

Możliwości przeciwdziałania skutkom przegradzania rzek i odtwarzania szlaków migracji ryb

Wiesław WIŚNIEWOLSKI

Instytut Rybactwa Śródlądowego im. Stanisława Sakowicza w Olsztynie
Zakład Rybactwa Rzecznego w Żabieńcu, ul. Główna 48, 05-500 Piaseczno

Abstrakt – Podstawę pracy stanowiły ekspertyzy biologiczno-techniczne przygotowywane na potrzeby budowy przepławek dla ryb przy różnego typu piętrzeniach oraz przegląd pozycji literatury. Na tle zachowań wędrujących ryb i możliwości przeciwstawiania się przez nie prądowi wody sprecyzowano warunki jakie spełniać muszą budowane przepławki. Wskazano na potrzebę stosowania nowoczesnych rozwiązań tzw. przepławek ekologicznych. Są nimi obejścia, pochylnie (rampy), przepławki ryglowe. Określono parametry techniczne warunkujące właściwe działanie tych przepławek.

Słowa kluczowe: wędrowki i zachowania ryb, przywracanie drożności rzek, przepławki ekologiczne.

Wprowadzenie

Obok naturalnych uwarunkowań środowiskowych, wynikających z fizjograficznego położenia oraz naturalnego wpływu czynników abiotycznych i biotycznych (Backiel 1964, Lassleben 1977, Starmach 1964), współcześnie ogromnego znaczenia dla możliwości bytowania ryb w ekosystemach rzecznych nabrały zamierzone i niezamierzone antropogeniczne ingerencje. Odprowadzanie ścieków, regulacje, przegradzanie rzek a także rekreacja stały się czynnikami skutecznie modelującymi strukturę gatunkową ichtiofauny, doprowadzając do zmniejszenia dotychczasowej liczebności i ustępowania gatunków o specyficznych wysokich wymaganiach (Buras i in. 2001, Penczak 1988, Penczak i in. 1996, Wiśniewolski 1987, Witkowski 1996, Wołos i in. 2000). Tym samym o kształcie zespołów ichtiofauny zasiedlającej rzeki decyduje oddziaływanie wielu różnorodnych czynników (Bless 1978, Wiśniewolski 2002). Mierzone w skali wielolecia szczególnie drastyczne w skutkach okazuje się przegradzanie rzek, zwłaszcza gdy w konsekwencji odcięte zostaną tarliska ryb zlokalizowane powyżej powstającej przegrody (Backiel 1993, Bartel 2002, Wiśniewolski 1985, 1992). Podstawowego znaczenia dla odbudowy zespołów ichtiofauny i powodzenia podejmowanych coraz powszechniej programów restytucji gatunków na obszarach ich pierwotnego występowania, nabiera więc odtworzenie ekologicznej ciągłości ekosystemów rzecznych. Realizacji tego celu służy budowa przepławek dla ryb (Gebler 1991, Krüger i in. 1993, Wiśniewolski 1997a).

Możliwość pokonania przez ryby prądu wody, podstawowym kryterium

Najważniejszym czynnikiem decydującym o możliwości pokonania przez ryby przepławki jest szybkość prądu przepływającej przez nią wody. Szybkość ta jest wynikiem różnicy poziomów wody pomiędzy sąsiadującymi ze sobą komorami (basenami) przepławki oraz ma na nią wpływ charakter substratu tworzącego jej dno (Gebler 1991, Lubieniecki i Steinberg 1987). Różne są możliwości poszczególnych gatunków ryb przeciwstawiania się prądowi wody. Wynika to ze specyfiki gatunkowej, lecz również mają na nie wpływ zanieczyszczenia wody, jej temperatura, stopień natlenienia oraz kondycja zdrowotna ryb (Jens i in. 1997, Sprengel i Luchtenberg 1991). Jako punkt oceny możliwości pływackich poszczególnych gatunków ryb przyjąć należy krytyczną szybkość przepływu, określającą najwyższą szybkość prądu wody, przy której ryba może przez pewien określony czas przeciwstawiać się sile prądu wody. Wartość ta wyrażana jest odcinkiem drogi jaką ryba jest w stanie pokonać w czasie 1 sekundy. Zwykle podawana jest w metrach lub centymetrach, lecz może również podawana być w postaci liczby odpowiadającej krotności całkowitej długości ryby (Baxter 1961, Gebler 1991, Jens i in. 1997). Jak już wcześniej powiedziano możliwości poszczególnych gatunków ryb są w tym względzie silnie zróżnicowane (tabela I).

Tabela I. Krytyczne szybkości przepływu wody wyznaczone dla niektórych gatunków ryb (wg. Jens et al. 1997, zmienione).

Gatunek	Krytyczna szybkość przepływu wody m s^{-1}
Łosoś	1,33
	3,20–6,40
Pstrąg potokowy	0,80–1,00
Pstrąg tęczowy	0,35–0,91
Węgorz	0,47–0,83
Miętus	0,36–0,41
Leszcz	0,80–1,15
Ukleja	0,52
Słonecznica	0,36–0,54
	0,386
Śliz	0,24–0,46
	0,608
Koza	0,26–0,42
Głowacz białopłetwy	0,20–0,34
Kiełb	0,55
Szczupak	0,19–0,47
Okoń	0,42–0,49
Ciernik	0,363

Ograniczone i znacznie zróżnicowane możliwości przeciwstawiania się prądowi wody przez poszczególne gatunki ryb, stanowią podstawę wyznaczenia kryterium maksymalnej szybkości przepływu wody w przepławce. W nowoczesnych konstrukcjach przepławek przyjąć obecnie należy jako najwyższe dopuszczalne szybkości przepływu wody, wynoszące:

- ryby łososiowate (łososć, troć, pstrągi, głowacica, lipień) 2,0 m s⁻¹,
 - reofilne ryby karpioiwate (boleń, brzana, brzanka, certa, jaz, jelec, kleń, świnka) 1,5 m s⁻¹,
 - pozostałe gatunki (ryby młode i małe) 1,0 m s⁻¹
- (Gebler 1991, Jens i in. 1997).

Przytaczane wartości w kontekście ocenionych możliwości pływackich małych gatunków ryb wydawać się mogą zawyżone. Nie jest tak jeśli uwzględnimy sposób przemieszczania się ryb. Przemieszczają się one stosownie do swych możliwości pokonywania prądu wody. Zawsze wybierają silniejszy strumień prądu do momentu, gdy jego siła zaczyna przekraczać maksymalne dla gatunku wartości (Schiemenz 1950, 1959, Weaver 1963). Duże, silniejsze osobniki wybierają mocniejszy nurt, słabsi pływacy, gatunki mniejsze oraz młode ryby preferują spokojniejsze partie wody, nierzadko w bezpośredniej bliskości brzegów (Lubieniecki 2002). Bardzo istotne dla możliwości wędrówki jest naturalne zróżnicowanie warunków przepływu w różnych fragmentach koryta rzeki. Pozwala to rybom na wybór strug wody o odpowiadającej im prędkości. Szybkość przepływu różnicuje się bowiem dzięki naturalnej szorstkiej strukturze dna, w którym pomiędzy zalegającymi na nim kamieniami, głazami oraz grubymi frakcjami żwiru, tworzy się system szczelin i przesmyków, w których szybkość prądu wody silnie spada. Miejsca te wykorzystywane są przez ryby małe oraz te o słabszych umiejętnościach pływackich (Adam i in. 1994, Bless 1990, Gebler 1991, Jungwirth i Winkler 1983). Występowaniem za kamieniami i pod kamieniami miejsc o silnie zredukowanej sile prądu wody, której szybkość przepływu znacznie spada także w bezpośrednim sąsiedztwie dna, wyjaśnia dlatego np. możliwe jest występowanie w rwących potokach głowacza białopłetwego, odznaczającego się słabymi umiejętnościami pływackimi. Badania szybkości przepływu wody wykazały, że prąd wody o sile 1,5–2,0 m s⁻¹ na głębokości 10 cm liczonej od powierzchni w strefie przydennej zmniejszał się do wartości 0,5–0,8 m s⁻¹ (Lubieniecki 2002). Młode głowacze kryją się w luźnej strukturze żwirowego dna, podczas gdy osobniki dorosłe znajdują schronienie za i pod dużymi kamieniami (Bless 1990). Obecność w korycie rzeki dużych kamieni i głazów stanowi warunek utrzymania się w nim również dużych osobników pstrąga potokowego (Rudek 1974).

