

BADANIA MODELOWE HYDRAULICZNYCH WARUNKÓW PRZEPŁYWU W PRZEPŁAWCE Z ZABUDOWĄ ROŚLINNĄ

Tomasz Tymiński¹, Justyna Mumot¹

¹ Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław, e-mail: tomasz.tyminski@up.wroc.pl; justyna.mumot@up.wroc.pl

STRESZCZENIE

Działania mające na celu zachowanie „korytarzy ekologicznych” w rzekach są zagadnieniem trudnym i złożonym, które wymaga wiedzy specjalistycznej z wielu dyscyplin nauki. Jednym z ważniejszych rozwiązań zapewniających ciągłość ekologiczną rzek są przepławki dla ryb, zwłaszcza te o charakterze naturopodobnym. Cechą charakterystyczną ich budowy jest zastosowanie naturalnego budulca (kamienie, pnie drzew, żwir, roślinność) w taki sposób, by swoim wyglądem przypominały małe ciekły naturalne. Projektowanie hydrauliczne przepławek oparte wyłącznie na kryteriach prędkości dopuszczalnych v_{max} oraz parametru jednostkowej energii wody E , nie daje pełnej informacji o skuteczności działania tych urządzeń. W celu wytworzenia w przepławce optymalnych dla ichtiofauny warunków przepływu przydatne są badania struktury przestrzennej parametrów hydraulicznych np. zaburzeń pola prędkości lub rozkładów stopnia turbulencji Tu . W pracy zaprezentowano przykład takich badań, które autorzy przeprowadzili na modelu przepławki seminaturalnej w laboratorium wodnym IIS UP we Wrocławiu. Otrzymane wyniki posłużyły do oceny poprawności funkcjonowania przepławki. Badana przepławka z zabudową roślinną w formie rygli i komór spełnia wymogi hydrauliczne dla migrującej ichtiofauny i stanowi ciekawą, proekologiczną alternatywę do „ciężkiej” zabudowy technicznej.

Słowa kluczowe: przepławki dla ryb, hydrauliczne warunki przepływu, badania modelowe.

MODEL TESTS OF HYDRAULIC FLOW CONDITIONS IN THE VEGETATION BUILD-UP FISHWAY

ABSTRACT

Our engineering activity aiming at keeping ecological corridors in rivers are a difficult and complex issue that requires specialist knowledge in many disciplines. One of the installations for ensuring ecological continuum river are fishways, particularly their “near-natural” designs. They resemble mountain streams and creeks. Natural materials, such as wood, vegetation, gravel, stones and rocks are used for their construction. Design of hydraulic fishways based solely on the criteria of maximum speed v_{max} and parameter of unitary energy of water E , it does not give complete information about the effectiveness of these devices. In order to produce the optimal flow conditions for ichthyofauna, very useful are spatial structure research of hydraulic parameters, such as disorders of flow velocity field or distributions of the turbulence number Tu . The article presents an example of such a study, which the authors carried out on the model seminatural fishway in the water laboratory in Institute of Environmental Engineering in Wrocław. The results were used to assess the accuracy of the functioning of the fishway. The tested combination of “vegetated baffles” and “pools” in the fishway model was found to be optimal for the ichthyofauna. Vegetation build-up in fishways is an interesting and proecological alternative for “heavy” technical build-up.

Keywords: fishway, flow conditions, hydraulic model investigations.

WPROWADZENIE

Rzeka, jako korytarz ekologiczny, powinna gwarantować utrzymanie bioróżnorodności oraz zapewniać warunki do swobodnego przemieszczania się fauny i flory. Niestety, nie zawsze tak

jest. Rozwój cywilizacyjny i wzrost ingerencji człowieka m.in. w ekosystemy rzeczne, zmusza do szukania pomysłów na utrzymanie równowagi w ciekach i opracowania sposobów eliminowania negatywnego wpływu przegradzania rzek budowlami hydrotechnicznymi na ich ekologiczną

wartość. Rozwiązaniem, zapewniającym ciągłość ekologiczną rzek są m.in. przepławki. Mają one umożliwić rybom i innym organizmom wodnym pokonywanie piętrzeń w rzekach. Generalną zasadą konstrukcji przepławk jest osiągnięcie łagodnego lub kaskadowego połączenia poziomu wody dolnej z górnym, przy zachowaniu wewnątrz urządzenia warunków przepływu wymaganych przez migrującą ichtiofaunę (tab. 1).

