

WARUNKI HYDRAULICZNE W PRZEPLAWKACH RYGLOWYCH O POPRZECZNIE UŁOŻONEJ SZCZELINIE GŁÓWNEJ

Maciej Wyrębek¹

¹ Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, e-mail: m.wyrebek@gmail.com

STRESZCZENIE

W ostatnich dziesięcioleciach na skutek nadmiernej regulacji rzek objawiającej się zabudową poprzeczną ciągłość korytarza ekologicznego rzek została przerwana. Wpłynęło to niekorzystnie na spadek liczebności wielu gatunków ryb. Obecnie w Polsce realizowane są programy renaturyzacji koryt rzecznych połączone z restytucją ryb dwuśrodowiskowych. Powodzenie tych programów uzależnione jest od przywrócenia ciągłości ekologicznej koryt rzecznych. Przeplawki są to urządzenia umożliwiające pokonanie przez ryby budowli poprzecznych o zbyt dużym piętrzeniu. Największą skutecznością cechują się przeplawki bliskie naturze. Występują w nich warunki hydrauliczne podobne do tych w potoku górskim. Minusem tego rozwiązania są koszty konstrukcji oraz duża powierzchnia którą zajmują. Przeplawki techniczne zajmują mniejszą ilość miejsca, lecz cechują się mniejszą skutecznością w pokonywaniu budowli poprzecznych przez ichtiofaunę. Połączeniem zalet obu rozwiązań są przeplawki ryglowe w których w sztucznym korycie tworzy się sekwencje basenów przegrodzonych ryglami z naturalnego kamienia. W pracy przedstawiono wyniki modelowania numerycznego dla przeplawki ryglowej o poprzecznie ułożonej szczelinie głównej rygla. W przeplawce tej występują dwa główne kierunki przepływu – poprzeczny odbywający się szczelinami głównymi rygla oraz zgodny ze spadkiem przeplawki szczelinami o mniejszej szerokości. Na podstawie wyników modelowania obliczono wydatek przeplawki oraz wpływ zmiany szerokości szczeliny głównej i pozostałych szczelin w ryglu przeplawki na warunki hydrauliczne.

Słowa kluczowe: przeplawka ryglowa, modelowanie numeryczne.

HYDRAULIC CONDITION WITHIN ROCK RAMP FISHWAY WITH TRANSVERSE LOCATION OF THE MAIN SLOT

ABSTRACT

In the recent decades due to the technical river training which used hydrotechnical structures the river's continuity has been broken. It had a negative impact on the decline in many fish species. Currently, many restoration projects of river beds in Poland are combined with the restitution of anadromous fish were implemented. The success of these programs depend on the restoration of the ecological corridor of the river. A fishway is a structure on or around artificial and natural barriers, such as dams to facilitate fishes natural migration. The most effective fishway is the one close to nature. Hydraulic conditions within it are similar to mountain stream. The downside of this solution is the cost of construction and the large area its occupy. Technical fishways occupy less space but are less effective. A combination of the advantages of both solutions are rock ramp fishway where sequences of pools are made of natural stone. The results of numerical modeling for rock ramp fishway with the main slot located transverse to the bed slope were shown. Within such construction of fishway there are two main directions of flow – transverse by the main slot and the consistent with the bad slope through the smaller slots. The impact of the changed width of the main slots and other slots on the hydraulic condition were calculated.

Keywords: rock ramp fishway, numerical modeling.

WSTĘP

Ramowa Dyrektywa Wodna wymusza poprawę stanu ekologicznego i potencjału ekologicznego rzek i potoków górskich. O ocenie stanu ekologicznego cieków w głównej mierze decydują bariery migracyjne w postaci stopni wodnych, zapór przeciw rumowiskowych itp. W związku z tym istnieje konieczność przygotowania odpowiednich rozwiązań dla możliwości migracji ichtiofauny i makrozoobentosu w górę i w dół cieków. Dotychczasowe rozwiązania mają zdecydowany charakter rozwiązań technicznych, które nie uwzględniają poprawności warunków stabilności biologicznych dla poszczególnych gatunków ichtiofauny.

