INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 3/I/2013, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 61–71
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

PRZEPŁAWKI RYGLOWE JAKO ELEMENT PRZYWRÓCENIA CIĄGŁOŚCI KORYTARZA EKOLOGICZNEGO RZEK SILNIE ZMIENIONYCH

Maciej Wyrębek
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

ROCK FISHLADDER AS ELEMENT OF ECOLOGICAL CORRIDOR RESTORATION FOR STRONGLY DEGRADETED RIVERS

Streszczenie

W ostatnich dziesięcioleciach w wyniku regulacji rzek i przegradzania dolin rzecznych nastąpiły niekorzystne zmiany w hydromorfologii koryt rzecznych [Bartnik, 2006]. Zwiększenie retencji wodnej i wykorzystanie hydroenergetyczne rzek, które pociąga za sobą budowę nowych obiektów hydrotechnicznych wymaga nowego spojrzenia na ciągłość korytarza rzecznego.

Zgodnie z RDW „silnie zmieniona część wód oznacza część wód powierzchniowych, których charakter został znacznie zmieniony na skutek fizycznego oddziaływania człowieka […]" [Dyrektywa 2000/60/WE]. W silnie zmienionych częściach wód należy dążyć do osiągnięcia dobrego potencjału ekologicznego wód. Nastąpić to może poprzez budowę lub przebudowę budowli wodnych w sposób umożliwiający odpowiednie warunki migracji i życia dla ryb i innych organizmów wodnych.

Celem pracy jest wyznaczenie dopuszczalnych wymiarów konstrukcji przepławki ryglowej spełniające kryteria biologiczne ryb w zlewni rzeki Skawy. W tym celu zostały przeprowadzone pomiary laboratoryjne na fizycznym modelu przepławki ryglowej. Na podstawie badań modelowych przepławki ryglowej określono warunki stabilności biologicznej: przepływu, prędkości wody, napełnienia i dyssypacji objętościowej.

Słowa kluczowe: przepławka ryglowa, stabilność biologiczna ryb, migracje ichtiofauny

Summary

In the recent decades, due to improper management of river ecosystems adverse effects occurred in riverbeds hydromorphology. Increased water retention and use of hydroelectric rivers, which entails the construction of new hydro power plants requires a new look at the continuity of the river corridor.

According to the RDW "heavily modified water body means a body of surface water, the nature of which has been significantly altered as a result of physical alterations by human [...]"[Dyrektywa 2000/60/WE]. The heavily modified water bodies should aim to achieve good ecological potential of waters. It is to be achieved through the construction or reconstruction of water structures to ensure efficient migration and living conditions for fish and other aquatic organisms.

The aim of this study is to determine the construction limits of rock fishladders that meet the biological criteria of fish in the Skawa river. Laboratory measurements were carried out on the physical model of rock fishladder. The results of laboratory measurement were used to calculate hydraulic condition within fishladder to determine biological stability of fishes: discharge, velocity of water, water depth and energy dissipation.