Na etapie projektowania inżynierowie-hydrotechnicy mają szerokie możliwości wyboru typu przepławki [Jelonek i Wierzbicki 2008, Jędryka 2011]. Modne obecnie i zalecane (o ile pozwalają na to np. uwarunkowania przestrzenne lub urbanistyczne) konstrukcje przejść dla ryb zwracają w kierunku rozwiązań „bliskich naturze” – przepławk z zabudową biologiczną. Należy jednak wyraźnie podkreślić, że działania mające na celu zachowanie „korytarzy ekologicznych” w rzekach są zagadnieniem trudnym i złożonym, które wymaga wiedzy specjalistycznej z wielu dyscyplin nauki. Budowa przejść dla ryb nie może ograniczać się jedynie do katalogowego doboru typu przepławki, nawet w przypadku, gdy jej

zwymiarowanie hydrauliczne zgodne jest z obowiązującymi normami inżynierskimi. O przypadkach takich alarmuje m.in. literatura fachowa w Niemczech [Adam 2005 i 2009, Krüger 2008, Lehmann 2008], gdzie nasycenie przepławkami jest niewspółmiernie większe niż w Polsce, lecz ich skuteczność działania budzi wiele zastrzeżeń. Dlatego, każdy przypadek budowy przepławki dla ryb należy traktować indywidualnie. Przydatne będą tu charakterystyki przepławki: ichtiologiczna i hydrologiczna, a nierzadko *wskazane jest nawet przeprowadzenie badań laboratoryjnych* w celu sprawdzenia odpowiednich dla ryb warunków hydraulicznych i oceny przydatności wybranego typu przepławki do zachowania ciągłości ekologicznej rzek. Zagadnienie to było głównym celem prezentowanej pracy.

Osobny problem stanowi stworzenie rydom warunków, które umożliwią im odnalezienie wejścia do przepławki (tzw. prądy wabiące) oraz zagadnienie prawidłowej eksploatacji przepławk (np. oczyszczanie z konarów, naniesionego rumowiska, regulacji przepływów i poziomów zwierciadła wody).

Tabela 1. Wytyczne do projektowania przepławk

Table 1. Ichthyofauna Requirements and Guidelines for Fishway Design

Opis	Dopuszczalne wartości
Wielkość i gatunek ryb	
Ryby małe i młode	$v < 1,0$ m/s
Reofilne ryby średniej wielkości - karpowate (np. karp, leszcz, boleń, kleń, brzana, certa)	$v < 1,5$ m/s
Ryby duże - łososiowate (np. łosoś, troć)	$v < 2,0$ m/s
Parametry hydrauliczne	
Średnia prędkość przepływu wody w przepławce	$v = 0,4-0,6$ m/s
Prędkość na wypływie z przepławki (od strony wody dolnej)	$v < 1,9$ m/s
Prędkość na dopływie do przepławki (od strony wody górnej)	$v < 1,2$ m/s
Przepływ jednostkowy $q = Q/b$	$q > 0,1$ m ³ /(s·m)
Dyssypacja objętościowa energii	$E < 200$ W/m ³
Wymiary geometryczne	
Średnica pojedynczych kamieni (głazów)	$d = 0,4-0,7$ m
Szerokość dłuższego boku rygla z głazów	$w = 0,9-1,2$ m
Nachylenie dna (zależne od struktury ichtiofauny)	1:75-1:20
Różnica poziomów wody między sąsiednimi basenami (komorami)	$\Delta h = 0,05-0,15$ m
Szerokość przepławki	$b > 0,8$ m
Długość basenów (komór)	$L_{b,min} = 3 \times L$
	$L_b > 4,0$ m
Głębokość wody w przepławce	$t_{min} = 2,5 \times H$
	$t = 0,2-1,5$ m
Szerokość szczelin pomiędzy głazami	$s_{min} = 2 \times D$
	$s = 0,1-0,5$ m

Oznaczenia: D – szerokość, H – wysokość i L – długość ryby, m [Krüger 2008].

WYMOGI ICHTIOFAUNY I ZALECENIA DLA PROJEKTANTÓW PRZEPLĄWEK

Problem zapewnienia ciągłości ekologicznej rzek np. poprzez budowę przepławek dla ryb, ma w Unii Europejskiej szczególne znaczenie (Ramowa Dyrektywa Wodna UE). Niestety rodzima literatura specjalistyczna nie doczekała się jeszcze poradnika, który stanowiłby kompendium wiedzy dotyczącej projektowania, eksploatacji i monitoringu przepławek. Dlatego w Polsce, nie tylko wśród projektantów przepławek, dużą popularnością cieszą się zalecenia projektowe opracowane przez interdyscyplinarny zespół specjalistów niemieckich [Adam et al. 2005, DVWK 1996, DWA 2010, Krüger 2008]. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe wytyczne do projektowania przepławek.