Możliwości pokonywania przez ryby przeszkody skokiem są zazwyczaj mocno przeceniane. Najbardziej w tym względzie znane są możliwości łososi i pstrągów, oceniane odpowiednio na 1,0–1,7 metra oraz 0,7–0,8 m (Frischholz 1924, Stuart 1962). Obserwacje wykazały, że ryby do pokonania przeszkody wybierają zatopione przelewy i szczeliny. Tylko w sytuacji gdy nie mogą tym sposobem pokonać przeszkody decydują się na oddanie skoku (Gebler 1991). Jednak nie wszystkie gatunki mogą w ten sposób pokonać przeszkodę. Większość ryb rzecznych nie posiada zgoła takich umiejętności, względnie są one bardzo ograniczone (Jungwirth i Pelikan 1989, Jens i in. 1997). Przemieszczać się więc mogą swobodnie tylko dzięki naturalnemu zróżnicowaniu szybkości przepływu wody w różnych partiach rzeki. Sprzyja temu szorstka, obfitująca w luki i szczeliny struktura dna. Gdy jej brakuje, nawet 20 cm wysokości betonowy próg pozbawiony szczelin staje się przeszkodą nie do pokonania dla takich małych gatunków jak np. głowacz, śliz czy ciernik (König 1969).

Warunki stawiane współczesnym przepławkom

Urządzenia umożliwiające pokonywanie przez faunę wodną piętrzenia, tzw. przepławki, mają za zadanie redukcję szybkości przepływu wody do wartości odpowiadających możliwościom pokonywania siły prądu zarówno przez zasiedlające

rzekę ryby, jak również organizmy bezkręgowce. Spotykane są różne rozwiązania konstrukcyjne przepławek. Jeszcze do lat 80. XX wieku preferowano urządzenia techniczne, spośród których najchętniej wykonywano przepławki komorowe (w różnych wariantach) oraz przepławki Denila (Adam i in. 1994, Gebler 1991, Sakowicz i Żarnecki 1954, Wiśniewolski 1997a).

Obserwowane często niewłaściwe funkcjonowanie tradycyjnych technicznych przepławek, wymusiło poszukiwanie nowych, skuteczniejszych rozwiązań. U ich podstawy leży coraz lepsze poznanie ekologicznego znaczenia i funkcjonowania ekosystemów rzecznych oraz biologii zasiedlającej je fauny. Współczesne, tzw. ekologiczne przepławki dla ryb, swą konstrukcją odwzorowują naturalne warunki panujące w korycie rzecznym (Adam i in. 1994, Gebler 1991, Wiśniewolski 1997a, 2002, Żbikowski i Żelazo 1993). Rzeczą znaną jest, iż koncepcje te narodziły się w krajach wysoko zurbanizowanych, gdzie na skutek regulacji i zabudowy rzek, doprowadzono do biologicznej dewastacji tych środowisk (Bless 1985, Gebler 1991, Jungwirth i Pelikan 1989, Knauss 1980, Whittaker i Jaggi 1986).

Sposób konstruowania ekologicznych przepławek inspirowało naturalne ukształtowanie fragmentów rzecznej koryta. Wzoruując się na jego budowie i określonej doświadczalnie charakterystyce przepływu wody, sformułowano warunki, którym odpowiadać musi wykonywana przepławka. Ma więc ona:

- umożliwiać swobodną migrację rzecznej fauny,
- komponować się z naturalnym otoczeniem,
- przeciwdziałać erozji koryta, a także pełnić inne hydrotechniczne funkcje, np. piętrzenia wody

(Adam i in. 1994, Gebler 1991).

Jako podstawowe kryterium przyjęto możliwość pokonywania przez ryby prądu wody. Wprawdzie obserwowano, że w ekstremalnych sytuacjach niektóre ryby, zwłaszcza łososiowate, mogły na krótkich odcinkach pokonywać prąd wody o sile nawet powyżej 4 m s^{-1} (Jens i in. 1997 za różnymi autorami), to jednak dokładne badania wykazały znacznie mniejsze możliwości ryb w tym względzie, niż pierwotnie sądzono (Stahlberg i Peckmann 1986). Dopuszczalne dla ryb maksymalne szybkości przepływu wody w przepławce występować mogą tylko w niektórych miejscach przepławki, tj. na krótkich odcinkach przesmyków i szczelin łączących poszczególne baseny przepławki. W pozostałych miejscach przepławki wartości te muszą być zdecydowanie niższe.

Podawane wartości maksymalnej prędkości prądu wody przeliczone na warunki swobodnego, grawitacyjnego przepływu, odpowiadają różnicy poziomu dna (powierzchni lustra wody) pomiędzy sąsiadującymi ze sobą komorami przepławki, która nie może przekraczać:

- | | |
|----------------------------------|---------|
| • ryby łososiowate | 0,20 m, |
| • reofilne ryby karpowate | 0,11 m, |
| • pozostałe gatunki i ryby młode | 0,05 m |

(Wiśniewolski 1997a).

Aby sformułowany warunek mógł być spełniony, przepławki konstruowane być muszą z odpowiednio łagodnym nachyleniem. W zależności od typu przepławki i warunków lokalnych dobierane jest ono w szerokim zakresie. Określany jest on w przedziale od 1:10 do nawet 1:50 (Adam i in. 1994, Gebler 1991, Jens i in. 1997, Lubieniecki 2002).

Najlepiej skonstruowana, spełniająca powyższe warunki przepływu przepławka, nie będzie przedstawiała żadnej wartości jeśli ryby nie będą mogły znaleźć do niej drogi. Stąd podstawowego znaczenia nabiera lokalizacja przepławki. Jak już wcześniej powiedziano, ryby wędrując w górę rzeki kierują się prądem wody. Trzymają

się partii rzeki o sile prądu odpowiadającej ich możliwościom pływackim, zawsze jednak możliwie jak najbliżej głównego nurtu. Oznacza to, że jeśli rzeka dzieli się na ramiona, ryby kierowały się będą tam którą przepływa silniejsza struga wody. Z warunku tego wynika obowiązek budowy przepławki zawsze w bezpośrednim sąsiedztwie elektrowni wodnej lub tej części jazu, którą przepuszczane są główne masy wody. Również tutaj musi znajdować się do niej wejście (od strony wody dolnej), jeśli przepławka ma charakter obejścia obchodzącego piętrzenie.

Nie bez znaczenia pozostaje sposób w jaki woda uchodząca z przepławki łączy się z głównym nurtem rzeki. Nagminnie popełnianym błędem, obserwowanym w większości skonstruowanych w Polsce technicznych przepławek jest prostopadłe w stosunku do nurtu rzeki wyprowadzenie wody z przepławki. Badania wykazały, że kąt ujęcia wody z przepławki powinien być ostry w stosunku do nurtu rzeki i nie powinien przekraczać 30° (Hafner 1995, Lubieniecki 2002). Szybkość prądu wypływającej z przepławki wody powinna być wyższa o około $0,20\text{--}0,30\text{ m s}^{-1}$ aniżeli w korycie rzeki (Lubieniecki 2002), gdyż tylko wówczas będzie ona oddziaływała wabiąco na wędrujące ryby. Prędkość wypływającej z przepławki wody wabiącej nie powinna przy tym przekraczać $60\text{--}80\%$ krytycznej dla ryb wartości. W odniesieniu do ryb łososiowatych oznacza to $0,9\text{--}1,3\text{ m s}^{-1}$, zaś karpiovatych $0,7\text{--}0,9\text{ m s}^{-1}$ (Hafner 1995, Jungwirth 1995).

Kolejnym ciągle jeszcze niedocenianym, a mającym bardzo duże znaczenie dla możliwości znalezienia wejścia do przepławki, jest warunek łagodnego powiązania dna przepławki z dnem rzeki. Ryby wędrują przy dnie i z chwilą napotkania pionowej ściany zostają przy niej zatrzymane, nie potrafiąc wyczuć strugi wody wypływającej ze znajdującego się wysoko w górze wejścia do przepławki (Adam i in. 1994, Gebler 1991, Lubieniecki 2002). Jest to jedna z podstawowych przyczyn złego funkcjonowania wielu przepławek. Warunek łagodnego połączenia dna przepławki z dnem rzeki odnosi się również do jej górnego stanowiska (wyjście z przepławki do spiętrzonego odcinka rzeki). Połączenie to może mieć formę usypanego z kamieni stożka o nachyleniu 1:2 (Adam i in. 1994, Gebler 1991).

Ważnym zagadnieniem pozostaje również odpowiednia głębokość wody w przepławce. Wynika to z faktu, że musi ona zapewnić wędrującym rybom nie tylko możliwość przejścia, lecz również znalezienia odpowiedniego schronienia. Zależna jest więc ona od wielkości wędrujących przepławką ryb. Można przyjąć, że w przesmykach pomiędzy poszczególnymi basenami (komorami) przepławki nie powinna być ona niższa aniżeli $0,25\text{--}0,30\text{ m}$, natomiast w samych basenach $0,60\text{--}0,80\text{ m}$ (Adam i in. 1994, Gebler 1991, Lubieniecki 2002).

Omówione warunki, które spełniać musi przepławka w odniesieniu do biologicznych wymagań ichtiofauny, ująć można w formie następujących zasad.