Key words: *rock fishladder, biological stability of fish, migration of fishes*

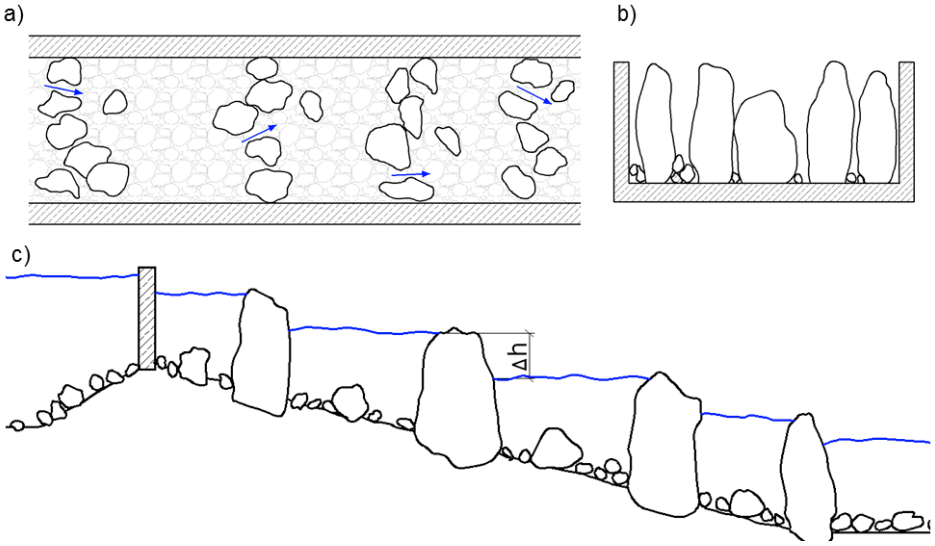
WSTĘP

W ostatnich dziesięcioleciach w wyniku regulacji rzek i przegradzania dolin rzecznych nastąpiły niekorzystne zmiany w hydromorfologii koryt rzecznych [Bartnik 2006]. Zwiększenie retencji wodnej i wykorzystanie hydroenergetyczne rzek, które pociąga za sobą budowę nowych obiektów hydrotechnicznych wymaga nowego spojrzenia na ciągłość korytarza rzecznego.

Zgodnie z RDW „silnie zmieniona część wód oznacza część wód powierzchniowych, których charakter został znacznie zmieniony na skutek fizycznego oddziaływania człowieka […]" [Dyrektywa 2000/60/WE]. W silnie zmienionych częściach wód należy dążyć do osiągnięcia dobrego potencjału ekologicznego wód. Nastąpić to może poprzez budowę lub przebudowę budowli wodnych w sposób umożliwiający odpowiednie warunki migracji i życia dla ryb i innych organizmów wodnych [Epler i in. 2011].

Najpopularniejszym typem przepławek są przepławki techniczne (komorowe, szczelinowe). Wieloletnie obserwacje tych przepławek wykazały, że cechują się one niską sprawnością dla migracji ichtiofauny. Dużo lepszą sprawność mają przepławki w formie obejść, w których tworzony jest omijający przeszkodę strumień [Mokwa 2008]. Minusem tego typu rozwiązania jest duża powierzchnia jaką zajmują. Alternatywą łączącą ze sobą zalety obu typów przepławek są przepławki ryglowe. W korycie tworzona jest sekwencja basenów oddzielonych ryglami ułożonymi z naturalnych głazów. Pomiędzy głazami pozostawiony jest system różniej szerokości szczelin [Wiśniewolski 2011] (rys. 1). W przepławkach tych występują hydrauliczne warunki przepływu jak

w potoku górskim wytworzone na dużo mniejszej powierzchni jak w przepławkach technicznych.



Rysunek 1. Schemat przepławki ryglowej wg Wiśniewolskiego, a) widok z góry, b) przekrój przez rygiel, c) profil podłużny [opracowanie własne na podstawie Wiśniewolski 2011]
Figure 1. Rock fishladder: a) cross section, b) plan view, c) longitudinal profile

Na podstawie przeprowadzonej analizy budowli poprzecznych pod kątem migracji ichtiofauny w regionie Małej Wisły oraz Górnej Wisły stwierdzono, że z 7869 budowli poprzecznych 4332 to budowle mogące stanowić barierę w migracji ryb [Epler i in. 2011].

Celem pracy jest wyznaczenie granicznych parametrów geometrycznych przepławki ryglowej: spadku dna, szerokości przepławki, długości basenów, szerokości szczeliny głównej rygla. Obliczenia przeprowadzono dla zlewni rzeki Skawy. W zlewni rzeki Skawy stwierdzono następujące gatunki objęte różnymi formami ochrony: śliz, głowacz pręgopłetwy, głowacz białopłetwy, brzanka, brzana, świnka i lipień [Epler i in. 2011]. Tabela 1 przedstawia wartości podstawowych parametrów urządzeń służących migracji ryb, natomiast tabela 2 przedstawia rozmiary ryb i prędkości prądu wody pokonywane przez gatunki ryb z tabeli 1.

Tabela 1. Wartości podstawowych parametrów urządzeń służących migracji ryb
Table 1. The values of the basic parameters of fishladders

Gatunek	Minimalna głębokość korytarza migracji [m]	Minimalna głębokość szczeliny lub przelewu [m]	Minimalna szerokość szczeliny lub przelewu [m]	Minimalna głębokość basenu lub komory [m]	Minimalna szerokość basenu lub komory [m]	Minimalna długość basenu lub komory [m]
Śliz	0.15	-	-	0.30	0.40	0.60
Głowacz białopłetwy	0.15	-	-	0.30	0.40	0.60
Głowacz pręgowaty	0.15	-	-	0.30	0.40	0.60
Brzana	0.40	0.30	0.30	0.80	1.80	2.70
Brzanka	0.30	0.20	0.20	0.60	0.40	0.60
Świnka	0.30	0.25	0.20	0.60	1.00	1.50
Lipień	0.40	0.30	0.20	0.60	1.40	2.10