EFEKTYWNOŚĆ FUNKCJONOWANIA PRZEPLĄWEK

Nowe przepławki, które zostały zbudowane zgodnie z wytycznymi zawartymi w literaturze fachowej [Adam et al. 2005 i 2009, DVWK 1996, FAO-UN/DVWK 2002, DWA 2010], z założenia powinny funkcjonować poprawnie. Jednak najlepszym sposobem na sprawdzenie skuteczności funkcjonowania przepławek jest ich monitoring ichtiologiczny. Jest to zagadnienie obszerne, któremu poświęca się odrębne publikacje [FAO-UN/DVWK 2002, Mokwa i Wiśniewolski (red.) 2008]. W niniejszej pracy ocenę przydatności przepławki do zachowania ciągłości ekologicznej cieków przeprowadzono na drodze eksperymentalnej w oparciu o analizę hydraulicznych warunków przepływu w przepławce, wymaganych przez migrującą ichtiofaunę. Najczęściej w takich przypadkach korzysta się z danych o dopuszczalnych prędkościach przepływu (tab. 1) oraz analizuje się turbulencje strumienia wody wewnątrz przepławki. Rozmiar i głębokość zbiorników między progami powinny gwarantować spokojny przepływ wody przy stosunkowo niskiej turbulencji ($Tu \approx 0,05-0,30$) [Sigloch 1980], tak aby ryby mogły znaleźć schronienie i strefy odpoczynku przed wysiłkiem pokonania kolejnych szczelin i progów. Zalecana wartość dla rozproszenia energii wody wynosi: a) dla silnych i dobrze pływających gatunków ryb $E = 150$ do 200 W/m^3 , b) dla gatunków małych ryb oraz narybku $E = 100 \text{ W/m}^3$. Parametr objętościowej dyssypacji energii

E może być obliczony z następującej formuły [DVWK 1996, FAO-UN/DVWK 2002]:

$$E = \frac{\rho \cdot g \cdot \Delta h \cdot Q}{A \cdot t}, [\text{W/m}^3] \quad (1)$$

gdzie: Δh – różnica poziomów wody między sąsiednimi komorami [m],
 Q – strumień natężenia przepływu w przepławce [m^3/s],
 A – pole powierzchni pojedynczej komory [m^2],
 t – średnia głębokość wody w komorze [m],
 ρ – gęstość wody [kg/m^3],
 g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2].

Do pełnej oceny skuteczności funkcjonowania przepławki potrzebna jest analiza przestrzennego rozkładu prędkości a zwłaszcza turbulencji strumienia. Badania turbulencji w przepławkach możliwe są na obiektach w naturze (np. dla ich optymalizacji) lub na modelach fizycznych w laboratorium. W analizie hydraulicznych warunków przepływu szczególnie pomocne są dwu- lub trójwymiarowe symulacje numeryczne [Mazurczyk 2007].

Ilościową miarą intensywności turbulencji jest stopień turbulencji Tu , który można wyznaczać oddzielnie dla poszczególnych kierunków przepływu (Puzyrewski i Sawicki 2000). Ponieważ przy przepływie w korycie rzeczonym (tu: kanale obejmującym dla ryb) mamy do czynienia z turbulencją anizotropową ($v_x \neq v_y \neq v_z$), do wyznaczenia parametru Tu posłużyła następująca formuła [Jęzowiecka-Kabsch K., Szewczyk H. 2001]:

$$Tu = \frac{\sqrt{\frac{1}{3}(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)}}{\sqrt{v_{sr,x}^2 + v_{sr,y}^2 + v_{sr,z}^2}}, [-] \quad (2)$$

gdzie: v_x, v_y, v_z – składowe fluktuacyjne prędkości [m/s],

$v_{sr,x}, v_{sr,y}, v_{sr,z}$ – składowe średnie prędkości przepływu [m/s].

BADANIA LABORATORYJNE

Od wielu lat w Instytucie Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu prowadzone są kompleksowe i wielowariantowe badania różnego rodzaju rozwiązań technicznych (również prototypowych) przejść dla ryb, na które składają się:

1) hydrauliczne badania laboratoryjne na modelach fizycznych,

- 2) modele i symulacje numeryczne,
- 3) testy ichtiologiczne /z udziałem ryb/ oraz
- 4) badania terenowe.

