiełb. Stosunkowo niewielka liczba osobników tych gatunków odłowionych w przepławce (w odniesieniu do nakładu połówowego) wskazuje, że w analizowanym okresie ryby miały ograniczoną możliwość odnajdowania wejścia do przepławki. Uzupełnieniem wyników elektropołówów były odłowienia ryb w żaku zamontowanym na dolnej wodzie. Łącznie zarejestrowano w nim 195 osobn. ryb, reprezentujących 14 gatunków: ukleję (74 osobn.), okonia (49 osobn.), płoć (43 osobn.), kiełbia (6 osobn.), śliza (5 osobn.), szczupaka, *Esox lucius* Linnaeus (4 osobn.), jazgarza (3 osobn.), klenia (3 osobn.), krapia (2 osobn.), pstrąga potokowego (2 osobn.) oraz jelca, sumika karłowatego, *Ameiurus nebulosus* (Le Sueur), leszcza *Abramis brama* (Linnaeus) i ciernika *Gasterostus aculeatus* Linnaeus (po 1 osobniku). Dane te świadczą o nielicznym wstępowaniu ryb do przepławki.

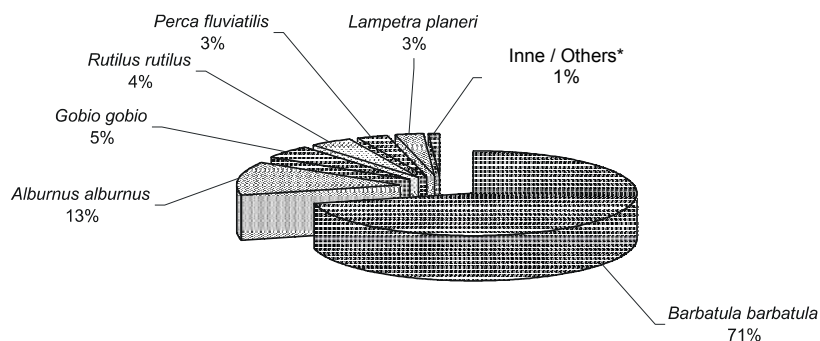
W latach 2013–2014 (Etap III i IV) w 3 elektropołówach przeprowadzonych w przepławce odłowiono łącznie 553 osobniki ryb należące do 9 gatunków: śliza (403 osobn.), ukleję (75 osobn.), kiełbia (30 osobn.), płoć (21 osobn.), okonia (18 osobn.), brzanę (2 osobn.), jazgarza *Gymnocephalus cernuus* (Linnaeus) (2 osobn.), jelca i leszcza (po 1 osobn.). Odnotowano również 16 osobników minoga strumieniowego (Rys. 6b). Średnio w jednym elektropołówie notowano 184 osobniki, czyli 1,6 razy więcej niż w poprzednich etapach. Znaczny udział śliza w elektropołówach potwierdza dogodne warunki siedliskowe panujące w komorach przepławki dla tego gatunku również po wprowadzonych modyfikacjach (Rys. 6b).



Inne / Others*: *Aspius aspius*, *Leuciscus cephalus*, *Perca fluviatilis*, *Leucaspis delineatus*, *Esox lucius*, *Phoxinus phoxinus*, *Abramis brama*, *Abramis bjoerkna*, *Gymnocephalus cernuus*, *Gasterosteus aculeatus*, *Salmo trutta m. fario*

Rys. 6a. Struktura ichtiofauny (procent liczby osobników złowionych ryb) ustalona na podstawie 25 elektropólów w przepławce oraz odłowów za pomocą żaka dolnego. Etap I: lata 2008–2012.

Fig. 6a. Ichthyofauna composition (percentage of fish individuals caught) determined on the basis of 25 electrofishing runs and the lower trap samplings in the fishpass. Stage I: years 2008–2012.