[Epler i in. 2011]

Tabela 2. Rozmiary i prędkości prądu wody pokonywane przez gatunki ryb z tabeli 1
Table 2. Size and velocity of water traversed by the species of fishes in Table 1

Gatunek	Maksymalna długość [m]	Szybkość użyteczna [ms^{-1}]	Szybkość maksymalna [ms^{-1}]
Śliz	0.12	0.25-0.50	1.30
Głowacz białopłetwy	0.12	0.20-0.40	1.20
Głowacz pręgowaty	0.12	0.20-0.40	1.20
Brzana	1.00	0.70-1.50	-
Brzanka	0.30	0.65-1.05	2.60
Świnka	0.50	0.60-1.60	3.00
Lipień	0.35	0.50-0.90	3.00

[Epler i in. 2011]

Zdolność rozproszenia energii kinetycznej wody w basenie przepławki określana jest jako dyssypacja objętościowa [Wiśniewolski, 2011].

Tabela 3. Graniczna wartość dyssypacji objętościowej
Table 3. Limit value of energy dissipation

	E [Wm^{-3}]
Ryby silne i dobrze pływające	200
Gatunki małe i narybek	100

Przepławka spełniająca wymagania biologiczne ryb chronionych w zlewni rzeki Skawy powinna mieć następujące wymiary:

- minimalna głębokość szczeliny lub przelewu: h_s=0.30 m,
- minimalna szerokość szczeliny lub przelewu: b=0.30 m,
- minimalna głębokość wody w basenie: h_b=0.80 m,
- minimalna szerokość basenu lub komory: B=1.80 m,
- minimalna długość basenu lub komory: L=2.70 m.

W basenie przepławki powinny występować obszary z prędkością wody nie przekraczającą v_B=0.40 ms^{-1}, natomiast w ryglu dopuszczalna prędkość maksymalna wynosi v_R=1.20 ms^{-1}.

METODYKA

Obliczenia hydrauliczne przepławki ryglowej przeprowadzono dla konstrukcji przepławki wynikającej z kryteriów stabilności biologicznej dla ryb w zlewni rzeki Skawy. Wielkość spadu na poszczególnych ryglach obliczono ze wzoru 1 przy zachowaniu granicznej wartości prędkości v_R=1.20 ms^{-1}:

$$v = \sqrt{2g\Delta h} \Rightarrow \Delta h = \frac{v^2}{2g} [m] \tag{1}$$

gdzie:

v – prędkość wody [ms^{-1}],
g – przyśpieszenie ziemskie [ms^{-2}],
Δh – różnica poziomu zwierciadła wody pomiędzy sąsiednimi basenami [m].

Spadek przepławki obliczono w oparciu o długość basenu zwiększoną o grubość rygla.

$$i = \frac{\Delta h}{L + l} [-] \tag{2}$$

gdzie:

L – długość basenu [m],
l – grubość rygla [m].

Wydatek przepławki (Q_c) jest liczony jako suma przepływu szczeliną główną (Q_B) i dodatkowymi szczelinami w ryglu (Q_b).

$$Q_B = \mu Bh(2g\Delta h)^{0.5} [m^3 s^{-1}] \tag{3}$$

$$Q_b = \mu bh(2g\Delta h)^{0.5} [m^3 s^{-1}] \tag{4}$$

$$Q_c = Q_B + 3Q_b [m^3 s^{-1}] \tag{5}$$

gdzie:

μ – współczynnik wydatku [-],
h – napełnienie w basenie [m].

Rozkład prędkości w basenie przepławki obliczono w oparciu o pomiary laboratoryjne. Prędkość liczono w połowie długości basenu w trzech miejscach: poniżej szczeliny głównej rygla od strony wody górnej (B1), na środku basenu (B2) oraz po stronie szczeliny głównej od strony wody dolnej (B3).

$$v_{Bi} = \alpha_{Bi} v_R [ms^{-1}] \tag{6}$$

gdzie:

α_{Bi} – współczynnik określony na podstawie pomiarów laboratoryjnych [-].