Osobny problem badawczy stanowi transport rumowiska rzecznego, który ma miejsce również w przepławkach. Niekiedy występują związane z nim zjawiska wymywania (erozji) dna lub zamulania przepławki. W latach 2008–2015 w laboratorium wodnym IIS przeprowadzono szereg badań modelowych dla:

- 1) przepławk „bliskich naturze”:
 - a) pochylnie o zwiększonej szorstkości (rampy z głazami),
 - b) kanały obejściowe z zabudową roślinną;
- 2) przepławk technicznych:
 - a) ryglowe,
 - b) szczelinowe,
 - c) meandrowe (modułowe, przepławki dla wysokich spadów).

Dla przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych i wymiarów geometrycznych przepławk badano m.in. hydrauliczne warunki przepływu (w tym: strumień wabiący wewnątrz obiektu, rozkłady prędkości i turbulencji, maksymalne różnice poziomów zwierciadła wody itp.) oraz problemy eksploatacyjne (np. zamulanie przejść dla ryb; sterowanie poziomem wody górnej w przepławkach i in.) w aspekcie zapewnienia wymogów stawianych przez migrującą ichtiofaunę. Niniejsza praca prezentuje wybrany przykład przeprowadzonych badań laboratoryjnych.

Stanowisko badawcze

Badania modelowe hydraulicznych warunków przepływu przeprowadzono dla fragmentu przepławki seminaturalnej z elementami zabudowy biotechnicznej. Model przepławki o długości

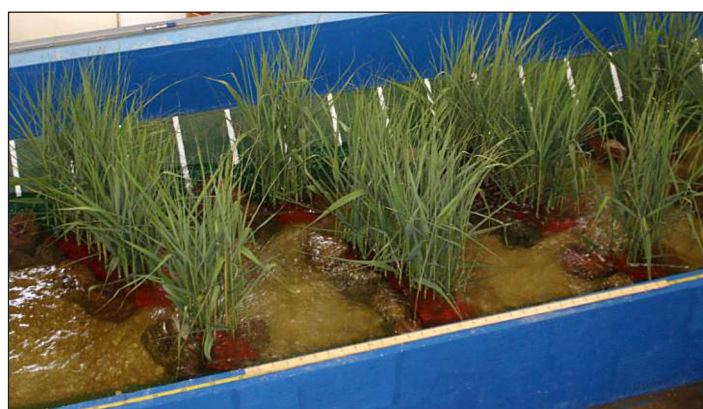
$L = 3$ m (skala 1:3) zbudowano w prostoliniowym korycie trapezowym o szorstkości dna $n = 0,012 \text{ m}^{-1/3}$ s, spadku podłużnym $J = 12\text{‰}$, szerokości dna $b = 0,90$ m i nachyleniu skarp 1:1. Widok oraz schemat przepławki pokazano na rysunku 1.

Zabudowę roślinną stanowiła trzcina pospolita (*Phragmites communis* TRIN.). Gęstość roślin wynosiła 577 łodyg/m², ich średnica reprezentatywna $d_p = 5,6$ mm, a przeciętne wymiary użytych do budowy rygli głazów (B – szerokość, H – wysokość, L – długość w kierunku przepływu) wynosiły: a) w rzucie poziomym $B \times L = 176,5 \times 97,2$ mm; b) w przekroju pionowym $B \times H = 176,5 \times 66,1$ mm. Badany w laboratorium model przepławki z elementami zabudowy biotechnicznej miał konstrukcję modułową. Budując przepławkę naturopodobną w formie kanału obejściowego, można takie moduły powielać i w zależności od potrzeb rozbudowywać konstrukcję na długości.