Inne / Others*: *Barbus barbus*, *Gymnocephalus cernuus*, *Abramis brama*, *Leuciscus leuciscus*

Rys. 6b. Struktura ichtiofauny (procent liczby osobników złowionych ryb) ustalona na podstawie 3 elektropólów w przepławce oraz odłowów za pomocą żaka dolnego. Etap III i IV: lata 2013–2014.

Fig. 6b. Ichthyofauna composition (percentage of fish individuals caught) determined on the basis of 3 electrofishing runs and the lower trap samplings in the fishpass. Stages III and IV: years 2013–2014.

5. DYSKUSJA

Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują, że monitorowana przepławka po oddaniu do użytkowania nie funkcjonowała prawidłowo. W pierwszym etapie badań wydatek przepławki wynosił $0,98 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, prędkość prądu wabiącego nie przekraczała $0,2 \text{ m s}^{-1}$, a prędkość wody na progach wahała się między $0,37$ a $2,28 \text{ m s}^{-1}$ i przyjmowała wartość średnią na poziomie $1,33 \text{ m s}^{-1}$. Pomimo znacznego wydatku przepławki, stanowiącego wówczas ok. 5% wartości SSQ dla Nysy Łużyckiej (wodowskaz Przewóz), obserwowano znikomą prędkość prądu wabiącego, znacząco niższą niż prędkość wody w kanale wyprowadzającym z elektrowni. Przyczyną tego była wadliwa konstrukcja dolnego odcinka przepławki, w którym występowało przegłębienie dna sięgające 40 cm poniżej poziomu dna rzeki na stanowisku dolnym. Wykonanie narzutu kamiennego na wlocie wody do przepławki w 2012 r. spowodowało spadek wydatku przepławki do poziomu ok. $0,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, a w konsekwencji spadek średniej prędkości w szczelinach do $1,07 \text{ m s}^{-1}$. Dalsza kompleksowa modernizacja przepławki skutkowałą ograniczeniem wydatku do $0,53 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ oraz zmniejszeniem średniej różnicy poziomu dna między sąsiadującymi komorami z $0,16 \text{ m}$ (zakres $0,09\text{--}0,32$) do $0,14 \text{ m}$ (zakres od $0,10$ do $0,17$). Wiśniewolski (1997) podaje, że dla ryb łososiowatych różnica poziomów dna sąsiadujących komór nie powinna przekraczać $0,2 \text{ m}$, dla reofilnych karpowatych – $0,11 \text{ m}$, zaś dla pozostałych gatunków i ryb młodych – $0,05 \text{ m}$. Oznacza to, że po modernizacji przepławki maksymalne wartości omawianego parametru zostały zredukowane do poziomu odpowiedniego dla ryb łososiowatych, jednak, ze względu na istniejące ograniczenia konstrukcyjne, w dalszym ciągu przekraczają wartości dopuszczalne dla pozostałych ryb. Należy jednak podkreślić, że w konsekwencji wprowadzonych zmian nastąpiło zmniejszenie średniej prędkości wody w szczelinach do $0,97 \text{ m s}^{-1}$, a więc poniżej poziomu dopuszczalnego dla ryb o ograniczonych możliwościach pokonywania prądu wody oraz małych gatunków (Gebler 1991, Adam i inni 1996, 2006, Jens i inni 1997, Larinier 2001, Lubieniecki 2002, Wiśniewolski 2003, Zgrabczyński 2007, Wiśniewolski i inni 2013). Również wartości maksymalne prędkości wody w szczelinach po modernizacji konstrukcji znalazły się poniżej dopuszczalnych dla ryb łososiowatych w cytowanych publikacjach. Finalna wielkość wydatku przepławki stanowi 2,7% SSQ dla Nysy Łużyckiej (wodowskaz Przewóz), mieści się zatem w zakresie od 2 do 5% SSQ podawanym w literaturze (Larinier 2008). Dzięki zastosowaniu naprzemiennego układu szczelin progów po modernizacji przepławki uzyskano nie tylko ograniczenie prędkości, ale też sinusoidalny przebieg strugi wody, zalecany w tego typu konstrukcjach (FAO/DVWK/WWF.PL. 2016). W wyniku tego zabiegu charakter przepływu zmienił się z silnie turbulentnego na bardziej laminarny, co jest wskazywane jako jeden

z warunków prawidłowego funkcjonowania przepławek (Lubieniecki 2002, Wiśniewolski 2003, Edler 2011, FAO/DVWK/WWF.PL. 2016).

