

SCHEMATY BLOKOWE DO PROJEKTOWANIA WARUNKÓW STABILNOŚCI BIOLOGICZNEJ W PRZEPLĄWKACH

FLOWCHART FOR THE DESIGN OF BIOLOGICAL STABILITY CONDITIONS IN FISH LADDERS

Andrzej Strużyński, Leszek Książek, Jacek Florek

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Prace objęte opracowaniem dotyczą trzech typów obiektów: bystrotku kamiennego o zwiększonej szorstkości, bystrotku kamiennego kaskadowego oraz bystrotku kamiennego ze spocznikami. W ramach przedstawionego projektu wykonano pomiary laboratoryjne i modelowanie numeryczne pozwalające wskazać optymalne prędkości w przepławkach. Określono również rozmieszczenie strug wody i miejsca utrudniające migrację ryb oraz stabilność materiału dennego, umieszczonego w przepławkach. Na podstawie analizy wyników uzyskanych dzięki modelowaniu fizycznemu i komputerowemu ustalono punkty, w których należy przeprowadzić analizę parametrów granicznych prędkości. Celem przedstawionego projektu jest aplikacja uzyskanych wyników do algorytmu komputerowego, co ma umożliwić określenie warunków przejścia wybranych gatunków ryb przez przepławkę wraz z wyznaczeniem ewentualnych miejsc niemożliwych do pokonania. Aby ułatwić pracę, program „Przepławka 1” wyposażony został w graficzny interfejs użytkownika wspierający proces wprowadzania i edycji danych oraz prezentacji wyników. Moduł wprowadzania danych analizuje ich poprawność, przez co zmniejszone zostaje ryzyko niespodziewanych awarii oprogramowania i utraty raportu.

Abstract. The work included the development on the three types of objects which are: stone current with increased roughness, cascading stone current and the current with habitat elements. In this project, laboratory measurements and numerical modeling to determine the optimal speed in fishways was performed. As a result the current distribution and hindering of fish migration as well as the stability of bed material, was discovered. Based on the analysis of the results obtained from physical and computer modeling sensitive verticals were chosen to analyze the speed limit parameters. The aim of this project is to applicate obtained results into a computer algorithm for engineers establishing the pass conditions of selected fish with the determination of insurmountable zones. To facilitate the work of the

Adres do korespondencji – Corresponding authors: dr inż. Andrzej Strużyński, dr hab. inż. Leszek Książek, dr inż. Jacek Florek, Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, e-mail: rmstruzy@cyf-kr.edu.pl.

program "Przeplawka 1" is equipped with a graphical user interface supporting the process of entering and editing data and presentation of results. Data entry module analyzes their correctness, which reduced the risk of unexpected software crash and loss report.

Słowa kluczowe: przepławka, model fizyczny, modelowanie komputerowe, model numeryczny

Key words: fish ladder, laboratory model, computer modeling, numerical model

WSTĘP

Stosując się do wskazań Ramowej Dyrektywy Wodnej kraje członkowskie Unii Europejskiej starają się o poprawę funkcjonowania korytarzy ekologicznych dla ryb. Stojące im na drodze budowle piętrzące mogą być przez nie omijane dzięki przepławkom. Coraz więcej wiadomo o możliwościach pokonywania przeszkód wodnych przez ryby, dzięki czemu możliwe staje się poszukiwanie metod dokładnego określenia parametrów hydraulicznych przepławek, które otworzą rzeki przegrodzone budowlami piętrzącymi dla ryb zamieszkujących rzeki Polskie, a zwłaszcza rzeki dorzecza Wisły. Wydaje się, że najlepiej do tego celu nadają się przepławki zbudowane w formie obejść imitujących naturalne szorstkie bystrza, które mogą dodatkowo zawierać progi lub spoczniki wytwarzające lokalnie strefy zmniejszonych prędkości, gdzie ryby będą mogły odpoczywać. Prace laboratoryjne i modelowanie komputerowe przeprowadzone w Katedrze Inżynierii Wodnej i Geotechniki UR w Krakowie pozwoliły na zgromadzenie obszernego materiału badawczego umożliwiającego dobór optymalnych parametrów funkcjonowania przepławki dla ryb. W tym celu opracowany został program komputerowy oparty na przygotowanych wcześniej schematach obliczeń hydraulicznych.

CHARAKTERYSTYKA OBIEKTÓW BADAWCZYCH

Prace objęte opracowaniem dotyczą trzech typów obiektów; są to:

1. bystrotok kamienny o zwiększonej szorstkości,
2. bystrotok kamienny kaskadowy,
3. bystrotok kamienny ze spocznikami.

Omawiane obiekty odzwierciedlają parametry hydrauliczne i morfologiczne mierzone w rzekach będących przedmiotem inwestycji. Z czasem we wszystkich trzech typach omawianych budowli mogą pojawić się mikrosiedliska, zmieniające niejako przepławkę w boczną odnogę rzeki [Jelonek 2010]. W takim przypadku przepławka dodatkowo poprawia funkcjonowanie odtworzonego przez człowieka korytarza ekologicznego.