1. Krytyczna wartośći szybkości przepływu wody ($2,0\text{ m s}^{-1}$ – łososiowate, $1,5\text{ m s}^{-1}$ – karpiowate reofilne, $1,0\text{ m s}^{-1}$ – ryby pozostałe), dopuszczalne są tylko na krótkich odcinkach przesmyków, szczelin i przelewów łączących poszczególne fragmenty przepławki. W pozostałych partiach przepławki szybkość przepływu wody zredukowana być musi do około 50% wartości krytycznej.
2. Zachowanie wymaganych wartości krytycznej szybkości przepływu wody, wymaga budowania przepławek o łagodnym nachyleniu, które w zależności od typu urządzenia i lokalnych warunków wynosi jak: od 1:10 do 1:50.
3. Lokalizacja przepławki zawsze musi być związana z głównym nurtem rzeki i budowlą (elektrownia, upust), poprzez którą realizowany jest główny przepływ.
4. Woda z przepławki wypływać musi pod kątem nie większym niż 30° w stosunku do nurtu rzeki.

5. Szybkość wody wypływającej z przepławki musi być wyższa o około 0,20–0,30 m s⁻¹ od szybkości przepływu wody w rzece, gdyż tylko wówczas oddziaływała będzie wabiąco na ryby.
6. Prędkość wypływającej z przepławki wody nie powinna przekraczać 60–80% określonej dla ryb krytycznej szybkości przepływu.
7. Dno przepławki musi łagodnie łączyć się z dnem rzeki. Oznacza to, że dno przepławki i dno rzeki na dolnym stanowisku muszą znajdować się na jednakowym poziomie, zaś na stanowisku górnym łączyć się poprzez pochylnię (w formie stożka) o nachyleniu jak 1:2.
8. Dla zapewnienia właściwych warunków migracji i bezpieczeństwa ryb w przepławce, głębokość w niej wody nie powinna być niższa niż: 0,25–0,30 m w przemykach i przelewach; 0,60–0,80 m w basenach.

Przykładowe propozycje rozwiązań konstrukcyjnych przepławek

Specyfiką nowoczesnych przepławek ekologicznych jest zmienność ich parametrów konstrukcyjnych, które dostosowane być muszą do wymagań biologicznych zasiedlającej rzekę fauny (ryby, bezkręgowce) oraz lokalnych warunków realizacji inwestycji. Uwarunkowania biologiczne i środowiskowe inspirujące podejmowanie przez ryby wędrówek oraz ograniczone możliwości pokonywania znajdujących się na ich drodze przeszkód, stanowią zatem podstawę konstrukcyjnych założeń tych urządzeń (Adam i in. 1994, Eberstaller 1993, Gebler 1991, Jens 1981, Jens i in. 1997, Krüger i in. 1993). Ich wspólną cechą jest luźna konstrukcja, zachowująca system luk i szczelin. Urządzenia te konstruowane mogą być w formie:

- obejść naśladowujących naturalne, omijające przeszkodę strumienie,
- przepławek ryglowych (kombinacji bystrotoku i przepławki komorowej), gdzie przegrody oddzielające poszczególne komory wykonane są z luźno ustawionych głazów, pomiędzy którymi pozostawiony jest system różnej szerokości szczelin,
- bystrotoków (ramp), stanowiących odwzorowanie usłanych głazami i kamieniami przelomowych odcinków rzeki.

Uzupełnieniem tych propozycji konstrukcyjnych, przeznaczonym dla wysokich piętrzeń w warunkach ukształtowania terenu uniemożliwiającego wykonanie odpowiednio długiej przepławki ekologicznej, są

- przepławki szczelinowe.

Zróżnicowanie warunków środowiskowych, stopnia przekształceń ekosystemów rzecznych oraz istniejących na nich budowli hydrotechnicznych, wymusza indywidualne podejście do każdej sytuacji budowy przepławki. Każda z nich jest indywidualną, niepowtarzalną budowlą. Wykorzystując już opracowane rozwiązania, podano w dalszej części pracy parametry techniczne kilku wybranych typów przepławek (Adam i in. 1994, Gebler 1991, Wiśniewolski 1997a, 1999, 2000, Wiśniewolski i Bontemps 1996). Traktować je należy jako przykłady, które po modyfikacji uwzględniającej lokalne uwarunkowania stosować można przy opracowywaniu nowych projektów przepławek budowanych w celu przywracania ekologicznej drożności rzek Polski.

Obejście

Ten typ przepławki naśladuje swą konstrukcją potok górski, lub nizinny strumień. Jego cechą jest naturalny charakter sprawiający, że obejście pełniąc funkcję przepławki jest równocześnie siedliskiem stale bytujących w nim licznych gatunków ryb (ryc. 1).



Ryc. 1. Obejście dla ryb (fot. W. Wiśniewski).

Do wykonania obejścia wykorzystywane są naturalne materiały (żwir, kamienie, głazy, pnie drzew i ich karpy, pale drewniane, faszyna), a jego brzegi zabudowywane są biologicznie (wiklina, olsza). Dno formowane jest w naturalnym podłożu, w postaci basenów i rozlewisk o zwiększonej głębokości i zredukowanej w nich szybkości przepływu wody. Kolejne baseny oddzielane są progami z ułożonych luźno dużych kamieni i głazów a w nizinnym terenie i małych spadkach, przesmykami pomiędzy rozlewiskami. Obejście prowadzone jest krętą trasą, co ma na celu zminimalizowanie szybkości przepływu wody i wytracenie różnicy poziomów pomiędzy wodą górną i dolną piętrzenia. Jeśli mamy do dyspozycji odpowiednio duży teren, rozwiązanie to stosowane może być w różnych warunkach i piętrzeniach sięgających wysokości nawet powyżej 10 metrów. W takich sytuacjach charakter obejścia musi być bardziej zróżnicowany, bowiem dla wytracenia różnicy poziomów odcinki o małym spadku muszą przeplatać się z odcinkami o spadku większym.

Według zaleceń opracowanych przez interdyscyplinarny zespół specjalistów niemieckich (Adam i in. 1994), ten typ przepławki dla ryb swą konstrukcją spełniać musi następujące ogólne warunki:

- przepływ wody $Q > 100 \text{ l s}^{-1}$ na 0,8 metra szerokości dna obejścia,
- nachylenie 1:100 maksymalnie 1:20 – zależne od struktury ichtiofauny
- szerokość dna przepławki $b > 0,80 \text{ m}$,
- długość basenów $l_b > 4,0 \text{ m}$,
- różnica poziomów wody pomiędzy sąsiednimi basenami $\Delta h_b \leq 0,10\text{--}0,15 \text{ m}$, maksymalnie 0,20 m,
- średnia prędkość przepływu wody w obejściu $V_s = 0,4\text{--}0,6 \text{ m s}^{-1}$,
- maksymalna szybkość przepływu wody $V_{\max} = 1,6\text{--}2,0 \text{ m s}^{-1}$ – zależne od struktury ichtiofauny
- głębokość wody w obejściu zmienna od 0,2 m do 1,5 m,

- długość dłuższego boku głazów progu (rygla) 0,9–1,2 m,
- w basenach pojedyncze kamienie o średnicy 0,4–0,7 m,
- substrat na dnie przepławki, kamienie o średnicy 0,05–0,30 m, gruby żwir,
- miąższość (grubość warstwy) substratu na dnie $\geq 0,20$ m,
- nachylenie stożka łączącego dno przepławki z dnem zbiornika powyżej jazu oraz poniżej stopnia wlotowego nie większe niż 1:2,
- szerokość szczelin pomiędzy głazami progu 0,1–0,5 m,
- w korycie obejścia rozmieszczone nieregularnie pojedyncze głazy: ma to szczególne znaczenie w przypadku obejść o nachyleniu 1:20, 1:30, bowiem nie jest możliwe utrzymanie w nich średniej prędkości prądu wody na poziomie $0,4\text{--}0,6\text{ m s}^{-1}$. Głazy redukują szybkość przepływu i zwiększają głębokość wody, stwarzając również kryjówki dla ryb,
- w przypadku obecności elektrowni wodnej, lokalizacja obejścia na tym samym brzegu co elektrowni, a wejście do przepławki od strony wody dolnej, musi być zlokalizowane obok wylotu wody spod turbin. Kryterium lokalizacji – strefa spadku szybkości prądu wody poniżej wartości krytycznych dla ichtiofauny (zależne od struktury gatunkowej zespołu ryb).

Scharakteryzowane ogólne wymagania jakie spełniać musi obejście, dostosowane być muszą do warunków jakie lokalnie panują przy poszczególnych piętrzeniach.