Jednocześnie zmiany wprowadzone w konstrukcji przepławki spowodowały zwiększenie prędkości prądu wabiącego do $0,5 \text{ m s}^{-1}$, pomimo ograniczenia wydatku niemal o połowę. Prędkość ta jest niższa od zakresu $0,8\text{--}2,0 \text{ m s}^{-1}$, podawanego jako optymalny w literaturze (FAO/DVWK/WWF.PL. 2016). Z kolei Hafner (1995) i Lubieniecki (2002) wskazują, że prędkość prądu wabiącego powinna być o $0,2\text{--}0,3 \text{ m s}^{-1}$ wyższa niż prędkość wody w rzece przy wejściu do przepławki i nie powinna przekraczać $60\text{--}80\%$ prędkości dopuszczalnej dla korzystających z niej ryb. Uzyskana po modernizacji przepławki prędkość prądu wabiącego jest ponad 2,5-krotnie wyższa niż obserwowana w warunkach początkowych, stanowi 53% prędkości dopuszczalnej dla korzystających z przepławki gatunków ryb i jest porównywalna z prędkościami wody w kanale wylotowym elektrowni przy wejściu do przepławki. Wskazuje to na znaczną poprawę tego parametru w wyniku modernizacji urządzenia, choć uzyskane wartości, ze względu na ograniczenia konstrukcyjne, nie są optymalne.

Wyniki przeprowadzonych odłowów ryb pokonujących przepławkę jednoznacznie wskazują na poprawę jej funkcjonowania w stosunku do stanu wyjściowego. W latach 2008–2011 ryby migrowały przez przepławkę sporadycznie, jedynie przy wyraźnie obniżonym stanie wody i w związku z tym niższym wydatku przepławki (w czerwcu 2011 r.) obserwowano nieco większe nasilenie migracji. W Etapie I intensywność migracji była skrajnie niska ($0,06 \text{ osobn. h}^{-1}$), przy znacznym udziale gatunków reofilnych – wykazujących lepsze przystosowanie do pokonywania prądu wody (Gebler 1991, Jens i inni 1997, Lubieniecki 2002). Wskazuje to, że licznie występujące w ichtiofaunie Nysy Łużyckiej gatunki eurytopowe (Witkowski i inni 2000), o mniejszych możliwościach pokonywania prądu wody, nie mogły swobodnie migrować w górę rzeki przez przepławkę. W Etapie II ograniczenie dopływu wody do przepławki i redukcja prędkości skutkowały wielokrotnym wzrostem tempa migracji ryb, przy jednoczesnym zwiększeniu udziału gatunków słabiej pływających. Kolejne etapy modernizacji przepławki przyniosły dalszy wzrost jej efektywności. Po zmianie profilu dna, szerokości i układu szczelin i w konsekwencji rozkładu prędkości wody w Etapie III uzyskano dwukrotny wzrost tempa migracji w odniesieniu do Etapu II i zwiększenie udziału gatunków słabiej pływających – do blisko 90% . Szczególnie wyraźny był efekt zwiększenia prędkości i zmiany ukierunkowania prądu wabiącego (Etap IV). Po tym zabiegu intensywność migracji ryb przez przepławkę wzrosła do niemal 4 osobników w ciągu godziny, przy wyraźnej dominacji płoci i uklei wśród migrujących gatunków (łącznie 87%) i udziale gatunków o mniejszych możliwościach pokonywania prądu wody sięgającym 95% . Potwierdza to wskazywane w literaturze kluczowe znaczenie prądu wabiącego dla możliwości odnajdywania wejścia do przepławki przez ryby (Hafner