Dyssypację objętościową obliczono ze wzoru [Mokwa, 2010]:

$$E = \frac{\rho g \Delta h Q}{At} [Wm^{-3}] \tag{7}$$

gdzie:

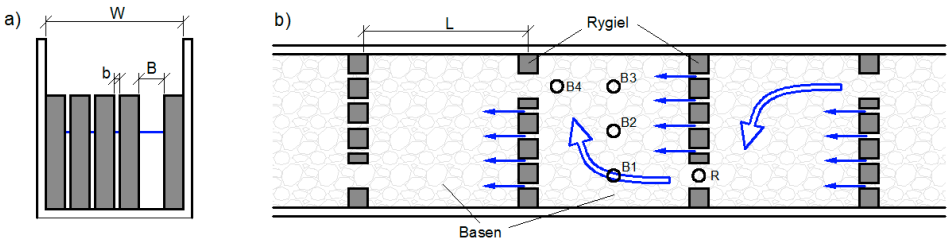
Δh – różnica poziomów wody między komorami (basenami) [m],
Q – przepływ wody przez przepławkę [m^3s^{-1}],
A – powierzchnia komory (basenu) [m],
h – napełnienie w komorze (basenie) [m],
ρ – gęstość wody [kgm^{-3}].

OPIS BADAŃ

Pomiary laboratoryjne przeprowadzono na fizycznym modelu przepławki ryglowej wykonanym w laboratorium Hydrotechnicznym Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Model przepławki składał się z sekwencji czterech rygli i basenów. Rygle wykonano z pali drewnianych o wymiarach w przekroju 0.067x0.067 m. Każdy rygiel posiadał jedną szczelinę główną o szerokości B=0.12 m i trzy mniejsze o szerokości b=0.01 m. Taka konstrukcja rygla posiadała stosunek powierzchni aktywnej szczeliny głównej rygla do sumy powierzchni pozostałych szczelin $F_B/F_{\Sigma b}$=80/20. Spadek dna przepławki wynosił 8.3, 16.7 i 25.6‰. Pomiary przeprowadzono dla zakresu różnicy poziomów zwierciadeł wody pomiędzy sąsiednimi basenami 0.021-0.033 m. W celu wydłużenia drogi przepływu strumienia głównego szczeliny główne w następujących po sobie ryglach ułożono naprzemianlegle. Spowodowało to przepływanie strumienia o większej prędkości z jednej strony przepławki na drugą, na długości jednego basenu.

Rysunek 2. Model fizyczny przepławki ryglowej
Figure 2. Physical model of rock fishladder

Pomiar prędkości przeprowadzono za pomocą sondy ADV. Jest to dopplerowski prędkościomierz akustyczny dokonujący dokładnego pomiaru trzech składowych prędkości przy wykorzystaniu efektu Dopplera. Każdy pion hydrometryczny składał się z 10 pomiarów składowych prędkości v_x, v_y i v_z. Składowe te posłużyły do określenia wartości i kierunków poszczególnych wektorów prędkości, w oparciu o które wykreślono profile prędkości. Pojedyncza seria pomiarowa składała się z pięciu pionów hydrometrycznych: jeden w szczelinie głównej rygla - R, trzy na środku basenu przepławki - B1, B2, B3 oraz jeden w dolnej części basenu powyżej szczeliny głównej rygla - B4 (rys. 3).



Rysunek 3. Schemat modelu przepławki ryglowej, a) przekrój przez rygiel, b) widok z góry
Figure 3. Scheme of the rock fishladder, a) cross section, b) plan view

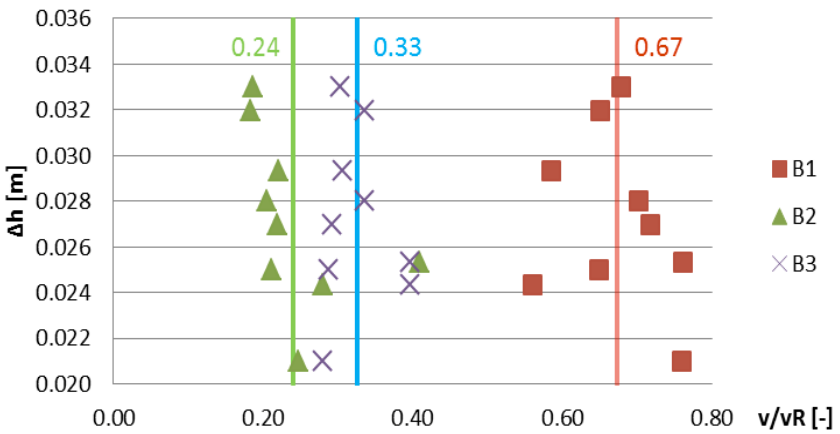
W oparciu o profile prędkości obliczono średnie prędkości w pionach hydrometrycznych. Wartości w pionach B1, B2 i B3 przedstawiono w wartościach względnych odnosząc ich wartość do wartości prędkości w szczelinie głównej przepławki ryglowej. Pozwoliło to określić rozkład prędkości w basenie przepławki dla określonej konstrukcji rygla.