Pierwszy z omawianych typów budowli może być zrealizowany z niewielkim spadkiem, ponieważ prędkość przepływającej wody ograniczana jest jedynie poprzez opory przepływu występujące nad dnem szorstkim (rys. 1.).

U-kształtne dno proponowanych przepławek umożliwia powstawanie obszarów o zróżnicowanej prędkości, co pozwala na pokonywanie przepławki nie tylko przez osobniki silne (w nurcie), ale też przez mniejsze i słabsze (w strefie przybrzeżnej). Przepławki te mogą być stosowane do pokonywania niewielkich spadów, ponieważ różnica poziomów wody na budowli piętrzącej równa 1 m wymaga ponad 100 m długości obejścia

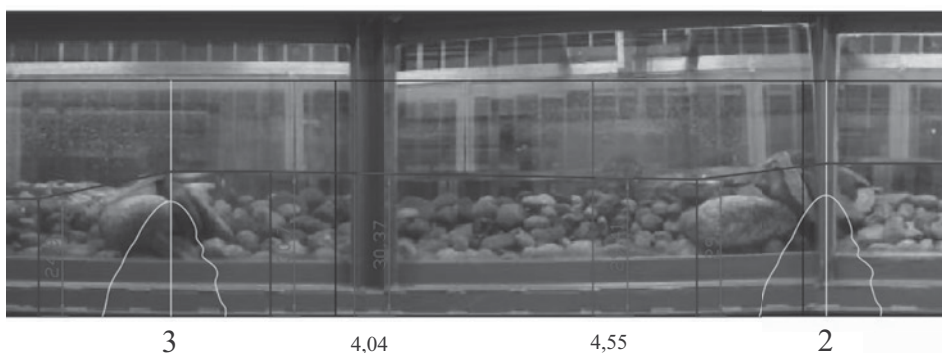


Rys. 1. Model fizyczny połowy przepławki w formie bystrza o zwiększonej szorstkości
 Fig. 1. Physical model of the half part of the rough stream shaped fish ladder

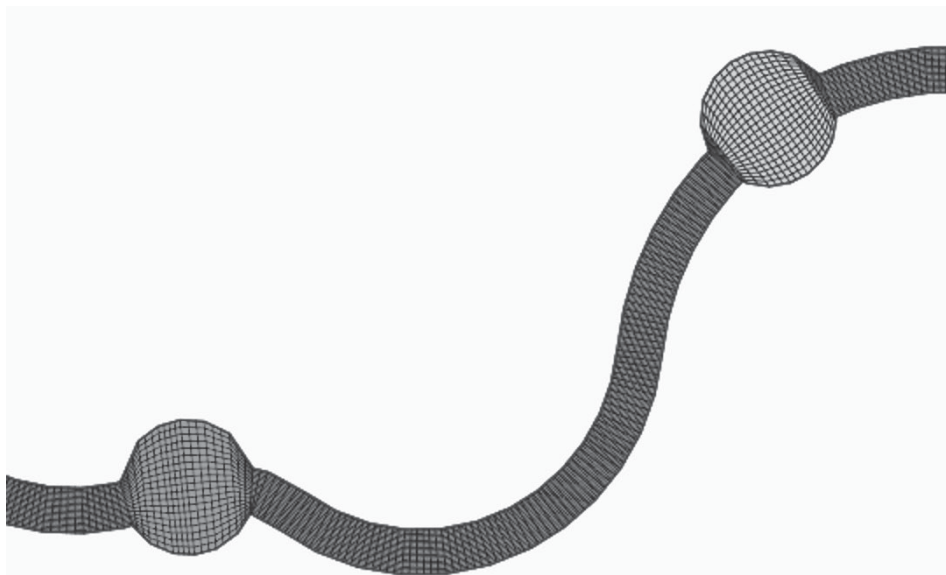
[Książek i in. 2011]. Z tego powodu mogą być stosowane na małych obiektach przegradzających rzeki o wysokich walorach przyrodniczych.

Drugi typ przepławk pozwala na pokonywanie większych spadów, ponieważ energia przepływającej wody rozpraszana jest na progach utworzonych z ziaren ponadwymiarowych (rys. 2). W porównaniu z typem pierwszym możliwe jest około dwu i pół krotne skrócenie przepławki [Książek i in. 2011b]. Jelonek [2010] stwierdza, że tego typu budowle są relatywnie tanie w wykonaniu i utrzymaniu oraz wytwarzają dobry prąd wabiący. Serie pomiarowe w poniżej przedstawionym modelu wykonano w dwóch przekrojach: 4,04 – ploso i 4,55 – bystrze (rys. 2).