1995, Adam i inni 1996, 2006, Lubieniecki 2002, Wiśniewolski 2003, FAO/DVWK/WWF.PL. 2016), jak również dostosowanie parametrów przepływu wody w przepławce do możliwości migracyjnych gatunków ryb masowo występujących w Nysie Łużyckiej (Gebler 1991, Jens i inni 1997, Witkowski i inni 2000).

Zmodernizowana przepławka przy na stopniu wodnym Bucze pełni również rolę jako bezpieczna droga migracji ryb w dół rzeki, ponieważ przechodzenie ryb przez turbiny wiąże się często z wysoką ich śmiertelnością (Bieniarz i Epler 1977, Bartel i inni 2002, Bieniarz i inni 1992, Bieniarz 1997). Wloty do turbin elektrowni zabezpieczone są skośnie ustawioną kratą o odstępach prętów 3 cm. W celu minimalizacji strat w populacjach ryb w starszych konstrukcjach stosowane były kraty zabezpieczające o odstępach pomiędzy prętami 60–80 mm. W chwili obecnej coraz częściej stosowane są kraty o odstępach 15–20 mm a nawet mniejszym (Adam i inni 2005). Wskazuje to na jedynie częściową skuteczność zastosowanego w omawianym przypadku zabezpieczenia, głównie w odniesieniu do większych osobników. Zastosowane w Elektrowni Bucze turbiny Kaplana są wprawdzie bardziej bezpieczne dla ryb niż rozwiązania innego typu (np. turbiny Francisa), jednak znaczna prędkość ich obrotów może stanowić zagrożenie dla ichtiofauny (Adam i inni 2005). Dodatkowym zabezpieczeniem przed dostawaniem się ryb do turbin, które można by w przyszłości przetestować w Elektrowni Bucze, jest bariera elektryczna ustawiona skośnie do nurtu wody w kanale derywacyjnym, kierująca ryby do przepławki (Wiśniewolski 2008). Rozwiązania takie, w szczególności oparte na losowo generowanych impulsach elektrycznych o zmiennej częstotliwości, dają obiecujące wyniki w testach laboratoryjnych, w odniesieniu do ryb różnej wielkości i gatunków (Parasiewicz i inni 2016).

W odłowach przeprowadzonych w przepławce stwierdzono występowanie 19 gatunków ryb i minogów. Stanowi to istotną informację wobec nielicznych danych literaturowych o składzie ichtiofauny Nysy Łużyckiej (Witkowski i inni 2000). Należy podkreślić, że część z tych gatunków wchodziła do przepławki w celu migracji w górę rzeki, a wskutek wadliwego funkcjonowania urządzenia w początkowych etapach pozostawała przez jakiś czas w przepławce i powracała na dolne stanowisko. Dotyczy to szczególnie takich gatunków jak kiełb, płoć, ukleja i okoń. Potwierdza to mniejszy udział tych gatunków w elektropołowach przeprowadzonych po modernizacji przepławki, co może być związane ze skutecznym jej pokonywaniem przez te gatunki ryb. Sprawne działanie przepławki ograniczyło zatem obserwowany wcześniej efekt gromadzenia się ryb w tym urządzeniu. Z kolei w przypadku śliza widoczne jest stałe liczne występowanie w badanej przepławce, co związane jest z występującymi tam dogodnymi warunkami siedliskowymi dla tego reofilnego gatunku. Przyczynia się do tego charakter dna pokrytego średniej wielkości kamieniami, umieszczonymi między większymi głazami. Tworzy to liczne

kryjóWKi oraz przestrzenie o zróżnicowanej prędkości wody, z których ryby mogą korzystać. Pomimo technicznego charakteru badanej przepławki już samo zastosowanie naturalnego materiału jako substratu dna umożliwiło stworzenie dogodnego siedliska nie tylko dla śliza, ale też innych organizmów wodnych, w tym bezkręgowców (obserwowanych podczas odłowów). Wpisuje się to w trend przy tworzeniu seminaturalnych przepławek, służących nie tylko migracji ryb i innych organizmów, ale pełniących również funkcję siedliskotwórczą (Wildman i inni 2003).