Przepławka ryglowa

Według niemieckich norm (Adam i in. 1994) minimalna ilość wody wymagana na 1 metr szerokości proponowanego rozwiązania przepławki ryglowej (ryc. 2) wynosi $0,150\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$. Wymagania maksymalnych szybkości przepływu wody uzależnione są



Ryc. 2. Przepławka ryglowa (fot. W. Wiśniewolski).

od struktury gatunkowego składu zespołu ichtiofauny. W podawanym przykładzie udrożnienia potoku Lesk (Wiśniewolski 2000), w jego zespole ichtiofauny obok ryb łososiowatych występują również karpowate reofilne. Jako kryterium maksymalnej prędkości przepływu należy przyjąć wartość $V_{\max} = 1,5\text{--}1,7 \text{ m s}^{-1}$. Odpowiada to różnicy poziomów pomiędzy sąsiadującymi ze sobą progami wynoszącej $\Delta h_k = 0,12\text{--}0,15 \text{ m}$. W zespole ichtiofauny nie występują troć wędowna ani łosoś, dlatego odległość pomiędzy kolejnymi progami wynosić może $l_k = 2,0\text{--}2,5 \text{ m}$ (w przypadku występowania troci należało by je zwiększyć do $3,5\text{--}4,5 \text{ m}$). Uwzględniając przyjęte założenia orientacyjne parametry przejścia dla ryb, wyliczone dla $\Delta h_k = 0,15 \text{ m}$ przedstawiać się będą następująco:

Minimalna liczba komór (basenów pomiędzy progami) $n = \frac{\Delta H}{\Delta h_k} - 1$

$$\bullet n_{\text{komór p.}} = \frac{2,00 \text{ m}}{0,15 \text{ m}} - 1 = 12,3.$$

Długość przepławki $L = n \cdot l_k$

$$\bullet L = 12 \cdot 2,0\text{--}2,5 \text{ m} = 24\text{--}30 \text{ m}.$$

Nachylenie $I = \frac{\Delta H}{L}$

$$\bullet I_p = \frac{2,00 \text{ m}}{24 \text{ albo } 30 \text{ m}} = 0,083 \text{ albo } 0,067 \text{ lub jak } 1:12 \text{ albo } 1:15.$$

Progi tworzone są przez zabetonowane w dnje przepławki, ustawione na sztorc podłużne głazy o wymiarach dłuższego boku $0,9\text{--}1,2 \text{ m}$. Są one układane nieregularnie, czyli nie w prostym rzędzie lecz naprzemianlegle tak, że jedne są nieco wysunięte ku przodowi inne zaś cofnięte. Pozostawione pomiędzy nimi szczeliny muszą posiadać zróżnicowaną szerokość, mieszczącą się w zakresie od $0,1\text{--}0,5 \text{ m}$, która zapewnia pokonywanie rygli przez duże ryby, bez ryzyka ich kaleczenia się. Oprócz zasadniczych szczelin pozostaną pomiędzy ustawianymi głazami rygla (progu) również drobne szczeliny i przesmyki, z których korzystać będą przy dnje głównie małe ryby oraz organizmy bezkręgowce. Dzięki zróżnicowanej wielkości szczelin i nieregularnemu ułożeniu głazów o nierównej wysokości, woda przepływała będzie pomiędzy nimi strugami o różnej sile prądu. Głazy rygla niższe od pozostałych ustalają poziom wody w basenie. Może się ona częściowo przelewać ponad nimi, podczas gdy wierzchołki pozostałych głazów rygla muszą wystawać nieco ponad powierzchnię wody. Szybkość jej przepływu będzie dodatkowo wyhamowywana przez ułożone w basenach pomiędzy progami pojedyncze kamienie o średnicy $0,4\text{--}0,7 \text{ m}$. Luźna konstrukcja progów sprawia, że w szczelinach przy dnje prędkości przepływu wody są znacznie mniejsze. Ważną rolę pełni tutaj warstwa drobnych i dużych kamieni o średnicy od $0,05$ do $0,30 \text{ m}$, które wyścielają dno przepławki. Grubość tej warstwy nie może być mniejsza niż $0,20 \text{ m}$. Bardzo ważne jest zachowanie zmiennej wysokości korony progów, co różnicuje grubość przelewających się strugów wody oraz je koncentruje. Podobnie ważnym elementem decydującym o możliwościach przemieszczania się małych ryb oraz innych organizmów wodnych jest zachowanie łączności dna przepławki z dnem rzeki poniżej i powyżej progów. Oznacza to, że przepławka nie może kończyć się gwałtownym uskokiem (stopniem) lecz łagodnie, przechodzić w dno rzeki poniżej i powyżej piętrzenia. Połączenie dna górnej wody z dnem przepławki może być ukształtowane w formie ograniczonego bocznymi ściankami stożka o nachyleniu nie większym jak $1:2$. Wykluczone jest pozostawienie gwałtownego uskoku. Poziom wody w pierwszej górnej komorze przepławki musi być identyczny z poziomem górnej wody. Bardzo ważne jest aby najniższa głębokość wody w komorze

(basenie) miała co najmniej 0,80 m lub była większa. Szerokość przepławki musi wynosić co najmniej $b = 2,00$ m, lecz korzystniejsza byłaby szerokość $b = 2,50\text{--}3,00$ m.

Podstawowe dane techniczne przepławki ryglowej:

- przepływ wody $Q \geq 150 \text{ l s}^{-1}$ na 1 m szerokości przepławki,
- nachylenie $i = 0,080\text{--}0,068$ albo inaczej 1:12–1:15,
- szerokość przepławki $b \geq 2,00$ m,
- długość basenów (komór) $l_b \geq 2,0$ m,
- różnica poziomu wody pomiędzy sąsiednimi basenami $\Delta h_b \leq 0,12\text{--}0,15$ m,
- maksymalna szybkość przepływu wody $V_{\max} = 1,5\text{--}1,7 \text{ m s}^{-1}$,
- minimalna głębokość wody w basenach $h_b \geq 0,8$ m,
- długość dłuższego boku głazów progu (rygla) 0,9–1,2 m,
- w basenach pojedyncze kamienie o średnicy 0,4–0,7 m,
- substrat na dnie przepławki, kamienie o średnicy 0,05–0,30 m,
- miąższość (grubość warstwy) substratu na dnie $\geq 0,20$ m,
- nachylenie stożka łączącego dno przepławki z dnem zbiornika powyżej jazu oraz poniżej stopnia wlotowego 1:2,
- szerokość szczelin progu (rygla) 0,1–0,5 m.

Uwaga: użycie przy podawanych parametrach technicznych przepławki znaku \leq lub \geq oznacza, że są to skrajne, graniczne wartości, które bezwzględnie muszą zostać dotrzymane. Możliwa jest natomiast zmiana tych parametrów na bardziej korzystne w odniesieniu do wymagań ichtiofauny, jak np.: długość basenów $l_b = 3,0$ m; różnica poziomów pomiędzy sąsiednimi basenami $\Delta h_b = 0,10$ m. Liczyć się jednak należy wówczas z koniecznością wydłużenia przepławki i w związku z tym poniesienia na jej budowę wyższych kosztów.

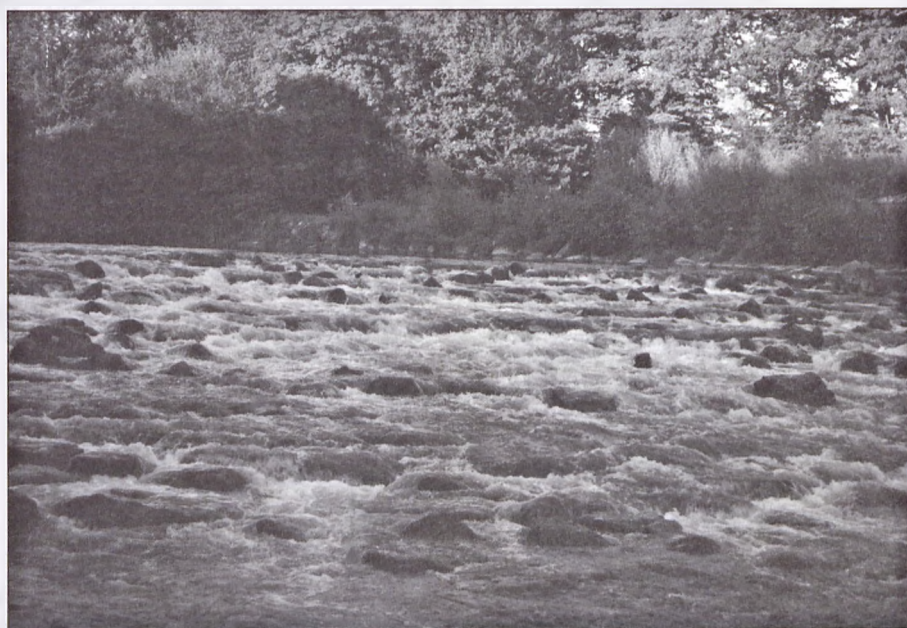
Bystrotok (rampa)

Bystrotoki (rampy) konstruowane są w formie kaskady niskich, poprzedziela-nych głębszymi basenami progów wykonanych z luźno ustawianych na sztorc obok siebie głazów (rampy ryglowe – ryc. 3), albo w formie pochylni usypanej warstwowo z kamieni i głazów różnej wielkości (rampy narzutowe – ryc. 4). Mogą posadowane być na całej szerokości rzeki lub prowadzone przy jednym z brzegów i ograniczane od strony nurtu i zapory betonową ścianką działową. Wówczas również mogą mieć betonowe dno, w które wmurowane są lub rozrzucone na jego powierzchni kamienie i głazy, decydujące o wyhamowaniu i różnicowaniu szybkości przepływu wody. Pokrywająca ich dno odpowiednio gruba warstwa żwiru i kamieni zapewnia zachowanie szczelinowej struktury dna.