Bystrotok kamienny ze spocznikami (elementami habitatowymi) to obiekt, w którym koryto przepławki zostaje rozdzielone szerszymi basenami. Ich kształt może być dowolny, jednak w omawianym projekcie skupiono się na obiektach opisanych na okręgu, którego



Rys. 2. Model fizyczny przepławki w formie bystrza z progami; 4,04 i 4,55 – przekroje pomiarowe
 Fig. 2. Physical model of the stream like fish ladder with riffle and pool sequention ; 4.04 and 4.55 – measurement sections



Rys. 3. Przykładowa siatka modelu komputerowego odzwierciedlająca przepławkę ze spocznikami
Fig. 3. The example mesh reflecting fish pass with habitat elements

środek leży na osi przepławki [Książek i in. 2011a]. Na rys. 3 przedstawiono fragment przykładowej siatki modelu numerycznego umożliwiającej wykonanie symulacji dla przepławek z elementami habitatowymi. Maksymalne rozmiary wykonanej siatki wynośiły w spocznikach 0,32 m, a w bystrzoku 0,16 m.

Założony promień basenów jest dwukrotnie większy od szerokości bystrza przy brzegu. Skarpy bystrzoku poprowadzone są łagodnie, co powoduje zawężenie stosowności tego typu przepławek do zasobnych w wodę, dużych rzek. Z uwagi na możliwość powstawania wirów w „objektach habitatowych” energię wody należy w nich rozpraszać. Da się to zrealizować poprzez nasadzenia roślin wodnych, wykonanie niewielkich ostróg lub zmniejszanie głębokości spocznika w kierunku brzegu. Tego typu przepławki mogą być stosowane jako obejścia budowli hydrotechnicznych w przypadkach, kiedy dysponujemy dużą powierzchnią dostępną pod jej budowę.

METODYKA I CEL BADAŃ

W przedstawionym projekcie wykonano pomiary laboratoryjne i modelowanie numeryczne mające na celu:

- wskazanie optymalnych prędkości w przepławkach,
- ustalenie rozmieszczenia strug wody i miejsc utrudniających migrację ryb,
- określenie stabilności materiału dennego umieszczonego w przepławkach.

Podstawowy parametr opisujący możliwość zastosowania danego typu przepławki w rzece stanowi prędkość przepływającej wody umożliwiająca jej pokonywanie przez odpowiednie gatunki ryb (tab. 1). Możliwe jest przyjęcie uproszczonej systematyki

z podziałem na łososiowate (prędkość maksymalna pokonywania $2,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), karpowate ($1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) i ryby małe ($1,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) [Mokwa i Tarnawski 2008], lecz w przypadku stosowania automatyzacji przy zastosowaniu obliczeń komputerowych lepsza wydaje się szczegółowa analiza przeprowadzona dla poszczególnych gatunków ryb. Dopuszczalne prędkości zostały poddane analizie w wybranych, charakterystycznych punktach budowli, dla której wykonywana jest analiza wymiarowa i sprawdzenie wartości granicznych prędkości.

Prace badawcze wykonane dla przepławek w formie bystrotoku z progami i bez progów zostały oparte na pomiarach laboratoryjnych. We wstępnym etapie prac laboratoryjnych określono skalę podobieństwa modeli fizycznych na podstawie kryterium wymiarowego (Froude'a). W przypadku występowania sił ciężkości (tzn. gdy $g' = g$ i $\rho' = \rho$) możliwe jest zastosowanie poniższego równania:

$$\alpha_{FG} = \frac{F_g}{F_g'} = \alpha_\rho \alpha_g \alpha_L^3$$

Opierając się na przeprowadzonej analizie, dla każdego przypadku pomiarowego obliczono wartość współczynnika skali prędkości:

$$\alpha_v = \frac{\alpha_L}{\alpha_t} = \sqrt{\alpha_L}$$

Podczas gdy szerokość koryta hydraulicznego jest stała, wyniki uzyskane dla modelowanych przepławek wymagały różnych współczynników skali prędkości z powodu zastosowania ich do budowli o szerokości 0,5, 0,8, 1,5 i 2,0 m. Przyjęte skale odzwierciedlające rzeczywiste wartości prędkości odpowiednio 1,00, 1,26, 1,73 i 2,00.

Kształtowanie się wektorów prędkości przepływającej wody w przypadku przepławek ze spocznikami określono na podstawie modelowania wykonanego za pomocą oprogramowania CHE2D. Program ten przeznaczony jest do modelowania komputerowego przepływów w korytach otwartych; wykonuje obliczenia na siatce dwuwymiarowej przy zastosowaniu metody elementów skończonych [Jia i Wang 2001]. Zwiększenie dokładności obliczonych wyników prędkości przepływu wody w dwuwymiarowych węzłach modelu uzyskano dzięki zastosowaniu równania Prandtla von Karmana pozwalającego na obliczenie logarytmicznego rozkładu prędkości w pionie. Warunki brzegowe pracy modelu CHE2D określono w Laboratorium Hydrotechnicznym UR w Krakowie na podstawie wyników pomiarów uzyskanych dla dwóch pierwszych typów przepławek. Założono przy tym, że współczynnik Manninga opisujący szorstkość przepływu nie uległ zmianie.

Celem przedstawionego projektu jest aplikacja uzyskanych wyników do algorytmu komputerowego umożliwiająca określenie warunków przejścia wybranych gatunków ryb przez przepławkę wraz z wyznaczeniem ewentualnych miejsc niemożliwych do pokonania. Analizowana jest również ilość energii, jaką wydatkuje ryba podczas płynięcia przez wybraną budowlę.