Podsumowując, obserwacje funkcjonowania przepławki na stopniu Elektrowni Wodnej Bukówka przeprowadzone w latach 2008–2014 pozwalają stwierdzić, że warunki przepływu wody w omawianej przepławce, po przeprowadzonej modernizacji, spełniają wymogi dla ryb zasiedlających Nysę Łużycką (Witkowski i inni 2000), umożliwiając im pokonywanie piętrzenia. Wobec tego należy uznać, że wybudowanie omawianej przepławki przyniosło zamierzony skutek w postaci udroźnienia piętrzenia dla migracji ryb. Przeprowadzone udroźnienie stopnia „Bukówka” powinno być jednym z etapów przywracania ciągłości ekologicznej Nysy Łużyckiej, stanowiącej ważny szlak migracji ryb, w tym gatunków dwuśrodowiskowych w systemie Odry (Wiśniewolski i Engel 2006, Błachuta i inni 2010). W tym kontekście należy podkreślić, że w literaturze istnieje niewiele danych dotyczących ichtiofauny tej rzeki (Witkowski i inni 2000), co wskazuje na potrzebę przeprowadzenia kompleksowych badań ichtiofauny Nysy Łużyckiej.

PODZIĘKOWANIA

Praca została przygotowana w ramach tematu S-005 Instytutu Rybactwa Śródlądowego im. Stanisława Sakowicza w Olsztynie. Autorzy składają podziękowania Okręgowi PZW w Zielonej Górze, a także obsłudze stopnia Bucze, w szczególności panu Jackowi Hic.

6. SUMMARY

The study presents results of a 7-year long monitoring investigation (2008–2014) of a step-pool fishpass channel, which was conducted at the hydropower Bukówka plant located on the Nysa Łużycka River, Poland (Fig. 1) and the process of the channel's modernization. Details of the construction of the fishpass are presented (Fig. 2, Tab. 1, Photo 1, 2), as well as the modernization design (Fig. 2, Tab. 2), which consisted of four stages. Initial observations (Stage I), which were based on samples of fish obtained in the fishpass channel after its construction by trap and by electrofishing, showed that the functioning of the fishpass was very inefficient (Tab. 3). Only at extremely low water level, resulting in reduced fishpass discharge, some rheophilic fish were able to pass it, but the

migration efficiency did not exceed 0.06 individual per hour. The direct reason of the low fishpass efficiency was high water velocity (Fig. 4), and highly turbulent water flow. Also, the attraction current was too slow, which caused difficulties for fish in finding the entrance to the fishpass.

Accordingly, experimental measures to improve the efficiency were taken (Stage II). The water discharge and velocity were reduced by throttling of the inflow with a stone ramp (Fig. 2, 4, Photo 3). Moreover, the highest bottom level differences between neighbouring chambers were levelled with a stone layer. After this, the numbers of individuals of fish captured in the trap located at the exit of the fishpass increased to about 0.8 per hour (Tab. 3). At Stage III, the thalweg in the lower part of the fishway channel was raised by a stone layer and 3 additional steps were constructed. Besides, other parts of the channel bottom were elevated with stones to reduce slope at some steps (Fig. 2, Tab. 2), while the openings on each fishpass step were narrowed, in order to reduce water velocity and to create a sinuous pattern of water flow (Tab. 1). These changes led to a significant reduction in average water velocity in steps openings and reduced water turbulence in chambers (Fig. 4). Observations that were carried out after these modifications showed an increase in the efficiency of the fishpass to about 1,6 fish ind. per hour (Fig. 5a, b, Tab. 3). At Stage IV, the last modification was carried out, and consisted of narrowing the attraction flow in the tailwater of the fishpass with stones (Fig. 3, Photo 4). This resulted in the greatest increase in the efficiency, to about 6 fish ind. per hour (Fig 5a, b, Tab. 3).