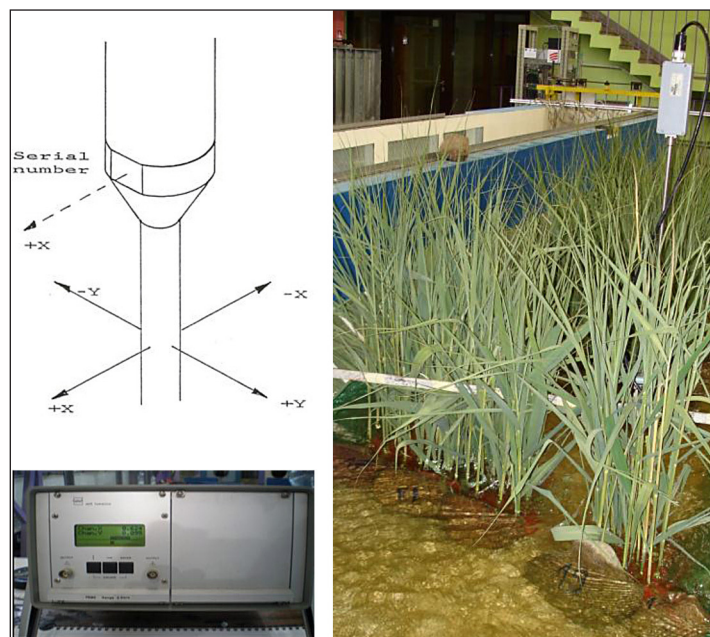
Metodyka i zakres badań

Eksperymenty w laboratorium polegały na pomiarach głębokości i prędkości przepływu przy zadawanym przepływie Q . Napełnienie koryta mierzono za pomocą wodowskazu szpilkowego ze śrubą mikrometryczną oraz katetometru. Wielokierunkowe pomiary prędkości chwilowych wykonywano za pomocą sondy elektromagnetycznej typu PEMS (rys. 2) w 360 punktach siatki o wymiarach $0,10 \times 0,15$ m oraz charakterystycznych punktach zaburzenia przepływu, przede wszystkim w szczelinach przepławki.

Pomiary laboratoryjne zostały przeprowadzone w następującym zakresie parametrów hydraulicznych: a) strumień natężenia przepływu $Q = 30\text{--}50 \text{ dm}^3/\text{s}$, b) prędkości chwilowe $v = 0\text{--}1,00$ m/s, c) głębokości przepływu $h = 0,15\text{--}$



Rys. 1. Model laboratoryjny przepławki z zabudową roślinną
Fig. 1. Laboratory model of fishway with biotechnical build-up



Rys. 2. Aparatura pomiarowa (sonda PEMS)
 Fig. 2. Measuring instruments (probe PEMS)

0,27 m. Do przeliczeń odpowiednich wartości z modelu na naturę przyjęto właściwe dla tego przypadku hydrodynamiczne kryterium podobieństwa Froude'a [Puzyrewski, Sawicki 2000].

WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

W tabeli 2 i na rysunkach 3–5 przedstawiono przykład opracowanych i przeliczonych wg skali (1:3) wyników pomiarów dla przepływu $Q = 780 \text{ dm}^3/\text{s}$ ($Q_{LAB} = 50 \text{ dm}^3/\text{s}$). Ze wzoru (1) obli-

czono wartości objętościowej dyssypacji energii E (tab. 2) w każdej z komór badanej przepławki. Widać, że parametr E nie przekracza wartości dopuszczalnej $E < E_{dop} = 200 \text{ W/m}^3$ (tab. 1). Jednak niewielkie problemy z pokonaniem komory nr 3 (pierwsza od strony wody dolnej – wypływ z przepławki) mogą mieć niektóre młode i słabe ryby, gdyż $E_3 = 105,8 \text{ W/m}^3 > E_{dop,m} = 100 \text{ W/m}^3$. Podobnie jest w przypadku prędkości przepływu w przepławce (tab. 1 i 2). W żadnym miejscu nie zostały przekroczone wartości dopuszczalne v_{dop} , a wartości maksymalne v_{max} dotyczą miejsc

Tabela 2. Przykład przeliczonych wyników badań dla obiektu w naturze
 Table 2. Example of research results for the real-size object

Lp.	Numer komory ¹	Współrzędne punktów pomiarowych ¹ (rys. 3)		t_i m	Δh m	t m	v_{sr} m/s	v_{max} m/s	Tu –	E W/m ³
		X [m]	Y [m]							
1	1	2,80	0,60	0,756	0,051	0,756	0,30	0,41	0,1-0,4	< 200
2		3,50	0,90	0,705		0,705	0,33	0,42	0,1-0,7	79,8
3		3,60	0,70	0,705			1,02			
4	2	4,30	1,00	0,651	0,054	0,651	0,36	1,10	0,1-0,8	91,5
5		4,50	0,80	0,652				0,48		
6		4,75	0,55	0,651				0,31		
7	3	5,30	0,90	0,594	0,057	0,594	0,40	0,44	0,1-0,9	105,8
8		5,40	0,70	0,594				1,05		
9		5,85	1,10	0,526				1,28		

¹ Licząc w kierunku przepływu.