Stworzony algorytm komputerowy przygotowany został w celu dokonania weryfikacji założeń wymiarowych przyjętych przez projektanta. Umożliwia sprawdzenie wielu wariantów projektowych i wybór obiektu o optymalnych wymiarach.

Aby stworzyć wspomniany program komputerowy, wykonano parametryzację wybranych wielkości fizycznych takich jak napelnienie, szerokość przepławki i prędkość prze-

Tabela 1. Specyfikacja możliwości migracji różnych gatunków ryb opisane dla rzeki Odry [Jelonek 2010].
Table 1. Specification of fish migration ability described for the Odra River [Jelonek 2010]

Gatunki Species	Terminy migracji, miesiące Migration period, months												Migrujące stadium wieku Age of migrating fish	Maksymalna długość Fish max length cm	Maksymalna prędkość wody pokonywana przez gatunek Maximal fish speed m · s ⁻¹
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Jesiotr <i>Acipenser</i>				↑	↑	↑	↑						t	300	0,90–1,50 (2,50)
Losoś <i>Salmo salar</i>	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	t	145	1,30–3,20 (6,00)
Kiełb białopłetwy <i>Romanogobio alpininatus</i>				↑	↑	↑							w	11	0,20–0,50
Boleń <i>Aspius aspius</i>				↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓			w	100	0,70–1,50
Różanka <i>Rhodeus sericeus</i>				↑	↑	↑	↑						w	10	0,20–0,50
Koza <i>Cobitis taenia</i>				↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	w	13	0,20–0,50
Pstrąg potokowy <i>Salmo trutta m. fario</i>	↓	↓					↑	↑	↑	↑	↑	↑	t	50	0,80–1,80 (4,00)
Troć wędrowna <i>Salmo trutta m. trutta</i>	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	t	110	0,95–2,95 (4,00)
Certa <i>Vimba vimba</i>	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	t	40	0,50–1,50 (3,30)

Tabela 1 cd. – Table 1 cont.

	↓ ↓	↓ ↓	↑ ↑	↓ ↓	↓ ↓	↓ ↓	↓ ↓	↓ ↓	↑ ↑	↑ ↑	t		
Węgorz											n	100	0,40–0,80
<i>Anguilla anguilla</i>	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑			
Brzana	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	w	100	0,70–1,50
<i>Barbus barbus</i>													
Świnka	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	w	50	0,60–1,30
<i>Chondrostoma nasus</i>													
Kleń	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	w	50	0,70–1,70 (4,00)
<i>Squalius cephalus</i>													
Jaż	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	w	70	0,60–1,50
<i>Leuciscus idus</i>													
Szczupak	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	w	100	0,20–0,80
<i>Esox lucius</i>													
Płoć	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	w	30	0,40–1,30
<i>Rutilus rutilus</i>													
Leszcz	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	w	50	0,50–1,30
<i>Abramis brama</i>													
Okoń	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	w	30	0,40–1,40
<i>Perca fluviatilis</i>													
Miętusz	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	w	60	0,30–0,50
<i>Lota lota</i>													
Sum europejski	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	w	200	0,50–1,60
<i>Silurus glanis</i>													

t – tarlak – spawning, p – po tarle – after spawning, n – narybek – fry, k – kelt – kelt, s – smolt – smolt, w – wszystkie ryby – all fish

plywu wody, zdefiniowano istniejące zależności fizyczne oraz zaprojektowano schemat blokowy (obliczeniowy) pracy modelu numerycznego.

PRACE BADAWCZE

Pomiary wykonano w uchylnym korycie hydraulicznym o wymiarach $12 \times 0,5 \times 0,6$ m, znajdującym się w Laboratorium Hydrotechnicznym UR w Krakowie. Zakres zastosowanych spadków dna został dobrany szerzej w porównaniu ze spadkami stosowanymi w obliczeniach przepławek. W każdym z 67 pionów hydrometrycznych wykonano około 10 pomiarów prędkości przepływu wody w warunkach ruchu turbulentnego. Prędkość przepływu wody zmierzona została za pomocą sondy ADV (Acoustic Doppler Velocimeter). Jest to sonda służąca do pomiaru trzech składowych prędkości wody z wysoką (maksymalnie 25 Hz) częstotliwością próbkowania. Na etapie testowania sondy ustalono częstotliwość oraz czas próbkowania: odpowiednio 20 Hz i 60 s. Jako wynik pomiarów uzyskano ciągi liczbowe opisujące przebieg trzech składowych pulsacji prędkości (u_x , u_y , i u_z) z określeniem jakości sygnału (SNR, dB) i korelacji pomierzonych prędkości chwilowych. Wyniki pomiarów prędkości, których sygnał był obciążony dużym szumem (ich jakość spadała poniżej wymaganej wartości równej 4) lub dla których obliczona automatycznie korelacja była mniejsza niż 30%, zostały odrzucone zgodnie z zastosowanym kryterium: „phase space threshold despiking” [Goring i Nikora 2002]. Poziom dna teoretycznego został określony na podstawie pomiarów zagłębienia sondy ADV jako średnia największych odczytów głębokości poszczególnych pionów pomiarowych.