After all the modifications, electrofishing and trap sampling conducted in the fishpass channel showed the presence of 19 species, with a strong dominance of stone loach (*Barbatula barbatula*) (Fig. 6a, b). This species finds good habitat conditions within the fishpass channel due to its semi-natural bottom structure. The final results show that the Bukówka dam is no longer a permanent migration barrier and its fishpass after modernization enables upstream fish migration of the most common fish species occurring in the Nysa Łużycka River.

7. LITERATURA

- Adam B., Bosse R., Dumont U., Gebler R.J., Geitner V., Hass H., Krüger F., Rapp R., Sanzin W., Schaa W., Schwevers U., Steinberg L. 1996. Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. DVWK Merckbl. z. Wasserwirtsch 232, ss. 144.
- Adam B., Bosse R., Dumont U., Haddingh R., Joergensen L., Kalusa B., Lehmann G., Pischel R., Schwevers U. 2005. Fish Protection Technologies and Downstream Fishways. Dimensioning, Design, Effectiveness Inspection. DWA German Association for Water, Wastewater and Waste, Hennef, ss. 228.

- Adam B., Bosse R., Bruijs M., Dumont U., Göhl Ch., Görlach J., Heimerl S., Kalusa B., Krüger F., Redeker M., Schwevers U., Sellheim P. 2006. Funktionskontrolle von Fischaufstiegsanlagen. Auswertung durchgeführter Untersuchungen und Diskussionsbeiträge für Durchführung und Bewertung. DWA – Themen. DWA. Hennef, ss. 123.
- Adynkiewicz-Piragas M., Lejcuś I. 2009. Ocena ciągłości ekologicznej koryta rzecznoego na przykładzie Nysy Łużyckiej na odcinku Porajów–Sobolice. *Nauka Przyr. Technol.*, 3, 3, 1–9.
- Bartel R., Bieniarz K., Epler P. 2002. Fish passing through the turbines of Pomeranian river hydroelectric plants. *Arch. Pol. Fish.*, 10, Fasc. 2, 275–280.
- Bieniarz K. 1997. Przechodzenie ryb przez turbiny elektrowni wodnych. ss. 103–104 (W: *Wędkarstwo w ochronie wód i rybostanów*, Łódź, 26–27 maja, 1997 (Konferencja naukowa). Materiały uzupełniające *Rocz. Nauk. PZW*. Red. T. Backiel). Wydawnictwo PZW, Warszawa.
- Bieniarz K., Epler P. 1977. Przechodzenie ryb przez turbiny elektrowni wodnych w Polsce. *Gosp. Ryb.*, 3, 12–13.
- Bieniarz K., Epler P., Bartel R. 1992. Przechodzenie ryb przez turbiny elektrowni wodnych niektórych rzek pomorskich. *Rocz. Nauk. PZW*, 5, 119–124.
- Błachuta J., Rosa J., Wiśniewolski W., Zgrabczyński J. (Red.) 2010. Ocena potrzeb i priorytetów udrożnienia ciągłości morfologicznej rzek na obszarach dorzeczy w kontekście osiągnięcia dobrego stanu i potencjału ekologicznego JCWP. Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, Warszawa, ss. 56.
- Cooke S.J., Hinch S.G. 2013. Improving the reliability of fishway attraction and passage efficiency estimates to inform fishway engineering, science, and practice. *Ecological Engineering*, 58, 123–132.
- Czarnecka H. (Red.) 2005. Atlas Podziału Hydrograficznego Polski. Cz. 1. Mapy w skali 1:200 000. Cz. 2. Zestawienie zlewni. IMGW, Warszawa.
- Edler Ch. 2011. Untersuchungen zur Funktionsfähigkeit der Fischaufstiegsanlage am Wasserkraftstandort Rhede-Krechting, Bocholter Aa. Abschlussbericht. Auftraggeber: Stadtwerke Rhede, ss. 39.
- FAO/DVWK/WWF.PL. 2016. Przepławki dla ryb – projektowanie, wymiary i monitoring. Warszawa, ss. 128.
- Gebler R.J. 1991. Naturgemässe Bauweisen von Sohlenbauwerken und Fischaufstiegen zur Vernetzung der Fliessgewässer – Mitteilungen, Inst. f. Wasserbau u. Kulturtechnik, Universität Fridericiana Karlsruhe, ss. 145.
- Gerhardt P. 1912. Die Fischwege. ss. 454–499 (W: *Handbuch der Ingenieurwissenschaften* 3. Teil II. Bd. 1. Abt: Wehre und Fischwege).
- Hafner E. 1995. Naturnahe Gestaltung von Fischaustiegen. *Wasserwirtschaft*, 85, 12, 616–618.
- Jens G., Born O., Hohlstein R., Kämmereit M., Klupp R., Labatzki P., Mau G., Seifert K., Wondrak P. 1997. Fischwanderhilfen. Notwendigkeit, Gestaltung, Rechtsgrundlagen. Schriftenreihe, Verband Deutscher Fischereiverwaltungsbeamter u. Fischereiwissenschaftler e. V., 11, ss. 114.
- Larinier M. 2001. Environmental issues, dams and fish migration. ss. 45–90 (W: *Dams, Fish and Fisheries: Opportunities, Challenges and Conflict Resolution*. Red. G. Marmulla). FAO, Rome, Italy.
- Larinier M. 2008. Fish passage experience at small-scale hydro-electric power plants in France. *Hydrobiologia*, 609, 97–108.