WYNIKI POMIARÓW LABORATORYJNYCH

Tabela 4 przedstawia wyniki pomiarów laboratoryjnych.

Tabela 4. Wyniki pomiarów laboratoryjnych
Table 4. Results of laboratory measurements

I [‰]	Q [m^3s^{-1}]	Δh [m]	$v_{śr}$ [ms^{-1}]				
			R	B1	B2	B3	B4
8.3	0.022	0.027	1.61	1.16	0.35	0.47	0.85
	0.025	0.025	1.70	1.11	0.36	0.49	0.76
	0.028	0.032	1.73	1.13	0.32	0.58	0.74
16.7	0.017	0.021	1.42	1.08	0.35	0.40	0.68
	0.024	0.028	1.61	1.13	0.33	0.54	0.74
	0.032	0.033	1.81	1.23	0.34	0.55	0.91
25.6	0.015	0.025	1.27	0.96	0.52	0.50	0.71
	0.021	0.024	1.62	0.91	0.45	0.64	0.82
	0.028	0.029	1.78	1.04	0.39	0.55	0.89



Rysunek 4. Rozkład prędkości w basenie przepławki ryglowej
Figure 4. Velocity distribution within pool of the rock fishladder

Na rysunku 4 przedstawiono wartości względne prędkości. Prędkość w basenie przepławki zostanie obliczona ze wzorów:

$$v_{B1} = 0.67 v_R [ms^{-1}] \tag{8}$$

$$v_{B2} = 0.24 v_R [ms^{-1}] \tag{9}$$

$$v_{B3} = 0.33 v_R [ms^{-1}] \tag{10}$$

OBLICZENIA HYDRAULICZNE

Rygiel przepławki ryglowej na Skawie będzie posiadał jedną szczelinę główną o szerokości B=0.30 m i trzy o szerokości b=0.025 m. Dla takiej konstrukcji $F_B/F_{\Sigma b}$=0.80/0.20. Dopuszczalna prędkość wody w ryglu przepławki wynosi v_R=1.20 ms^{-1}. Obliczona ze wzoru 1 maksymalna różnica poziomów zwierciadeł wody pomiędzy sąsiednimi basenami wynosi Δh=0.07 m. Spadek dna przepławki dla długości basenu L=2.70 m i grubości rygla 0.30 m wynosi i=2.3%.

Obliczenie wydatku przepławki:

$$Q_B = 0.61 \cdot 0.30 \cdot 0.80 \cdot (2 \cdot 9.81 \cdot 0.07)^{0.5} = 0.172 m^3 s^{-1}$$

$$Q_b = 0.61 \cdot 0.025 \cdot 0.80 \cdot (2 \cdot 9.81 \cdot 0.07)^{0.5} = 0.014 m^3 s^{-1}$$

$$Q_c = 0.172 + 3 \cdot 0.014 = 0.214 m^3 s^{-1}$$

Obliczenie prędkości w ryglu i rozkładu prędkości w basenie przepławki:

$$v_R = \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 0.07} = 1.17 ms^{-1}$$

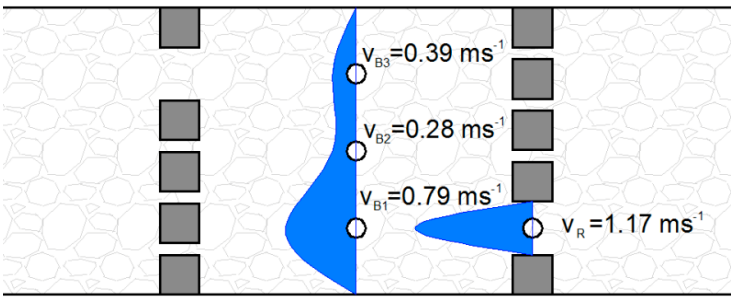
$$v_{B1} = 0.67 \cdot 1.17 = 0.79 ms^{-1}$$

$$v_{B2} = 0.24 \cdot 1.17 = 0.28 ms^{-1}$$

$$v_{B3} = 0.33 \cdot 1.17 = 0.39 ms^{-1}$$

Obliczenie dyssypacji objętościowej:

$$E = \frac{1000 \cdot 9.81 \cdot 0.07 \cdot 0.214}{4.86 \cdot 0.80} = 37.88 Wm^{-3}$$