Oznaczenia: A , t , Δh , Tu , E – jak we wz. (1-2), tu: $A = 6,93 \text{ m}^2$; v_{sr} – średnia prędkość przepływu w przekroju; v_{max} – maksymalne prędkości lokalne w punktach pomiaru głębokości; X – odległość w kierunku przepływu; Y – odległość prostopadle do przepływu (rys. 3); h_g – woda górna; h_d – woda dolna.

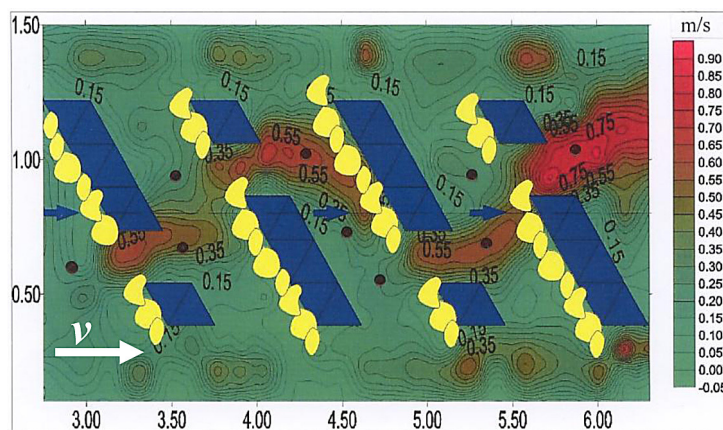
istotnego zawężenia przekroju przepływowego tj. przesmyków między ryglami ($v_{max} < v_{dop} = 1,2-1,9$ m/s). Tuż za tymi przeszkodami w polu przepływu zaobserwowano i pomierzono największe turbulencje strumienia (rys. 4). Zaletą prezentowanego rozwiązania jest możliwość wyboru przez ryby alternatywnej drogi migracji. Próbné testy z rybami (brzany, węgorze) pokazały, że ryby bez problemu pokonywały wartki nurt (brzany), względnie jak węgorze, wybierały drogę przez szuwały. W klasycznych betonowych przepławkach wybór drogi migracji nie byłby możliwy.

Jednak, pełna ocena skuteczności funkcjonowania przepławki możliwa jest tylko w przypadku analizy przestrzennego rozkładu parametrów hydraulicznych [Kałuża 2000, Mazurczyk 2007, Tymiński i Kałuża 2013]. Laboratoryjne pomiary pola prędkości pozwoliły określić ze wzoru (2) stopień turbulencji Tu (tab. 2). Rozkład prędkości lokalnych na głębokości 0,3 m ponad dnem ($h \approx 0,5 \cdot t$) pokazano na rysunku 3, a ilustrację

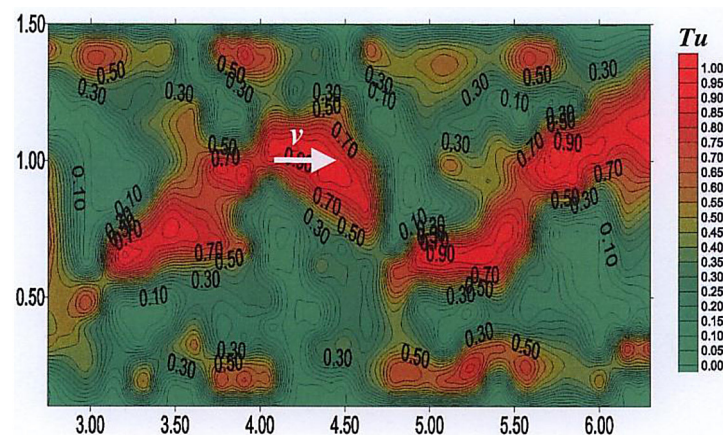
graficzną rozkładu turbulencji w badanej przepławce oraz w pustym korycie (jako przypadek referencyjny) przedstawiono na rysunkach 4 i 5.

Zabudowa biotechniczna wpływa istotnie na rozkład turbulencji strumienia wody w przepławce (porównaj rys. 4 i 5). Możliwe jest więc wytworzenie zróżnicowanych hydraulicznych warunków przepływu w przepławce np. obszarów o zwiększonej turbulencji ($Tu = 0,50-0,90$) oraz tzw. stref odpoczynku dla ryb migrujących pod prąd. Są to przeważnie obszary występujące między „roślinnymi ryglami”, tuż za ich dłuższymi bokami (rys. 3 i 4), gdzie $Tu = 0,10-0,30$. Jest to szczególnie cenne ze względu na wymogi ichtiologiczne [Adam 2009, Krüger 2008, Lubieniecki 2003, Zgrabczyński 2007].