- Lubieniecki B. 2002. Przeplawki i drożność rzek. Wyd. Instytutu Rybactwa Śródlądowego, Olsztyn, ss. 83.
- Parasiewicz P., Wiśniewolski W., Mokwa M., Ziola S., Prus P., Godlewska M. 2016. A low-voltage electric fish guidance system–NEPTUN. Fisheries Research, 181, 25–33.
- Projekt 2005. Projekt budowlany przebudowy i modernizacji jazu Bukówka. Tom II cz. A. Hydroprojekt, Warszawa.
- Wildman L., Parasiewicz P., Katopodis C., Dumont U. 2003. An illustrative handbook on nature-like fishways – summarized version. American rivers. Washington, DC, ss. 21.
- Wiśniewolski W. 1997. Ekologiczne przejścia dla ryb, czyli możliwości przeciwdziałania niekorzystnym dla ichtiocenozy skutkom progowej zabudowy rzek. ss. 127–136 (W: Wędkarstwo w ochronie wód i rybostanów, Łódź, 26–27 maja, 1997 (Konferencja naukowa). Materiały uzupełniające Roczn. Nauk. PZW. Red. T. Backiel). Wydawnictwo PZW, Warszawa.
- Wiśniewolski W. 2003. Możliwości przeciwdziałania skutkom przegradzania rzek i odtwarzania szlaków migracji ryb – Suppl. ad Acta Hydrobiol. Kraków, 6, 45–64.
- Wiśniewolski W. 2008. Hydroelectric facilities and fish. Arch. Pol. Fish., 16, 2, 203–212.
- Wiśniewolski W., Engel J. (Red.) 2006. Restoring migratory fish and connectivity of rivers in Poland. Wydawnictwo IRS, Olsztyn, ss. 81.
- Wiśniewolski W., Ligieża J., Adamczyk M., Prus P. 2013. Problemy oceny skuteczności urządzeń służących migracji ryb. ss. 189–202 (W: Zrównoważone korzystanie z zasobów rybackich na tle ich stanu w 2012 roku. Red. M. Mickiewicz). Wyd. IRS, Olsztyn.
- Witkowski A., Błachuta J., Kotusz J., Kuszniarz J. 2000. The lampreys and fishes of the upper and mid Odra basin (Silesia, SW of Poland) – the present situation. Acta Hydrobiol., 42 (3/4), 283–303.
- Zgrabczyński J. 2007. Identyfikacja i ocena sprawności przepławek dla ryb w regionie wodnym Warty. Nauka Przyr. Technol., 1, 2, 1–10.