Modelowanie CHE2D dla bystrotoku kamiennego ze spocznikami przeprowadzono dla kilku scenariuszy obejmujących w pierwszej kolejności modelowanie fizyczne przeprowadzone w korycie hydraulicznym, a następnie obliczenia poszerzające zakres parametrów spadku, wymiarów przepławki i przepływu wody. Modelowany odcinek wynosił 445 m, szerokość koryta 3 m, a średnica spocznika 6 m. W przekroju poprzecznym przepławki odległość pomiędzy węzłami wyniosła 0,125 m, a w profilu podłużnym wahała się w granicach od 0,4 do 0,55 metra. Do obliczeń przepływu turbulentnego przyjęto model obliczeniowy Mixing Length. Przepływ obliczony został z przyjętym krokiem czasowym równym 0,05 sekundy. W trakcie obliczeń model zachowywał się stabilnie.

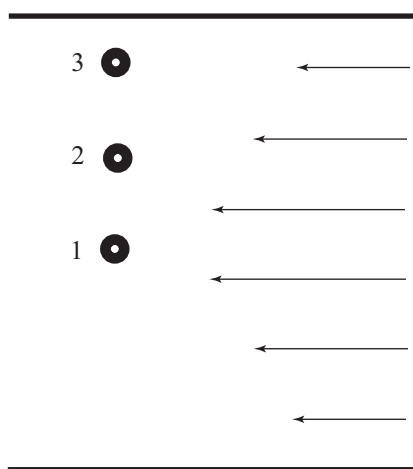
ANALIZA WYNIKÓW

Otrzymane wyniki pomiarów prędkości chwilowej umożliwiły wykreślenie pionowych rozkładów prędkości i rozkładów odchylenia standardowego prędkości od wartości średniej. Następnie określono zmiany prędkości dynamicznej w pionie hydrometrycznym i naprężeń stycznych wytwarzanych przez wodę przepływającą nad dnem szorstkim [Książek i in. 2011b]. Odpowiednie funkcje regresji opisujące rozkłady prędkości wody w wybranych pionach hydrometrycznych zostały przypisane seriom pomiarowym zrealizowanym na reprezentatywnej powierzchni modelu przepławki w trakcie występowania przepływu ustalonego [Aberle i in. 2008]. Do opisu ujednoczonych profili prędkości zastosowano funkcję logarymiczną lub liniową. W wyniku modelowania komputerowego w programie CHE2D uzyskano jedynie prędkość średnią przepływu w węzłach modelu i te dane posłużyły do określenia rozkładu prędkości za pomocą równania Prandtla von Karmana.

Na podstawie przeglądu wyników modelowania fizycznego i komputerowego ustalono punkty, w których należy dokonać analizy parametrów granicznych prędkości. Dodatkowo program powinien przeprowadzić analizę wymiarową przepławki. Wyniki uzyskane w trakcie opisanych prac pozwoliły na określenie lokalizacji wspomnianych punktów dla poszczególnych typów przepławek.

Przepławka w formie bystrza o zwiększonej szorstkości

W przepławce tego typu w przeważającej liczbie przypadków zmierzone prędkości średnie w pionach hydrometrycznych były zgodne z rozkładem logarytmicznym. Ze względu na symetryczny kształt przekroju poprzecznego analizę wykonano w trzech punktach tego przekroju. Pierwszy zlokalizowany został w nurcie, drugi w 30%, a trzeci w 15% całkowitej szerokości, mierząc odległości od prawego brzegu.

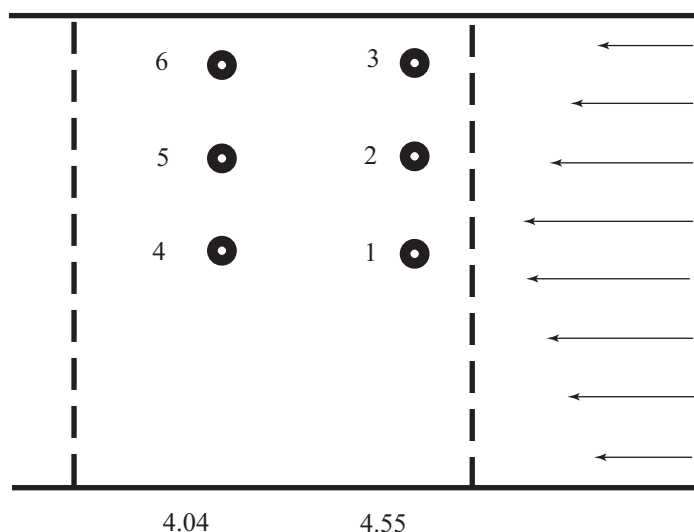


Rys. 4. Schemat obliczeniowy przepławki w formie bystrzaka o zwiększonej szorstkości.
1, 2, 3 – lokalizacja pionów pomiarowych; strzałki określają kierunek przepływu wody