Rysunek 5. Rozkład prędkości przepławki ryglowej
Figure 5. Velocity distribution

PODSUMOWANIE WYNIKÓW PRAC

W przepławce ryglowej o wymiarach odpowiadających gatunkom ryb chronionych w zlewni rzeki Skawy: długości basenu L=2.7 m, szerokości szczeliny głównej rygla B=0.30 m, spadku dna i=2.3%, napełnieniu h=0.80 m występują odpowiednie prędkości wody. Maksymalne prędkości występują lokalnie w szczelinie głównej rygla. Prędkość wody w ryglu przepławki wynosi 1.17 ms^{-1}. Po wpłynięciu do basenu prędkość nurtu głównego spada o 33% natomiast prędkość strug wpływających szczelinami o mniejszej szerokości spada o 67 i 76%. Wpływa to na wytworzenie dwóch stref przepływu w basenie przepławki: strefy o większej prędkości znajdującej się poniżej szczeliny głównej rygla, oraz strefę spokojną w pozostałej części basenu z prędkością nie przekraczającą v=0.40 ms^{-1}. Obliczony dla napełnienia h=0.80 m przepływ Q=0.21 m^{3}s^{-1}, wartość dyssypacji objętościowej wynosi około 38 Wm^{-3}. Odpowiada to warunkom stabilności biologicznej ichtiofauny zlewni rzeki Skawy (tab. 2 i 3).

WNIOSKI OGÓLNE

Przepławka ryglowa jest typem przepławki, który może być szeroko stosowany w celu przywrócenia ciągłości korytarza ekologicznego. W basenie przepławki występuje podział hydraulicznych warunków ruchu wody na dwie strefy – strefa z mniejszymi i większymi prędkościami. Poprzez różną konstrukcję rygla można wpływać na wartości prędkości w basenie przepławki oraz na wielkości poszczególnych stref. Prędkość maksymalna w ryglu może być modyfikowana poprzez zmianę spadku dna przepławki. Poprzez zmianę konstrukcji przepławki w zakresie zmian wielkości basenu, spadku dna oraz ilości i wielkości szczelin w ryglu istnieje możliwość wytworzenia hydraulicznych warunków przepływu spełniających kryteria stabilności biologicznej ryb występujących na danym obszarze.

Badania finansowane z grantu badawczo-rozwojowego: N R14 0041 06

BIBLIOGRAFIA

Bartnik W. (2006). *Charakterystyka hydromorfologiczna rzek i potoków górskich*, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi PAN w Krakowie, s. 143-174.

Bartnik W., Epler P., Jelonek M., Klaczak A., Książek L., Mikołajczyk T., Nowak M., Popek W., Sławińska A., Sobieszczuk P., Szczerbik P., Wyrębek M. (2011). *Gospodarka rybacka w aspekcie udrażniania cieków dorzecza Małej i Górnej Wisły*, Monografia pod redakcją Piotra Eplera i Leszka Książka, Komisja Techniczna Infrastruktury Wsi PAN w Krakowie.

Mokwa M. (2010). *Obliczenia hydrauliczne przepławek dla ryb"*, Acta Scientiarum Polonorum, Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, s. 43-58.

Wiśniewolski W. (2011). *Ogólne wytyczne projektowania przepławek dla ryb*, Zrównoważone korzystanie z zasobów rybackich na tle ich stanu w 2010 roku, Olsztyn, s. 153-175.

Mokwa M., Malczewska B. (2008). *Współczesne tendencje w budowaniu przejść dla ryb*, Monografia pod redakcją Mariana Mokwy i Wiesława Wiśniewolskiego, Wrocław, s. 82-90.

Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej.

Dr inż. Maciej Wyrębek
Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków
tel. (012) 662-40-23
m.wyrebek@gmail.com