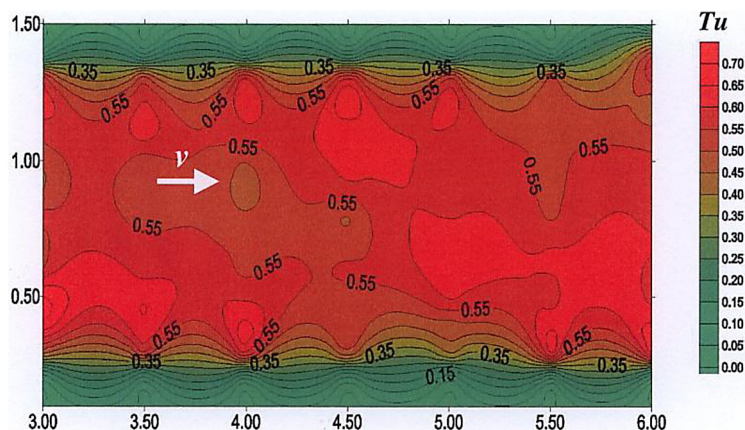
Otrzymane wartości parametru $Tu = 0,10-0,90$ (tab. 2) można uznać za porównywalne z danymi literaturowymi. Mazurczyk [2007] również zajmowała się rozkładem turbulencji przy przepływie w korytach otwartych z zabudową roślinną. W swojej pracy wykazała m.in., że in-



Rys. 3. Rozkład prędkości w przepławce z zabudową roślinną (• – punkty pomiaru głębokości)
 Fig. 3. Local velocity distribution in fishway with vegetation (• – points of depth measurements)



Rys. 4. Rozkład stopnia turbulencji Tu w przepławce z zabudową biotechniczną
 Fig. 4. Distribution of the turbulence number Tu in fishway with vegetation



Rys. 5. Rozkład przestrzenny stopnia turbulencji Tu dla koryta bez zabudowy biotechnicznej
Fig. 5. Distribution of the turbulence number Tu for laboratory flume without vegetation

tensywność turbulencji związana jest z wieloma czynnikami np. geometrią koryta, transportem rumowiska oraz charakterystyką zaburzających przepływ stref roślinnych (ich lokalizacją w przekroju przepływowym, konfiguracją i gęstością roślin). Parametr opisujący stopień turbulencji może przyjmować bardzo zróżnicowane wartości z przedziału $Tu = 0,05-0,90$. Wg Mazurczyk [2007] wzrasta on m.in. wraz z zagęszczeniem roślin w korycie. Podobne wartości parametru Tu uzyskał Kałuża [2000]: „charakterystyczne jest również wydzielanie się stref o dużej turbulencji w przestrzeniach między elementami roślinnymi”. Wg Kałuży, dla zabudowy roślinnej rozmieszczonej w korycie laboratoryjnym „w szachownicę”, wartości współczynnika Tu zawierały się w przedziale $Tu = 0,15-0,75$.

Przy okazji badań laboratoryjnych przepławki stwierdzono, że wyznaczone dla przepływu w korycie bez roślin, wartości parametru Tu zmieniły się w zakresie $Tu = 0,3-0,55$ (rys. 5), natomiast po wprowadzeniu zabudowy biologicznej intensywność turbulencji na górnym stanowisku spadła do poziomu $Tu = 0,1-0,4$ (tab. 2, rys. 4). Strefy roślinne swoim oddziaływaniem wy tłumili (wyciszyły) turbulencje w korycie po stronie wody górnej.

PODSUMOWANIE

Przepławki dla ryb z zabudową biotechniczną (roślinność + głązy) stanowią przykład zastosowania roślin do konstruowania naturopodobnych, proekologicznych budowli wodnych. Z punktu widzenia hydromechaniki jest to przypadek, gdy w pole prędkości przepływu wprowadza się zaburzenie (przeszkodę) w postaci różnorodnych