Fig. 4. The calculation scheme of the fishway with rough bed.
1, 2, 3 – localization of the measurement verticals; arrows indicate the flow direction

Przepławka w formie bystrza o zwiększonej szorstkości z progami z ziaren ponadwymiarowych

Przepływ występujący w tego typu przepławkach jest znacznie bardziej skomplikowany w porównaniu z pierwszym rozpatrywanym typem. Zmierzone rozkłady prędkości tylko sporadycznie układały się zgodnie z funkcją logarytmiczną (głównie w basenach); wiele z nich lepiej odzwierciedlała funkcja liniowa (głównie poniżej progów). W związku z tym analiza obliczeń w modelu numerycznym wykonana została w dwóch przekrojach poprzecznych. Odległość pomiędzy przekrojami pomiarowymi w modelu fizycznym wyniosła 51 cm (rys. 2).



Rys. 5. Schemat obliczeniowy przepławki w formie bystrzotoku z progami.

1–6 – lokalizacja pionów pomiarowych, strzałki określają kierunek przepływu wody; linie przerywane – schemat lokalizacji progów; 4.04 i 4.55 – oznaczenia przekrojów pomiarowych

Fig. 5. The calculation scheme of the fishway with gravel steps.

1–6 – localizaton of the measurement verticals, arrows indicate the flow direction; dashed lines – localization of steps; 4,04 and 4,55 – the measurement cross-sections

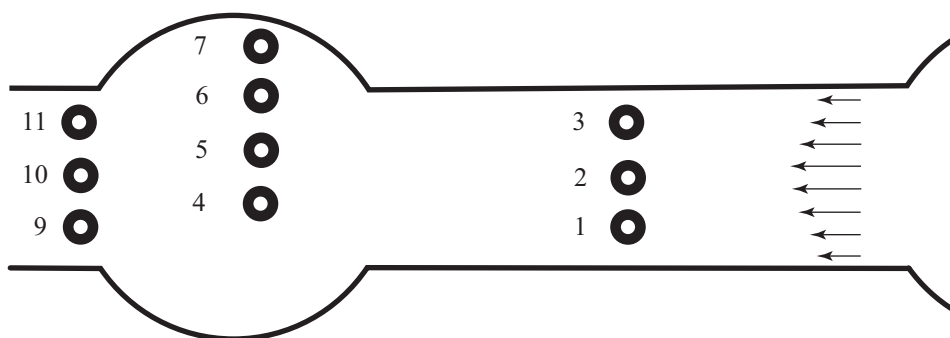
Przepławka w formie bystrza o zwiększonej szorstkości ze spocznikami

W tego typu przepławkach konieczna jest wariantowa analiza parametrów granicznych przejścia ryb w korycie i w spoczniku (rys. 6). W związku z tym trzy piony hydro-metryczne ułożono w przestrzeni leżącej w środkowej części pomiędzy spocznikami, ale także w spoczniku i w przekroju zlokalizowanym bezpośrednio poniżej niego. Rozmieszczenia pionów dokonano podobnie jak w poprzednich dwóch typach przepławk, czyli w określonej odległości od prawego brzegu.

MODEL NUMERYCZNY

Obliczenia wykonywane przez model

Wyniki pomiarów i modelowania zostały poddane analizie pozwalającej na określenie zależności funkcyjnych dla profili prędkości przedstawionej w skali względnej napełnienia. Dla każdego typu przepławki przebiegi funkcyjne prędkości w pionie hydro-metrycznym pogrupowano w zależności od szorstkości dna w przepławce [Strużyński 2001, Bartnik i Strużyński 2002]. Obliczenia dokonane za pomocą równań Chezy'ego i Manninga oraz Bernoulego stanowiły podstawę wstępnej kwalifikacji ścieżki obliczeniowej wg schematu obejmującego:



Rys. 6. Schemat obliczeniowy przepławki w formie bystrotoku ze spocznikami.