Z wyjątkiem tych betonowych, zintegrowanych z przegrodą i przypominających dawne przepławki, w których betonowe przegrody zastąpione zostały celowo rozlokowanym kamiennym substratem, klasyczne rampy posadowane na całej szerokości rzeki są luźnymi konstrukcjami. Swą stabilność zawdzięczają wzajemnemu klinowaniu tworzących je kamieni, które na progach ryglowane są głęboko w dnie rzeki. Dodatkowo stabilizować je można w razie potrzeby bitymi w dno stalowymi łarsenami albo drewnianą palisadą. Dzięki takiej budowie są elastyczne, odporne na erodujące działanie wody i osiadanie. Charakteryzują się stosunkowo niskimi kosztami budowy i konserwacji. Budowane są bez zatrzymywania przepływu wody i układane od dołu w górę rampy. Powstające na skutek działania wielkich wód ubytki łatwe są do naprawienia, gdyż ograniczają się do podsypiania kamieni w wymyte miejsce. Przesunięte wodą kamienie klinują się w dole rampy zwiększając jej stabilność.



Ryc. 3. Przeławka dla ryb w formie bystrotoku – rampa ryglowa (fot. W. Wiśniewski).



Ryc. 4. Przeławka dla ryb w formie bystrotoku – rampa narzutowa (fot. W. Wiśniewski).

Na podstawie modelowych pomiarów Whittaker i Jaggi (1986) zaproponowali kryterium pozwalające określić, w którym momencie może nastąpić rozmycie i zniszczenie luźnej rampy kamiennej. Kryterium tym jest wielkość krytycznego przepływu, wyznaczana z równania

$$Q_{\text{kryt.}} = 0,257 \sqrt{\frac{P_k - P_w}{P_w}} \cdot \sqrt{g} \cdot i^{-7/6} \cdot d_{65}^{3/2} \quad \text{przy } d_{65} = d_k/1,06$$

gdzie:

$Q_{\text{kryt.}}$ – dolna granica przepływu, przy której może nastąpić zniszczenie rampy ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)

d_{65} – średnica kamieni tworzących rampę, dla 65% przesiewu

P_k – gęstość kamieni (kg m^{-3})

P_w – gęstość wody (kg m^{-3})

d_k – równoważna kulista średnica kamieni (m)

i – nachylenie rampy.

Kryterium to charakteryzuje przepływ rwący na rampie, czyli przy określonym przepływie jego maksymalną prędkość. Jeśli wartość $Q_{\text{kryt.}}$ liczona jest dla przepływów niskich, autorzy zalecają w celach bezpieczeństwa zwiększenie jej o 10–20%. Nie jest to konieczne gdy obliczenia wykonywane są dla wód wysokich. Dobrawszy do warunków krytycznego przepływu wielkość kamieni, bezwzględnie pamiętać należy o tym, że zastosowanie do budowy rampy jednorodnych, wyrównanych pod względem wielkości kamieni zapewni wprawdzie jej odpowiednią stabilność, lecz równocześnie stworzy pomimo ogólnie znacznej szorstkości generalnie równą płaszczyznę. Inicjowała będzie ona wytworzenie się niekorzystnych dla ichtiofauny warunków przepływu, charakteryzowanych niską głębokością oraz silnym prądem wody. Dopiero umieszczenie na takiej rampie dużych kamieni i głazów, rozrzuconych pojedynczo i grupami, spowoduje powstanie zróżnicowanych, korzystnych dla ryb warunków przepływu, a także głębszych miejsc w obrębie samej rampy.

Rampa ryglowa

Rampa ryglowa jest konstrukcją tworzoną przez częściowo zatopione progi z kamieni, oraz tworzące się pomiędzy nimi baseny. Próg górny rampy oparty jest od strony górnej wody o przegradzający rzekę stary próg i może posadowiony być na gabionach. Następne progi schodzą w dół rzeki wspierając się o poszur, zaś ostatnie ryglowane są poniżej poszuru w dnie rzeki. Progi stanowią luźną konstrukcję tworzoną przez osadzone na sztorc w podłożu podłużne głazy, o wymiarze dłuższej krawędzi około 0,9–1,2 m. Na około 2/3 do 1/2 swej długości są wpuszczane w podłoże i ryglowane pomiędzy całkowicie zagłębionymi w nim, podobnymi im wielkością głazami. Całość spoczywa na podkładzie tworzoną przez otoczaki lub kamień łamany o średnicy 0,20–0,40 m. Kamienie podkładowe układane być muszą co najmniej podwójną warstwą, zaś miąższość całego blokującego próg rygla sięgać powinna w podłoże nawet na głębokość 2,0–3,0 m.

Tworzące próg głazy osadzone są obok siebie tak, że pomiędzy nimi pozostają wolne szczeliny. Ich szerokość wahać się powinna w zakresie 0,05–0,50 m. To wraz z nierównomierną, zróżnicowaną w zakresie 0,10 do 0,20 m wysokością korony progu sprawia, że przepływ wody jest nieregularny, rozbity na skoncentrowane strugi o różnej grubości oraz szybkości przepływu, co jest niezbędne dla możliwości pokonania rampy przez wędrujące ryby i organizmy bezkręgowce. Dodatkowym czynnikiem wpływającym na zróżnicowanie warunków przepływu wody na przejściu, jest prowadzenie progów w formie krzywizny lekko wypukłej pod prąd wody. Wpływa

to również na zwiększenie stabilności progów i zwiększenie odporności na erozyjne działanie wody. Temu służą również podpierające próg ostrogi, wykonane z takich samych jak próg głazów. Progi łączą się harmonijnie z brzegami umocnianymi kamieniem łamanym i nasadzeniami wikliny. Pomiedzy progami powstają baseny o minimalnej głębokości wody 0,6–0,7 m. Następuje w nich znaczne wytracenie energii wody, czemu również sprzyja rozłożenie w nich pojedynczych, dużych kamieni o średnicy 0,5–0,7 m. Baseny są równocześnie miejscem schronienia i wypoczynku dla pokonującej przejście ichtiofauny. Musi być ono tak skonstruowane aby funkcjonowało również w okresie niskich stanów wody w rzece.

Parametry techniczne rampy ryglowej zaproponowanej na rzece Warta dla progów w Tyczynie (Wiśniewolski i Bontemps 1996):

- szerokość $b = 32$ m, co odpowiada szerokości rzeki,
- długość $l = 32$ m,
- nachylenie = 1:20–1:30,
- 8 luźnych progów z głazów o wymiarach dłuższego boku 0,9–1,2 m,
- szerokość szczelin pomiędzy głazami progów 0,05–0,50 m,
- 7 basenów o długości 3,5–5,0 m,
- minimalna głębokość w basenie 0,6–0,7 m,
- podkład rampy oraz dno basenów z kamieni o średnicy 0,2–0,4 m,
- nieregularnie rozłożone w basenach pojedyncze kamienie o średnicy 0,5–0,7 m,
- różnica poziomu wody pomiędzy basenami $\Delta h = 0,10$ – $0,15$ m,
- maksymalna szybkość przepływu na koronie progów $V_{\max} = 1,4$ – $1,5$ m s⁻¹, redukująca się w basenach do około 0,4–0,6 m s⁻¹,
- progi i rampa łączą się łagodnie z umacniającym brzegi narzutem kamieni,
- brzegi od linii wysokiej wody umocnione dodatkowo sadzonkami wikliny,
- progi wysunięte przeciw prądowi łagodną, nieregularną krzywizną o promieniu $R = 3/2b$ lub $R = 2b$, zaś wysokość tworzących ich koronę głazów zróżnicowana w zakresie 0,10–0,20 m.

Rampa narzutowa

Warunki przepływu panujące w rzekach nizinnych oraz charakter ich z reguły luźnego podłoża, były podstawą zaproponowania przez Geblera (1991) rampy narzutowej o niezwiązanej konstrukcji, przeznaczonej dla rzek o podłożu podatnym na erozję. Wzorując się na propozycji tego autora opracowano koncepcję takiej rampy dla warunków progów wodnego w Tyczynie na Warcie (Wiśniewolski i Bontemps 1996). Zaprojektowana rampa składa się z dwóch części podstawowych – rampy właściwej o nachyleniu jak 1:10 (korzystniejsze jest nachylenie mniejsze np. 1:20) oraz przechodzącej w dno rzeki strefy przejściowej, o takim samym lecz odwrotnym w stosunku do rampy nachyleniu.