kombinacji rozmieszczenia przestrzennego stref roślinnych, ale także gatunków roślin, cech geometrycznych (fazy rozwoju) i biomechanicznych samych roślin. W strefach tych ma miejsce lokalna redukcja prędkości i dyssypacja energii strumienia. Oddziaływanie wymienionych czynników na warunki przepływu nie jest łatwe do określenia na drodze czysto teoretycznej. Niezbędne są w takich przypadkach badania eksperymentalne np. na modelach laboratoryjnych. Szczególnie przydatne są badania *struktury przestrzennej* parametrów hydraulicznych np. pola prędkości (rys. 3) lub rozkładów stopnia turbulencji Tu (rys. 4), gdyż projektowanie przepławek jedynie na podstawie średnich i uogólnionych wartości prędkości przepływu v lub objętościowej dyssypacji energii E (tab. 1) nie daje pełnej informacji o skuteczności działania przepławki. Badania modelowe pozwalają na określenie konfiguracji zabudowy roślinnej, która zapewni w takiej przepławce stabilne warunki hydrauliczne przepływu, optymalne dla migrującej ichtiofauny tj. wyraźny, stały nurt ułatwiający rybam nawigację w przepławce, strefy odpoczynku dla ryb, gdzie prędkość wody jest zredukowana oraz główne i alternatywne drogi migracji. Przepławka z zabudową roślinną w formie rygli i komór spełnia wymogi hydrauliczne dla migrującej ichtiofauny i stanowi interesującą, proekologiczną alternatywę do „ciężkiej” zabudowy technicznej.

BIBLIOGRAFIA

1. Adam B., Lehmann B. 2009. Allgemeine Anforderungen an Fischaufstiegsanlagen. Konferenzmaterialien: Vortrag zur Tagung „Oekologische Durchgängigkeit in Fließgewässern“, LUA Brandenburg, Lebus.

2. Adam B. et al. 2005. Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. DWA, 2. Auflage, Henschel.
3. DVWK 1996. Fischaufstiegsanlagen: Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Bonn, Vol. 232.
4. DWA 2010. Durchgängigkeit und Habitatmodellierung von Fließgewässern. Verlag der Bauhaus-Universität Weimar.
5. Fish passes-design, dimensions and monitoring. FAO-UN 2002. DVWK-Germany, Rome.
6. Jelonek M., Wierzbicki M. 2008. Prezentacja technicznych możliwości przywrócenia wędrówek ryb w rzekach na podstawie wybranych przykładów inwestycji zrealizowanych we Francji i Niemczech oraz USA. Materiały Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Obszarów Wiejskich, Kraków-Poznań.
7. Jeżowiecka-Kabsch K., Szewczyk H. 2001. Mechanika płynów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
8. Jędryka E. 2011. Metody zapewnienia ekologicznej drożności cieków. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie, nr 1.
9. Kałuża T. 2000. Opory ruchu przy przepływie wód wielkich wywołane roślinnością terenów zalewowych. Rozprawa doktorska (maszynopis). Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska, Akademia Rolnicza im. A.Cieszkowskiego w Poznaniu, Poznań.
10. Kasperk R., Wiatkowski M. 2008. Terenowe badania funkcjonowania przepławki dla ryb na zbiorniku Michalice. Rocznik Ochrona Środowiska, Tom 10.
11. Krüger F. 2008. Anforderungen an Fischaufstiegsanlagen, Beispiele aus der Praxis. Konferenzmaterialien: Vortrag zum Wasserbaulichen Kolloquium "Oekologische Durchgängigkeit von Fließgewässern", Universität Hannover.
12. Lubieniecki B. 2003. Przepławki i drożność rzek. Wydawnictwo Instytutu Rybactwa Śródlądowego, Olsztyn.
13. Mazurczyk A.K. 2007. Pola prędkości turbulentnych w kanałach o złożonych przekrojach poprzecznych z drzewami. Rozprawa doktorska (maszynopis). Instytut Geofizyki PAN, Warszawa.
14. Mokwa M., Wiśniewolski W. (red.). 2008. Ochrona ichtiofauny przed szkodliwym działaniem budowli hydrotechnicznych. Monografia. Dolnośląskie Wyd. Edukacyjne, Wrocław.
15. Puzyrewski R., Sawicki J. 2000. Podstawy mechaniki płynów i hydrauliki. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
16. Sigloch H. 1980. Technische Fluidmechanik. Schroedel-Verlag, Hannover.
17. Tyminski T., Kałuża T. 2013. Effect of Vegetation on Flow Conditions in the "nature-like" Fishways. Annual Set The Environment Protection, Vol. 15.
18. Zgrabczyński J. 2007. Identyfikacja i ocena sprawności przepławek dla ryb w regionie wodnym Warty. Nauka Przyroda Technologie, 1(2).



Opublikowanie pracy dofinansowano ze środków Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Lublinie.