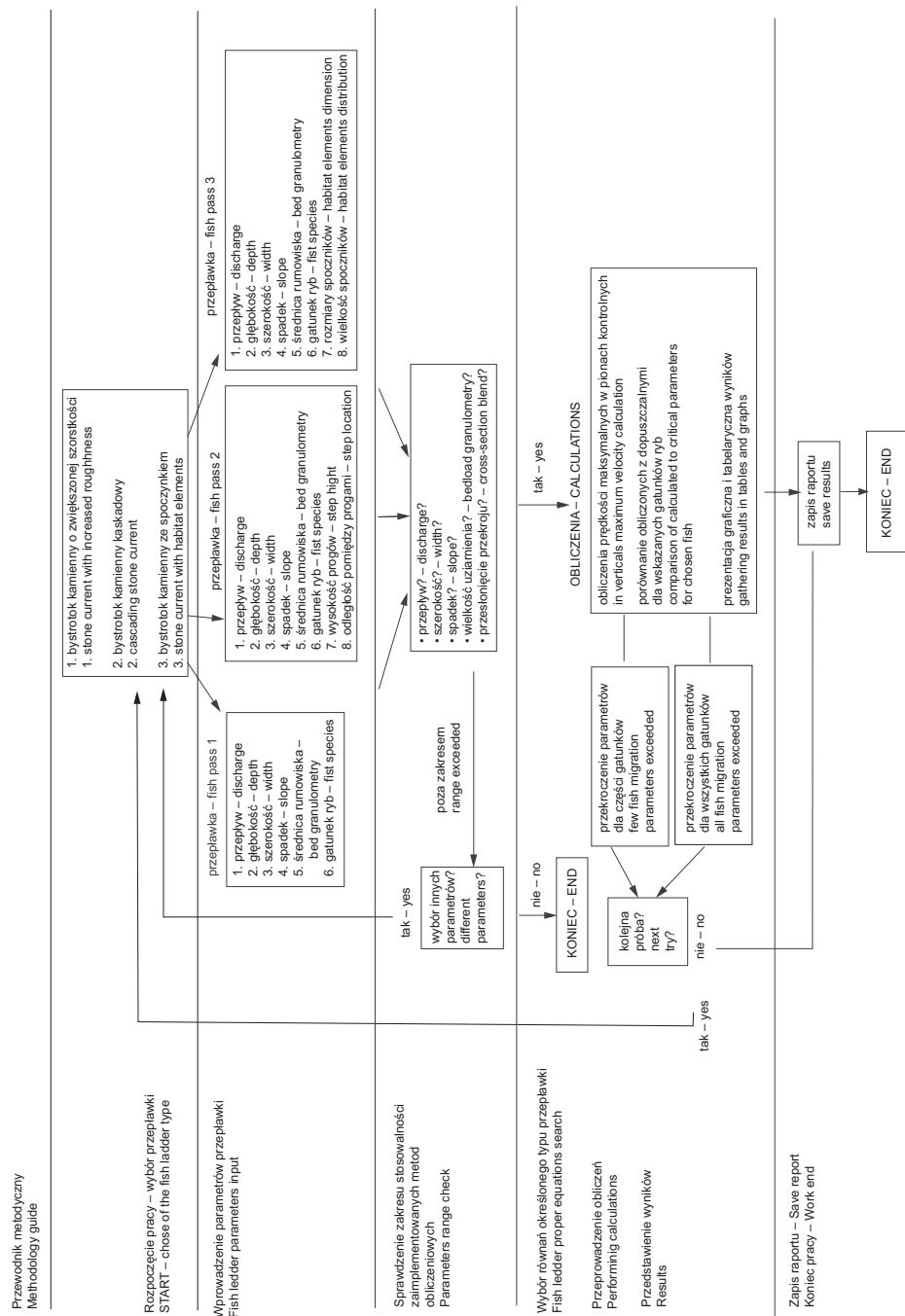
1–11 – lokalizacja pionów pomiarowych; strzałki określają kierunek przepływu wody

Fig. 6. The calculation scheme of the fishway in form of the stream with habitat elements.

1–11 – localization of the measurement verticals; arrows indicate the flow direction

- 1) określenie typu przepławki,
- 2) wprowadzenie wymiarów (długość, szerokość, głębokość), spadku i szorstkości dna,
- 3) obliczenie napełnienia i przepływu w przepławce,
- 4) obliczenie prędkości średniej w przepławce,
- 5) sprawdzenie możliwości weryfikacji prędkości w poszczególnych pionach dla zadanych parametrów przepławki,
- 6) wybór pary równań opisujących rozkład prędkości w każdym pionie weryfikacyjnym,
- 7) aproksymacja zmian współczynników równań w funkcji przepływu metodą najmniejszych kwadratów i interpolacja nowych ich wartości dla zadanych przez użytkownika parametrów,
- 8) obliczenie rozkładów prędkości w każdym pionie hydrometrycznym zdefiniowanym dla danego typu przepławki,
- 9) obliczenie prędkości średniej w poszczególnych pionach pomiarowych jako średniej geometrycznej obliczonej z profilu prędkości,
- 10) przeliczenie prędkości obliczonej w skali względnej na skalę rzeczywistą,
- 11) wykonanie korekty układu zwierciadła wody w profilu podłużnym przepławki,
- 12) analiza możliwości migracji wybranych gatunków ryb przez przepławkę w niewralgicznych miejscach przepławki,
- 13) przedstawienie wyników.

W przypadku możliwości wykonania obliczeń (istnienie równań dla określonego przez użytkownika programu zakresu pomiarowego) zasadniczą wagę ma określenie właściwych równań przygotowanych w trakcie kalibracji modelu fizycznego i komputerowego dla przepływu występującego w przepławce (punkty 6 i 7). Trzymanie się tej procedury jest konieczne, ponieważ przepływy zmieniają się skokowo, co zwykle ozna-



Rys. 7. Schemat blokowy interfejsu użytkownika programu „Przepławka 1”
Fig. 7. Flow chart of the „Przepławka 1” program user interface

czało brak możliwości zastosowania dokładnie przygotowanego scenariusza obliczeniowego. Podczas procedury z punktów 6 i 7 model sprawdza współczynniki korelacji dla różnych przebiegów funkcyjnych i wybiera najlepszą z nich. Ze względu na fakt wykonania operacji obliczeniowych których operator programu nie potrafi poprowadzić właściwie, interfejs użytkownika ma formę uproszczoną. Moduł wprowadzania danych analizuje ich poprawność, przez co zmniejsza się ryzyko niespodziewanych awarii oprogramowania i utraty raportu.