Rampa właściwa wykonana jest z luźno narzuconych 2–3 warstw kamienia łamanego o średnicy 0,2–0,4 m. Ich średnicę wyliczono dla Q_{kryt} i można ją w celu zwiększenia marginesu bezpieczeństwa rampy, przesunąć do zakresu 0,3–0,5 m. Pomiedzy nimi osadzone są w postaci nieregularnych, luźnych, poprzerrywanych lukami progów głazy o wymiarach około 0,9–1,2 m. Sprawiają one, że przepływ wody staje się nieregularny, różnicując się w poszczególnych miejscach rampy szybkością oraz intensywnością, a pomiędzy progami powstają baseny o zwiększonej głębokości wody. Cechą charakterystyczną tej konstrukcji jest jej elastyczność, zaś kamienie same klinują się pomiędzy sobą. Jeśli któreś zostaną przesunięte wysoką wodą, klinują się w dole rampy. Ubytki łatwo jest uzupełnić przez narzucenie nowych

kamieni. Budowa tego typu rampy nie wymaga zatrzymania wody. Narzucanie kamieni i osadzanie głazów odbywa się od strony dolnej wody w górę rampy.

Ważną funkcję spełnia przegłębienie u podstawy rampy, które wpływa na stabilizację odsłoku hydraulicznego, wytlumianie fal, wyrównanie przepływu w przekroju i zmniejszenie turbulencji. Rozpoczyna się nim strefa przejściowa. Wykonywana jest ona z tych samych kamieni co rampa, jednak ich średnica zmniejsza się stopniowo aż do wartości d_{65dw} , wyliczanej z zaproponowanego przez Knauss'a (1979) wzoru $d_{65dw} = 0,04V_{mdv}^2$. Przegłębienie wypłyca się stopniowo aż do poziomu dna rzeki, z takim samym jak rampa lecz odwrotnie skierowanym nachyleniem.

Rampa oraz strefa przejściowa posadowione są na warstwie filtrującej z tłucznia oraz grubego żwiru. Sporządzając tę warstwę należy przestrzegać następujących zasad:

- średnica kamieni wierzchniej części $d_{15} \leq 5d_{85}$ średnicy kamieni dolnej części (d_{15} i d_{85} odpowiednio dla 15% i 85% przesiewu),
- średnica kamieni części wierzchniej d_{50} /średn. kamieni części dolnej $d_{50} \leq 25$ (d_{50} dla 50% przesiewu).

Podstawa rampy może być dodatkowo wzmocniona osadzonymi w dno na 2,0–3,0 m głazami (0,9–1,2 m). Brzegi na poziomie wysokiej wody umacniane dodatkowo szalunkami wkliny.

Przeplawka szczelinowa

Ten typ przeplawki opracowany został w drugiej połowie XX wieku na kontynencie północnoamerykańskim, z przeznaczeniem dla gatunków wędrownych ryb łososiowatych (Clay 1961). Rozwiązanie to przeniesione zostało do Europy i zastosowane na piętrzeniach Loary i Dordoni we Francji. Okazało się przy tym, że dobrze funkcjonuje ono w odniesieniu nie tylko do troci i łososia, lecz również w odniesieniu do ryb karpiowatych (Gebler 1991 za Lepetit i in. 1988).

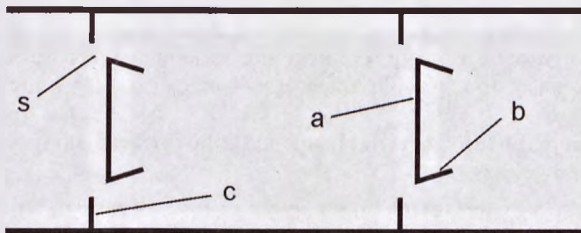
Przeplawka szczelinowa (ryc. 5) stanowi modyfikację klasycznej przeplawki komorowej, w której otwory przelewowe i przesmykowe zastąpione zostały jednostronnie lub dwustronnie ułożoną pionowo szczeliną, otwartą na całej wysokości przegródy, to jest od dna komory aż po górną krawędź ścianki działowej. Dzięki temu funkcjonowanie przeplawki mniej uzależnione jest od wahań poziomu wody, a szczeliny przesmykowe znacznie rzadziej zatykane są nanoszonymi z wodą przedmiotami, w porównaniu do klasycznych przeplawek komorowych. Szerokość szczeliny uzależniona jest od rozmiarów ryb, które mają korzystać z przeplawki, zaś jedno- czy dwustronna lokalizacja wynika z ilości dostępnej wody. Gdy jest jej dużo wykonuje się dwie szczeliny.

Przedstawiany poniżej opis dotyczy koncepcji szczelinowej przeplawki dla ryb proponowanej dla Stopnia Wodnego Przysieka na Nysie Łużyckiej (Wiśniewolski 1997b). Wymiary poszczególnych elementów konstrukcyjnych przeplawki (ryc. 6), to jest szerokość poprzecznych przegród działowych (a), długość i szerokość kończącego je, skierowanego przeciw prądowi wody hakowatego zagięcia (b) oraz usytuowanej na ścianie bocznej komory listwy łamiącej (c) i odbijającej prąd wody ku środkowi komory, wynikają z szerokości szczeliny (s), która wynosi $s = 0,30$ m. Zmniejszenie tych wymiarów prowadziłoby do zwiększenia turbulencji i pogorszenia warunków przepływu wody i tym samym obniżenia skuteczności działania przeplawki. Wymiary dostosowane są do zespołu ichtiofauny, w którym oprócz stacjonarnych ryb łososiowatych i reofilnych karpiowatych występują również troć i łosoś.

Nieprzekraczalnym warunkiem jest zachowanie nachylenia przeplawki, które nie może być większe jak $i \leq 1:10$ (wskazane jest mniejsze jako korzystniejsze dla



Ryc. 5. Przeławka szczelinowa (fot. PZW).



Ryc. 6. Schemat konstrukcji przeławki szczelinowej (objaśnienia oznaczeń w tekście).

ichtiofauny), zaś przy takiej strukturze gatunkowej zespołu ryb różnica poziomów pomiędzy sąsiadującymi ze sobą komorami musi wynosić $\Delta h_k \leq 0,20$ m. Przy różnicy poziomów wody górnej i dolnej, która wynosi $\Delta H_s = 6,0$ m, niezbędna liczba komór wyniesie: $n = \Delta H_s / \Delta h_k - 1 = 29$.

Wymagana liczba komór oraz ich rozmiary dostosowane dla troci i łososia a także zaprojektowane 3 komory spoczynkowe o podwójnej długości w stosunku do komór standardowych, spowodowały wydłużenie przepławki do około 115 m i dwukrotne zmniejszenie jej nachylenia, co dla wędrówek ryb jest bardzo korzystne. Przegrody dzielące poszczególne komory mogą być wykonane z betonu, z którego również uformowane będzie hakowate zagięcie skierowane przeciw prądowi wody. Betonowa może być również listwa łamiąca prąd wody. Dno komór musi być pokryte substratem, będącym mieszanką grubego żwiru i kamieni o zróżnicowanej średnicy od 0,05 m do 0,25 m. Przed umieszczeniem substratu w każdej z komór rozmieścić należy nieregularnie po kilka dużych kamieni o średnicy 0,30–0,50 m, które by zachowały stabilne położenie, wciskane są w beton dna przed jego stwardnieniem. W komorach spoczynkowych dużych kamieni powinno być więcej. Znajdujące się na początku i końcu przepławki tak zwane komory wstępne, pozwalają na łagodne przechodzenie dna przepławki w dno rzeki poniżej i powyżej. Uzyskuje się to przez uformowanie z tego samego substratu, który był użyty w przepławce, usypiska o nachyleniu nie większym jak 1:2. Ma to duże znaczenie dla możliwości pokonywania przepławki przez młode i drobne ryby, gdyż w swej wędrówce przede wszystkim wykorzystują one system luk i szczelin w strukturze dna.

Parametry techniczne przepławki szczelinowej jednostronnej proponowanej dla Stopnia „Przysieka”:

- wysokość piętrzenia $\Delta H_s = 6,0$ m,
- długość przepławki 115 m,
- nachylenie $i = 1:19$,
- liczba komór 29 (26 roboczych i 3 spoczynkowe),
- wymiary komory roboczej 3,35 x 2,12 m,
- długość komór spoczynkowych podwójna w stosunku do komór roboczych,
- szerokość szczeliny $s = 0,30$ m,
- różnice poziomu wody pomiędzy komorami $\Delta h_k \leq 0,20$ m,
- minimalna głębokość wody w komorze $h \geq 0,80$ m,
- szerokość ścianki działowej komory do hakowatego zagięcia 1,41 m,
- hakowate zagięcie przeciwprądowe 0,14 x 0,21 m,
- przytwierdzona do bocznej ściany komory listwa łamiąca prąd wody 0,21 x 0,28 m,
- wysokość listwy = wysokości ścianki działowej,
- odsunięcie górnej krawędzi listwy łamiącej od linii będącej przedłużeniem krawędzi ścianki działowej od strony dolnej wody 0,10 m,
- na dnie przepławki pojedyncze kamienie o średnicy 0,30–0,50 m,
- substrat wyścielający dno przepławki: żwir i kamienie o średnicy 0,05–0,25 m,
- miąższość substratu na dnie przepławki nie mniejsza niż 0,20 m,
- nachylenie przejścia dna przepławki w dno górnej i dolnej wody nie większe jak 1:2.