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

Przeplawki są to urządzenia umożliwiające pokonanie przez ryby budowli poprzecznych o zbyt dużym piętrzeniu [Lubieniecki 2003]. Zasadniczą funkcją jaką musi spełniać przeplawka dla ryb jest umożliwienie rybom i innym organizmom wodnym wędrówki w przypadku przegradzania koryta rzeczno. Poprawnie działająca przeplawka będzie wówczas, jeżeli będą spełnione odpowiednie warunki określone jako kryteria stabilności biologicznej [Wiśniewolski 2011]:

- kryterium prądu wabiącego,
- kryterium prędkości granicznych,
- kryterium dopuszczalnego napelnienia w przeplawce i wielkości basenów,
- kryterium współczynnika rozproszenia energii w basenach,
- kryterium dopuszczalnej wielkości strat przy przepływie wody przez rygiel.

Ważne jest, aby spełnić wszystkie powyższe kryteria. Nie spełnienie jednego z nich może powodować wadliwe działanie przeplawki lub nawet zanik działania. Wartości graniczne poszczególnych kryteriów uzależnione są od gatunku ryb, ich środowiska bytowania, wielkości i stadium rozwoju.

Najpopularniejszym typem przeplawek są przeplawki techniczne (komorowe, szczelinowe). Wieloletnie obserwacje tych przeplawek wykazały, że cechują się one niską sprawnością dla migracji ichtiofauny. Dużo lepszą sprawność mają przeplawki w formie obejść, w których two-

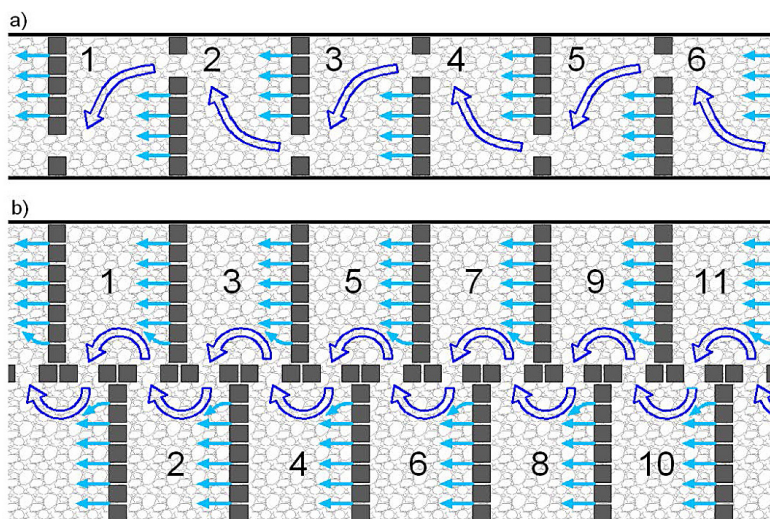
rzony jest omijający przeszkodę strumień [Mokwa 2008]. Minusem tego typu rozwiązania jest duża powierzchnia jaką zajmują. Alternatywą łączącą ze sobą zalety obu typów przeplawek są przeplawki ryglowe. W korycie tworzona jest sekwencja basenów oddzielonych ryglami ułożonymi z naturalnych głazów. Pomiędzy głazami pozostawiony jest system różnej szerokości szczelin [Wiśniewolski 2011]. W przeplawkach tych występują hydrauliczne warunki przepływu jak w potoku górskim wytworzone na dużo mniejszej powierzchni jak w przeplawkach technicznych.

Podczas konstruowania przeplawek dla ryb należy spełnić kryteria stabilności biologicznej ryb przy równoczesnym dostosowaniu przeplawki do warunków terenowych i sytuacji własnościowej. Istnieje możliwość skrócenia długości przeplawki poprzez zmianę jej konstrukcji. Rozwiązanie takie różni się od tradycyjnego lokalizacją szczeliny głównej i ułożeniem basenów: szczelina zlokalizowana jest poprzecznie do spadku dna przeplawki, natomiast baseny po dwóch stronach przeplawki. Rozwiązanie takie pozwala dwukrotnie zmniejszyć długość przeplawki.

Na rysunku 1 przedstawiony jest schemat tradycyjnej przeplawki ryglowej (a) oraz nowej konstrukcji (b). Przy założeniu długości basenu wynoszącej 3 m, dopuszczalnego spadku na ryglu 0,15 m i spadku na budowli piętrzącej (stopień wodny) wynoszącej np. 2,40 m przy rozwiązaniu tradycyjnym długość przeplawki wynosiłaby 48 m, natomiast dla nowej konstrukcji 25,5 m.