Deklaracja autorów o udziale w przygotowaniu publikacji:

Wszyscy współautorzy przyczynili się do przygotowania niniejszej publikacji, choć w różnym stopniu do następujących elementów: A – przygotowania projektu badań i programu pracy, B – zbierania danych i prowadzenia badań, C – przeprowadzenia analizy statystycznej, D – interpretacji wyników, E – opracowania manuskryptu, F – wyszukiwania literatury. Sumaryczny udział poszczególnych współautorów wynosił: JL – 30%, MA – 30%, PP – 30%, WW – 10%. Pomiedzy żadnymi współautorami nie istnieje konflikt interesów. Praca nie posiada autorów nieujawnionych.



Fot. 1. Widok dolnego odcinka przepławki przy stopniu wodnym Bukówka, w miejscowości Bucze (Fot. J. Ligęza).

Photo 1. General view of the lower stretch of the Bukówka fishpass, in the Bucze village (Photo by J. Ligęza).



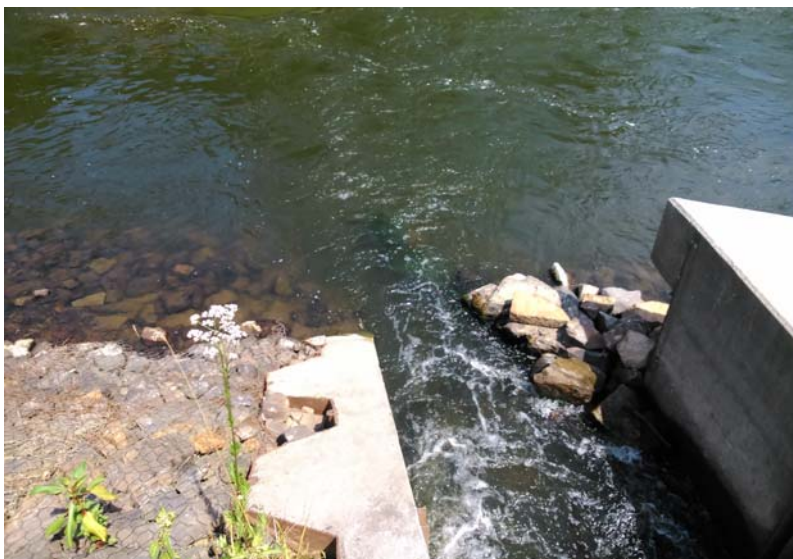
Fot. 2. Wnętrze przepławki – widoczne kamienne rygle (Fot. J. Ligęza).

Photo 2. Internal fishpass view with visible stone steps (Photo by J. Ligęza).



Fot. 3. Narzut kamienny ograniczający dopływ wody do przepławki po jej modernizacji (Fot. M. Adamczyk).

Photo 3. Stone ramp reducing water inflow to the fishpass after its modernization (Photo by M. Adamczyk).



Fot. 4. Prąd wabiący wypływający z przepławki po jej modernizacji (Fot. P. Prus).

Photo 4. Attraction current flowing in the fishpass' tailwater after the modernization (Photo P. Prus).