Przy tak zaprojektowanych wymiarach przepławki orientacyjny przepływ przez nią wody wynosił będzie:

$$Q = 2/3 \mu \sqrt{2g} h^{3/2} = 2/3 \cdot 0,75 \cdot 0,30 \cdot 4,4294 \cdot 0,803/2 = 0,475 \text{ m}^3/\text{s}$$

Przedstawiony przykład koncepcji rozwiązań przepławki szczelinowej dla stopnia Przysieka na Nysie Łużyckiej, może być stosowany na rzekach o różnych wielkościach przepływu. Konstrukcje o dwu szczelinach stosowane są na łososiowych rzekach Ameryki Północnej (Clay 1961). Jest to rozwiązanie wymagające dużych ilości wody i możliwe do wykonywania na dużych rzekach.

Zakończenie

Opisywane przepławki dla ryb wykonywane mogą być jako urządzenia samodzielne, lub zintegrowane z jazem piętrzącym. Ich lokalizacja względem głównej strugi przepływu rzeki oraz ilość stale przepływającej przez nie wody, mają decydujące znaczenie dla możliwości znalezienia przez ryby wejścia do przepławki. Istotne znaczenie ma przy tym zachowanie ekologicznego połączenia dna przepławki z dnem rzeki na dolnym i górnym stanowisku. Natomiast sama konstrukcja, zwłaszcza nachylenie przepławki, decydują o sile przepływającego nią prądu wody i możliwości pokonania przez ryby urządzenia. Kapitalne znaczenie dla możliwości migracji fauny posiada przy tym luźna konstrukcja dna przepławki. Wykonywane jest ono z narzutu kamieni o różnicowanej średnicy tworzących system luk i szczelin, w których szybkość przepływu wody jest kilkakrotnie niższa od podawanych wcześniej dopuszczonych maksymalnych wartości odnotowanych na koronach progów przepławki (Adam i in. 1994, Gebler 1991, Jens 1997).

Przepławki są urządzeniami przywracającymi utraconą w wyniku poprzecznej zabudowy ciągłość ekologiczną ekosystemu rzeki. Istnieje wiele przykładów skutecznego funkcjonowania przepławek (Adam i in. 1994, Eberstaller i in. 1998, Gebler 1991, Mader i in. 1998, Sakowicz i Żarnecki 1954, Steiner 1998). Istnieją też liczne przykłady ich złego funkcjonowania (Pelz 1985, Sakowicz i Żarnecki 1954, Tichij 1928, Wiśniewolski 1992). Wynikać może ono nie tylko z wad konstrukcji lecz również być konsekwencją zniszczenia ekologicznej ciągłości ekosystemu rzeki.

Przypadki złego funkcjonowania przepławek mogą prowadzić do niebezpieczeństwa formułowania skrajnych wniosków o niecelowości budowy tych urządzeń. Przykładem tego są obserwacje Pelz'a (1985), badającego efektywność funkcjonowania przepławek w systemie Mozeli, która zabudowana kaskadą stopni wodnych tylko na pewnych odcinkach zachowuje swój rzeczny charakter. Podnoszony jest przy tym argument, że ryby po pokonaniu przepławki nie znajdują lepszych warunków, bowiem warunki w poszczególnych piętrzonych odcinkach rzeki są takie same. Pogląd ten spotyka się z krytyką (Gebler 1991, Eberstaller i in. 1998), w której zwraca się uwagę iż formułując powyższy wniosek zignorowano fakt istnienia ekologicznej ciągłości rzeczno-ekosystemu i roli jaką dla utrzymania biologicznej różnorodności zespołów fauny rzecznej, zwłaszcza reofilnych gatunków, pełnią niespiętrzone odcinki oraz uchodzące do rzeki głównej nawet jej najdrobniejsze dopływy. Uzasadnień podważających przytaczany wniosek o niecelowości budowy przepławek, dostarczają obserwacje funkcjonowania dwóch przepławek ekologicznych zlokalizowanych na kanale „Marchfeldkanal”, omijającym jedną z zapór austriackiego odcinka Dunaju. W 1995 roku z przepławek tych skorzystało 31335 i 57278 osobników ryb należących do 34 gatunków (Mader i in. 1998).

Przywracanie ekologicznej ciągłości ekosystemów rzecznych stanowi niezbędny warunek możliwości ochrony oraz zachowania biologicznej różnorodności zasiedlających je zespołów reofilnych organizmów. Jednym ze środków służących realizacji tego celu jest budowa przepławek dostosowanych swą konstrukcją do możliwości biologicznych gatunków tworzących zespół rzecznej fauny. Wskazując na obowiązek budowy przepławek należy zdecydowanie podkreślić, że chociaż przepławki są rozwiązaniem, bez którego nie jest możliwa realizacja celów ochrony, nawet najlepiej funkcjonująca przepławka nie zrekompensuje warunków niespiętrzonej rzeki. Dlatego podejmując decyzję o przegrodzeniu rzeki zawsze należy rozważyć jakie skutki niesie to w odniesieniu do środowiska. W przypadku występowania szczególnie cennych walorów przyrodniczych należy zrezygnować z jej przegrodzenia. Jeśli przemawiają za nim inne ważne względy, zawsze zamiast jednego wysokiego piętrzenia

przedkładać należy budowę kilku niskich progów (Gebler 1991). Ich konstrukcja musi umożliwiać swobodne wędrówki rzecznej fauny, względnie wyposażone być one muszą w prawidłowo wykonaną przepławkę. Rzadko występują warunki uzasadniające rezygnację z budowy przepławki. Zachowanie drożnych ekologicznie i zróżnicowanych siedliskowo ekosystemów rzecznych, niosących czyste wody, stanowi warunek powodzenia ochrony i restytucji zespołów rzecznej ichtiofauny.

Literatura

- Adam B., Bosse R., Dumont U., Gebler R. J., Geitner V., Hass H., Krüger F., Rapp R., Sanzin W., Schaa W., Schwevers U. i Steinberg L. 1994. Fischaufstiegsanlagen. DVWK Merkbl. z. Wasserwirtsch. 144 s.
- Backiel T. 1964. Populacje ryb w systemie rzeki Drwęcy. Roczn. Nauk. Rol. 84, B, 2, 193–211.
- Backiel T. 1993. Ichtyofauna dużych rzek – trendy i możliwości ochrony. W: Tomiałojć L. Ochrona przyrody i środowiska w dolinach nizinnych rzek Polski. Wydawnictwo Instytutu Ochrony Przyrody PAN Kraków, 39–48.
- Bartel R. 2002. Ryby dwuśrodowiskowe, ich znaczenie gospodarcze, program restytucji tych gatunków. Suppl. ad Acta Hydrobiol., 3, 37–55.
- Baxter G. 1961. River utilisation and the preservation of migratory fish life. Proc. Inst. Civil Engre 18, 225–244.
- Bless R. 1978. Bestandsänderungen der Fischfauna in der Bundesrepublik Deutschland – Ursachen, Zustand und Schutzmassnahmen. Kilda Verlag, Greven, Deutschland, 66 s.
- Bless R. 1985. Zur Regeneration von Bächen der Agrarlandschaft. Eine ichthyologische Fallstudie. Schr.-reihe f. Landschaftspf. u. Naturschutz, 26, 80 s.
- Bless R. 1990. Die Bedeutung von gewässerbaulichen Hindernissen im Raum-Zeit-System der Gruppe (*Cottus gobio* L.). Natur u. Landschaft, 65 Jg., 12.
- Bless R. 1992. Einsichten in die Ökologie der Elritze (*Phoxinus phoxinus* (L)). Praktische Grundlagen zum Schutz einer gefährdeten Fischart. Scht.-Reihe f. Landschaftspflege u. Naturschutz. 35, 68 s.
- Buras P., Woźniewski M., Szlakowski J. i Wiśniewolski W. 2001. Ryby systemu Nidy – stan aktualny, zagrożenia i możliwości ochrony. Roczn. Nauk. PZW, 14 Suplement, 213–233.
- Clay C.H. 1961. Fishways and other Fish Facilities. The Department of Fisheries of Canada, Ottawa, Queens Printer, Ottawa, Canada.
- Eberstaller J. 1993. Problematik und Lösungsansätze im Rahmen der ökologischen Begleitplan am Beispiel zweier Ausleitungskraftwerke an der Pöls. Diplomarbeit am Universität f. Bodenkultur in Wien.
- Eberstaller J., Hinterhofer M. i Parasiewicz P. 1998. The effectiveness of two nature-like bypass channels in an upland Austrian river. Fish Migration and Fish Bypasses, Fishing News Books, 363–383.
- Frischholz E. 1924. Anlage und Betrieb von Fischpässen. Hdb. d. Binnenfischerei Mitteleuropas, Bd. 6.
- Gebler R.J. 1991. Naturgemässe Bauweisen von Sohlenbauwerken und Fischaufstiegen zur Vernetzung der Fliessgewässer. Mitteilungen, Inst. f. Wasserbau u. Kulturtechnik, Universität Fridericiana Karlsruhe, 145 s.
- Hafner E. 1995. Naturnahe Gestaltung von Fischaufstiegen. Wasserwirtschaft 85, 12, 616–618.
- Jens G. 1981. Funktion, Bau und Betrieb von Fischpässen. Arb. Deutsch. Fischereiverb., 32, 27 s.
- Jens G., Born O., Hohlstein R., Kämmerleit M., Klupp R., Labatzki P., Mau G., Seifert K. i Wondrak P. 1997. Fischwanderhilfen. Notwendigkeit, Gestaltung, Rechtsgrundlagen. Schriftenreihe, Verband Deutscher Fischereiverwaltungsbeamter u. Fischereiwissenschaftler e. V., 11, 114 s.
- Jungwirth M. i Winkler H. 1983. Die Bedeutung der Flußbettstruktur für Fischgemeinschaften. Österreichische Wasserwirtschaft, J. 35, H. 9/10, 229–234.
- Jungwirth M. i Pelikan Z. 1989. Zur Problematik von Fischaufstiegshilfen. Österr. Wasserwirtschaft, 41, 80–89.