Taka konstrukcja przeplawki powoduje różnicowanie hydraulicznych warunków przepływu i podział na dwa główne kierunki przepływu:

- strumień główny przez który ryby przepływają pokonując kolejne przegrody przeplawki. Przepływa on szczelinami głównymi rygla w kierunku poprzecznym do spadku dna przeplawki. Konstrukcja przeplawki wymusza zmianę kierunku płynięcia strumienia co korzystnie wpływa na zmniejszającą się prędkość przepływu wody (rys. 1b – kolor ciemno niebieski)
- woda przelewająca się szczelinami rygla o mniejszej szerokości. Przepływ jest zgodny ze spadkiem dna przeplawki, natomiast szerokość tych szczelin w ryglu wpływa na tworzące się strefy spokojnego przepływu w basenach, w których ryby odpoczywają przed pokonywaniem strefy zwiększonej prędkości przepływając do basenu położonego wyżej (rys. 1b – kolor jasno niebieski).



Rys. 1. Schemat przepławki ryglowej: a) tradycyjna konstrukcja, b) lokalizacja szczeliny głównej poprzecznie do kierunku spadku przepławki

Fig. 1. Scheme of rock ramp fishway: a) traditional construction, b) main slot location transverse to the bed slope

W przepławce o takiej konstrukcji występują zmienne wartości różnicy poziomów zwierciadła wody pomiędzy sąsiednimi basenami. Wzdłuż strugi głównej spadek Δh_y jest dwukrotnie mniejszy od spadku pomiędzy basenami liczonego zgodnie ze spadkiem dna przepławki Δh_x . Przy zachowaniu stałej wartości prędkości maksymalnej pozwala to na dwukrotne zmniejszenie długości przepławki, albo dla stałej długości na wytworzenie mniejszych prędkości przepływu w przepławce.

METODYKA

Modelowanie numeryczne przeprowadzono za pomocą modelu CCHE2D. Jest to dwuwymiarowy model służący do obliczeń ruchu wody. W modelu tym następuje uśrednienie wielkości hydraulicznych na głębokości. Do obliczeń wykorzystuje równanie ciągłości (1) i równanie zachowania pędu (2 i 3). Do rozwiązywania równań została użyta metoda elementów skończonych [Zhang 2006].

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{1}{h} \left[\frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y} \right] - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} + f_{Cor} v \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial y} + \frac{1}{h} \left[\frac{\partial(h\tau_{yx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{yy})}{\partial y} \right] - \frac{\tau_{by}}{\rho h} + f_{Cor} u \quad (3)$$

gdzie: u, v – uśrednione prędkości w kierunku x i y ,
 g – siła przyciągania ziemskiego,
 Z – poziom zwierciadła wody,
 H – lokalna głębokość wody,
 f_{Cor} – parametr Coriolisa,
 $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{yy}$ – uśrednione na głębokości naprężenia Reynoldsa,
 τ_{bx}, τ_{by} – naprężenia styczne na powierzchni dna.

Numeryczny model przepławki ryglowej obejmował 60 m odcinek. Zagęszczenie siatki obliczeniowej wynosi 0,03 m (33 węzłów/mb, 1089 węzłów/m²). Przepławka składa się z 33 basenów ułożonych mijankowo. Długość basenu w osi rygła wynosi 3,00 m (długość wewnętrzna 2,61 m), szerokość 3,00 m. Spadek podłużny dna przepławki wynosi 5%. Powoduje to spadek zwierciadła wody $\Delta h_x = 0,15$ m, $\Delta h_y = 0,075$ m. W ścianie odgradzającej przepławkę na lewą i prawą część zlokalizowana jest szczelina główna rygła (B). Jej szerokość zmieniano w zakresie 0,15–0,45 m. W ryglach ułożonych poprzecznie do spadku przepławki zlokalizowane są szczeliny o mniejszej szerokości. Ich szerokość zmieniano w zakresie 0,03–0,18 m.

Modelowanie przeprowadzono dla dwóch wariantów zmiany konstrukcji przepławki:

- stała szerokość szczeliny głównej (B) przy zmianie szerokości dodatkowych szczelin (b),
- zmienna szerokość szczeliny głównej (B) przy stałej szerokości dodatkowych szczelin (b),

Na podstawie modelowania określono rozkład przepływu na strumień główny przepławki przepływający szczeliną główną i wartość przepływu przez dodatkowe szczeliny rygła.