Interfejs użytkownika

Kontrola programu z poziomu użytkownika polega na wprowadzaniu danych i podejmowaniu prostych decyzji umożliwiających wybór właściwej ścieżki obliczeniowej (rys. 7). Obliczenia mogą zostać powtórzone dla zmienionego typu przepławki. Program zapamiętuje dane wprowadzone w odpowiednie pola i przy wykonywaniu powtórnych obliczeń podpowiada poprzednio wprowadzone wartości, które następnie można zmienić wg uznania. Program po wykonaniu obliczeń tworzy raport, który przy kolejnych uruchomieniach można wczytać ponownie i poddać dalszej edycji. Aby ułatwić pracę, program „Przepławka 1” wyposażony został w graficzny interfejs użytkownika wspierający proces wprowadzania i edycji danych oraz prezentacji wyników. Projektant informowany jest, w którym miejscu przepławki warunki są optymalne, a w których ryby mogą napotkać utrudnienia w migracji.

PODSUMOWANIE

Przedstawiony model numeryczny oparty został na wszechstronnych pomiarach prędkości przeprowadzanych w laboratorium hydrotechnicznym Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie oraz na symulacjach wykonanych na dwuwymiarowym modelu komputerowym CCHE2D pochodzącym z Uniwersytetu Mississippi w USA.

Przeprowadzone pomiary wykonane na modelu fizycznym w skali pozwoliły na odtworzenie warunków przepływu występujących w projektowanych przepławkach w szerokim zakresie zmienności wymiarów, nachyleń i szorstkości dna.

Program komputerowy ma interfejs graficzny i eliminuje błędnie wprowadzone dane. Duża część procesu obliczeniowego realizowana jest automatycznie, bez zaangażowania użytkownika. Po zakończeniu procesu istnieje możliwość zapisania raportu w formie pliku tekstowego.

Program „Przepławka 1” przeznaczony jest do wspomagania procesu projektowego przepławk wykonanych w formie bystrzy, bystrzy z progami i bystrzy ze spocznikami. Umożliwia wykonanie analizy funkcjonalności wybranej przepławki zarówno dla grup migrujących ryb, jak i dla konkretnych ich gatunków.

Prace pomiarowe i modelowe sfinansowane zostały w ramach projektu badawczego nr NN 523 453736.

PIŚMIENNICTWO

- Aberle J., Koll K., Ditrich A., 2008. Form induced stresses over rough gravel-beds. *Acta Geophys.* 56(3), 584–600.
- Bartnik W., Strużyński A., 2002. Velocity profile and shear stresses calculation in high volume relative bed roughness flow. *Zesz. Nauk. AR Wrocł.* 438, Konferencje 36, 109–116.
- Goring D.G., Nikora V.I., 2002. Despiking Acoustic Doppler Velocimeter Data. *J. Hydr. Engin.* 128(1), 117–126.
- Jelonek M., 2010. Przywrócenie ciągłości ekologicznej i odtworzenie dobrego stanu i potencjału wód rzeki Odry we Wrocławiu w ramach modernizacji Wrocławskiego Węzła Wodnego. Zespół ds. Ochrony i Rozwoju Żywych Zasobów Wód, Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Grupa Robocza Dobrych Praktyk w Projektowaniu Urządzeń Służących Migracji Ryb przy Europejskiej Komisji Doradczej ds. Rybactwa Śródlądowego w Rzymie (EIFAC FAO), maszynopis.
- Jia Y., Wang S.S.Y., 2001. CCHE2D: Two-dimensional Hydrodynamic and Sediment Transport Model For Unsteady Open Channel Flows Over Loose Bed. Technical Report No. NCCHE-TR-2001-1. National Center for Computational Hydroscience and Engineering, The University of Mississippi.
- Książek L., Strużyński A., Leja M., Pilch E., 2011a. Modelowanie fizyczne i numeryczne przepływu wody w przepławce biologicznej, *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus* 10(4), 17–30.
- Książek L., Strużyński A., Wyrębek M., 2011b. Hydrodynamical conditions of bed stability in close to nature fish ladders. 15th International Conference on Transport and Sedimentation of Solid Particles. Red. Jerzy Sobota, Wrocław, 309–321.
- Mokwa M., Tarnawski K., 2008. Ocena hydrauliczna działania przepławki dla ryb przy stopniu wodnym Brzeg Dolny. *Infrastr. Ekol. Ter. Wiejs.* 7, 131–142.
- Strużyński A., 2001. Ocena warunków równowagi dna w korytach cieków o dużej szorstkości (Balance conditions estimation in rough bed rivers and streams). Praca doktorska. Akademia Rolnicza w Krakowie, maszynopis.

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 15.06.2012