- Knauss J. 1979. Flachgeneigte Abstürze, glatte und rauhe Sohlrampen. Versuchsanstalt f. Wasserbau der TU München, Bericht Nr 41, 1-55.
- Knauss J. 1980. Neuere Beispiele für Blocksteinrampen an Flachlandflüssen. Bericht des Oskar W. Müller Instituts, München, Nr 45.
- König D. 1969. Biologisch-landschaftliche Aspekte bei wasserwirtschaftlichen Maßnahmen an Fließgewässern. Deutsch. Gewässkundl. Mitteil., Sonderheft.
- Krüger F., Labatzki P. i Steild J. 1993. Naturnahe Gestaltung von Fischaufstgsanlagen. Beispiele in Brandenburg. Wasserwirtschaft/Wassertechnik, 1, 27-33.
- Lassleben P. 1977. Das Schätzverfahren für Fischwässer nach Léger und Huet. Österreichs Fischerei, 28, 53-64.
- Lubieniecki B. 2002. Przeplawki i drożność rzek. Wydawnictwo IRS Olsztyn, 83 s.
- Lubieniecki B. i Steinberg L. 1987. Die Auswirkungen von anthropogenem Gewässerversauerungen auf die Ichtiofauna - insbesondere der Bachforelle (*Salmo trutta* f. *fario* L.) - in ausgesuchten Mittelgebirgsbächen. Fishwirt, 37, 4 (25-30), 5 (33-38).
- Mader H., Unfer G. i Schmutz S. 1998. The effectiveness of natur-like bypass channels in a lowland river, the Marchfeldkanal. Fish Migration and Fish Bypasses, Fishing News Books, 384-402.
- Pelz G.R. 1985. Fischbewegungen über verschiedenartige Fischpässe am Beispiel der Mosel. Courier Forschungsinstitut Senkenburg, 76, 90 s.
- Penczak T. 1988. Ichtiofauna dolnego biegu Rawki. Roczn. Nauk PZW., 1, 61-72.
- Penczak T., Marszał L., Kruk A., Koszaliński H. i Zaczyński A. 1996. Monitoring ichtiofauny dorzecza Pilicy. Część II. Pilica. Roczniki Naukowe Polskiego Związku Wędkarskiego, 9, 91-104.
- Rudek J.H. 1974. Gefährdete Wierbeltierarten - Fische - Ursachen und Auswege. Landschaftspf. u. Naturschutz in Thüringen, 11, 1, 3-11.
- Sakowicz S. i Zarnecki S., 1954. Przeplawki komorowe. Biologiczno-rybackie zasady projektowania. Roczn. Nauk Rol., 69, D, 172 s.
- Schiemenz F. 1950. Wie soll das Untererde der Fischtreppe in das Hauptgewässer einmünden? Versuche mit Glasaalen. Wasserwirtsch., 40, 130-135.
- Schiemenz F. 1959. Das Schwimmen der Fische in Fischtreppen und die günstige Gestalt der Durchlässe und Becken in den Fischtreppen. Zeitschr. F. Fischerei, 8, 1-3.
- Sprengel G. i Lüchtenberg H. 1991. Infection by endoparasites reduces maximum swimming speed of European smelt *Osmerus eperlanus* and European eel *Anguilla anguilla*. Dis. Aquat. Org 11, 31-35.
- Stahlberg S. i Peckmann P. 1986. Bestimmung der kritischen Strömungsgeschwindigkeit für einheimische Kleinfischarten. Wasserwirtsch., 76, 718.
- Starmach K., 1964. Rybacka i biologiczna charakterystyka rzek. Pol. Arch. Hydrobiol. 3, 307-332.
- Steiner H.A. 1998. Fish passes at Run-of-river hydropower plants of the verbund. Fish Migration and Fish Bypasses, Fishing News Books, 420-434.
- Stuart T.A. 1962. The leaping behaviour of salmon and trout at falls and obstructions. Freshwater Salmon Fisheries Research, 28, 46.
- Tichij M. 1928. Ziemo-Awralskij rybopodjom i lososiowoje rybolowstwo w r. Kurie. Izw. Otd. Prikl. Ichtiobio., VIII.
- Weaver C.R. 1963. Influence of water velocity upon orientation of adult migrating Salmonids. Fish. Bull., 63, 1.
- Whittaker J. i Jäggi M. 1986. Blockschwellen. Mitteilungen der Versuchungsanstalt f. Wasserbau. Hydrobiologie und Glaziologie, ETH Zürich, 104.
- Wiśniewolski W. 1985. Populacja certy w świetle wieloletnich statystyk połowów. Gospodarka Rybna, 11, 3-6.
- Wiśniewolski W. 1987. Gospodarcze połowy ryb w Wiśle, Odrze i Warcie w latach 1953-1978. Roczn. Nauk Roln. H, 101, 71-114.
- Wiśniewolski W. 1992. Ochrona ryb wędrownych w Wiśle. Aura 3, 92-94.
- Wiśniewolski W. 1997a. Ekologiczne przejścia dla ryb, czyli możliwości przeciwdziałania niekorzystnym dla ichtiocenozy skutkom progowej zabudowy rzek. Materiały uzupełniające. Roczn. Nauk. PZW. Wędkarstwo w ochronie rybostanów, 127-136.
- Wiśniewolski W. 1997b. Założenia biologiczne wraz z koncepcją rozwiązań konstrukcyjnych przepławki dla ryb na piętrze Stopnia Wodnego Przysiek, na km 92,99 rzeki Nysa Łużycka. Hydroprojekt Warszawa Sp. z o. o., 20.

- Wiśniewolski W. 1999. Koncepcja konstrukcji przepławki dla ryb na jazie Stopnia Wodnego Dwory w 4+940 km Wisły, w okolicach Oświęcimia. Hydroprojekt Warszawa Sp. z o. o., 19 s.
- Wiśniewolski W. 2000. Ocena wpływu przegrodzenia potoku Lesk w Sędziszawiu na ichtiofaunę i konieczności budowy przepławki dla ryb. Starostwo Powiatowe w Kamiennej Górze, 18.
- Wiśniewolski W. 2002. Czynniki sprzyjające i szkodliwe dla rozwoju i utrzymania populacji ryb w wodach płynących. Suppl. ad Acta Hydrobiol., 3, 1–28.
- Wiśniewolski W. i Bontemps S. 1996. Ekspertyza dotycząca możliwości wykonania przepławki na progach rzeki Warta wraz z koncepcją rozwiązań technicznych. Polskie Towarzystwo Rybackie Poznań, 24.
- Witkowski A. 1996. Zmiany w ichtiofaunie polskich rzek: gatunki rodzime i introdukowane. *Zoologica Poloniae* 41, Suppl., 29–40.
- Wołos A., Teodorowicz M. i Mickiewicz M. 2000. Połowy wędkarskie w wybranych zbiornikach zaporowych Katowickiego Okręgu Polskiego Związku Wędkarskiego (wyniki rejestracji w latach 1994–1998). W: Mat. Konf. Międzynarodowej „Wybrane aspekty gospodarki rybackiej na zbiornikach zaporowych”. Gołysz, 15–16 maj 2000 r., 166–177.
- Żbikowski A. i Żelazo J. 1993. Ochrona środowiska w budownictwie wodnym. Warszawa, Agencja Wydawnicza Falstaff, 154 s.