Całkowity wydatek przepławki obliczono jako sumę przepływu szczeliną główną rygła oraz dodatkowymi szczelinami rygła po dwóch stronach przepławki (4). Przy takiej konstrukcji przepławki należy rozróżnić wydatek całkowity od wartości przepływu odbywającego się w kierunku pokonywania przepławki przez ryby który liczony jest ze wzoru 5.

$$Q_C = Q_B + 4 \cdot q_{bL} + 4 \cdot q_{bP} \quad (4)$$

gdzie: Q_C – całkowity wydatek przepławki [$m^3 \cdot s^{-1}$]

q_{bL} – wydatek przez szczelinę rygła znajdującą się po lewej stronie przepławki [$m^3 \cdot s^{-1}$]

q_{bP} – wydatek przez szczelinę rygła znajdującą się po prawej stronie przepławki [$m^3 \cdot s^{-1}$]

$$Q_{ST} = Q_B + 4 \cdot q_b \quad (5)$$

gdzie: q_b – przepływ przez szczelinę b [$m^3 \cdot s^{-1}$]

Dla konstrukcji przepławki z basenami znajdującymi się po dwóch stronach oraz szczeliną główną ułożoną poprzecznie do spadku dna istnieje potrzeba zmodyfikowania wzoru na obli-

czenie współczynnika dyssypacji objętościowej. Obliczenia według wzoru tradycyjnego (6) zakładają stałą różnicę zwierciadła wody na przegrodzie przepławki. W nowej konstrukcji przepławki w kierunku zgodnym ze spadkiem przepławki występuje spadek $\Delta h_x = 0,15$ m, natomiast w kierunku poprzecznym spadek wynosi $\Delta h_y = 0,075$ m. Należy również rozróżnić wartość przepływu na strumień główny i wodę przepływającą dodatkowymi szczelinami. Współczynnik dyssypacji dla modelowanej konstrukcji przepławki obliczono ze wzoru (7).

$$E = \frac{Q \cdot \Delta h \cdot \rho \cdot g}{At} \quad (6)$$

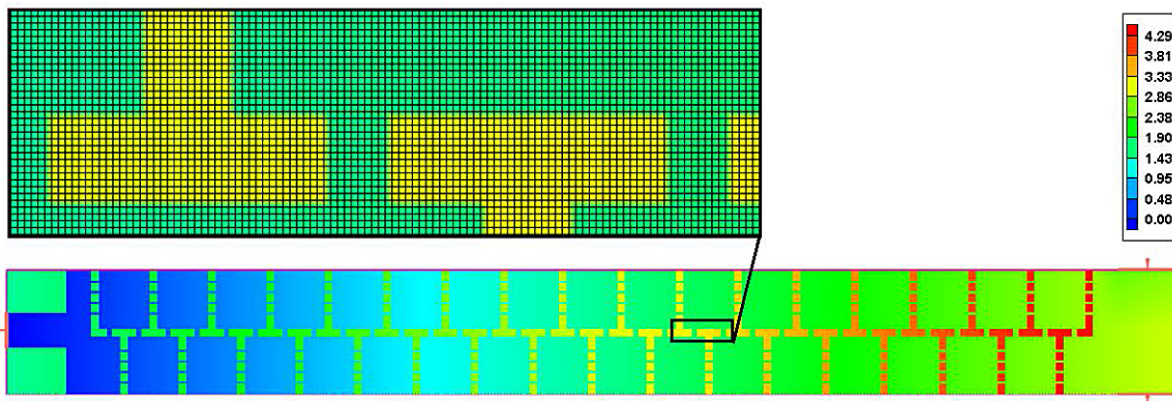
$$E = \frac{(Q_B \cdot \Delta h_y) \cdot \rho \cdot g + (4 \cdot q_b \cdot \Delta h_x) \cdot \rho \cdot g}{At} \quad (7)$$

gdzie: ρ – gęstość wody [$kg \cdot m^{-3}$]

g – przyspieszenie ziemskie [$m \cdot s^{-2}$]

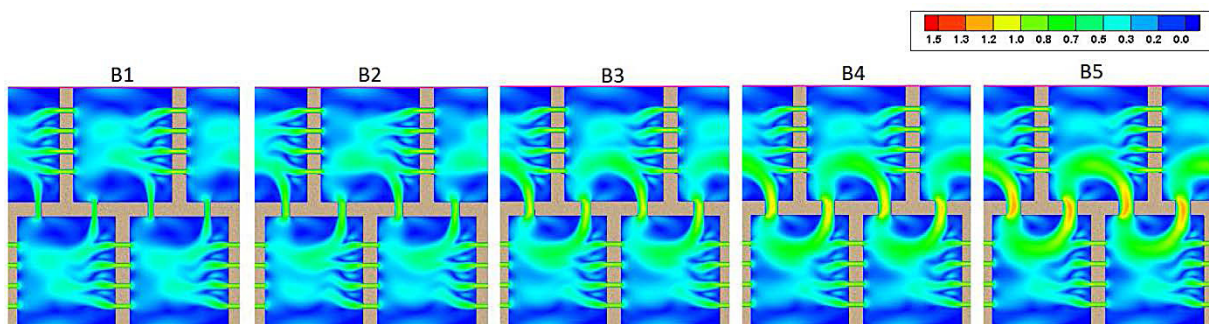
WYNIKI

Rysunek 3 przedstawia przestrzenny rozkład średniej prędkości dla zmiennej szerokości szczeliny głównej rygła. Szerokość szczeliny zmienia-



Rys. 2. Numeryczny model przepławki ryglowej, CCHE2D MESH

Fig. 2. Numerical model of rock ramp fishway, CCHE2D MESH



Rys. 3. Przestrzenny rozkład prędkości średnich dla zmiennej szerokości szczeliny B, CCHE2D GUI

Fig. 3. Mean velocity distribution – variable width B, CCHE2D GUI

no w zakresie 0,15-0,45 m w odstępach 0,06 m. Zwiększenie szerokości szczeliny przyczyniło się do zwiększenia prędkości przepływu i wydatku przepławki. W modelowanych przypadkach (B1-B5) stałe było napełnienie w przepławce i różnica poziomów zwierciadła wody Δh_x i Δh_y . Mniejsze prędkości przy mniejszej szerokości szczeliny spowodowane są większym dławieniem w szczelinie rygla. W miarę zwiększania szerokości różnica pomiędzy prędkościami spada. Dla zmiany szerokości z 0,15 m do 0,18 m zwiększenie prędkości wynosi 0,16 ms^{-1} . Natomiast zmiana z 0,33 m do 0,39 m wpłynęła na zmianę prędkości o 0,07 ms^{-1} .

Zmianie ulega rozdział przepływu. W przypadku szerokości szczeliny głównej wynoszącej B1=0,15 m rozdział przepływu szczelina główna B/dodatkowe szczeliny rygla b wynosi 0,19/0,81. Dla szerokości B5=0,39 m rozdział przepływu zbliża się do wyrównania – wynosi 0,47/0,53.

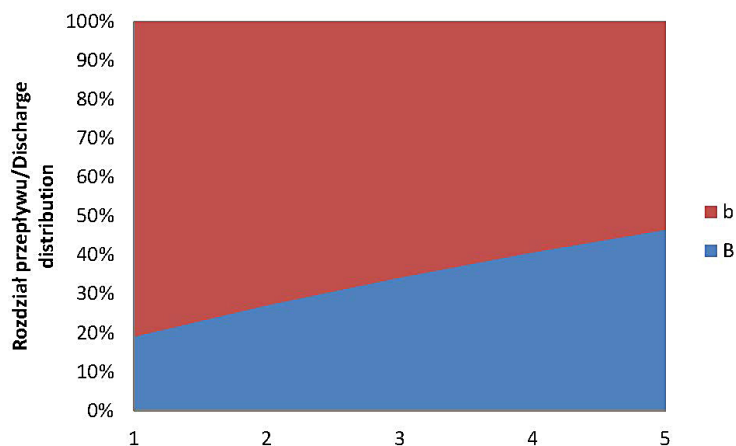
Obliczony ze wzoru 7 współczynnik dyssypacji objętościowej zwiększa się na skutek zwiększającego się wydatku przepławki.

Rysunek 5 przedstawia przestrzenny rozkład prędkości średnich dla zmiany szerokości dodatkowych szczelin rygla. Szerokość zmieniano w zakresie od b1=0,03 m do b6=0,18 m.

Tabela 1. Wyniki modelowania dla zmiennej szerokości szczeliny głównej rygla B

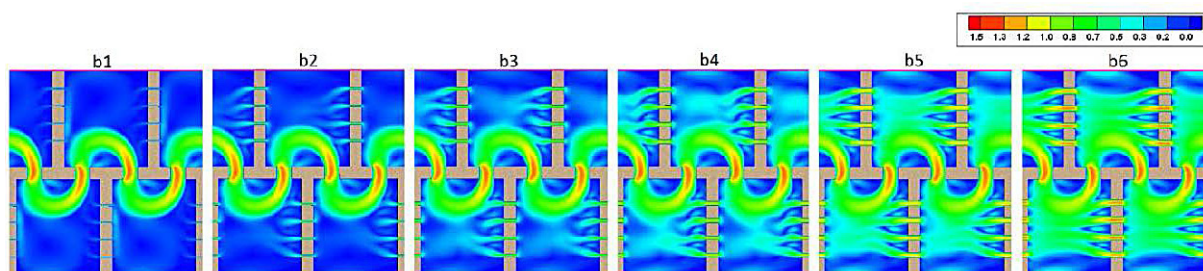
Table 1. Modeling results – variable width B

Parametr	B1_b4	B2_b4	B3_b4	B4_b4	B5_b4
B [m]	0.15	0.21	0.27	0.33	0.39
b [m]	0.12				
Q_c [m^3s^{-1}]	1.09	1.15	1.23	1.31	1.40
Q_B [m^3s^{-1}]	0.11	0.18	0.25	0.34	0.42
Q_b [m^3s^{-1}]	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
v_B [ms^{-1}]	0.80	0.96	1.08	1.16	1.23
v_b [ms^{-1}]	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
E [Wm^{-3}]	84.95	90.20	96.23	102.65	109.64



Rys. 4. Rozdział przepływu dla zmiennej szerokości szczeliny głównej rygla B

Fig. 4. Discharge distribution – variable width B

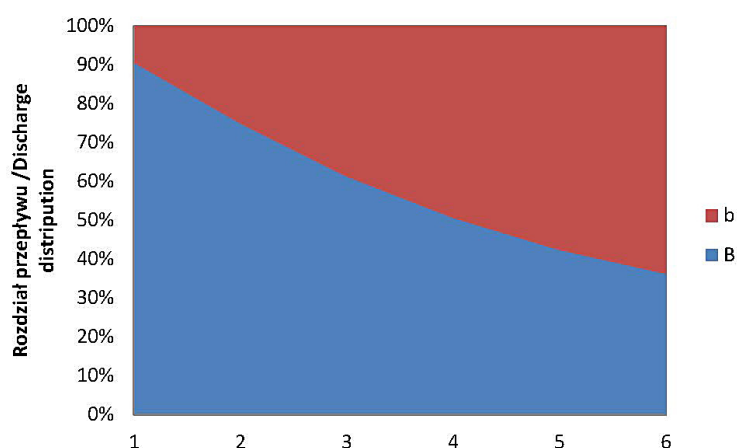


Rys. 5. Przestrzenny rozkład prędkości średnich dla zmiennej szerokości szczelin b, CCHE2D GUI

Fig. 5. Mean velocity distribution – variable width b, CCHE2D GUI

Tabela 2. Wyniki modelowania dla zmiennej szerokości dodatkowych szczelin rygła b**Table 2.** Modeling results – variable width b

Parametr	B_b1	B_b2	B_b3	B_b4	B_b5	B_b6
B [m]	0.45					
b [m]	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18
Q_c [m ³ s ⁻¹]	0.62	0.84	1.14	1.48	1.84	2.18
Q_B [m ³ s ⁻¹]	0.51	0.51	0.50	0.50	0.49	0.49
Q_b [m ³ s ⁻¹]	0.01	0.04	0.08	0.12	0.17	0.21
v_B [ms ⁻¹]	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32
v_b [ms ⁻¹]	0.37	0.60	0.90	1.05	1.20	1.32
E [Wm ⁻³]	48.37	66.15	89.31	115.44	143.61	172.76

**Rys. 6.** Rozdział przepływu dla zmiennej szerokości dodatkowych szczelin rygła b**Fig. 6.** Discharge distribution – variable width b

Szerokość szczeliny głównej była stała i wynosiła $B = 0,45$ m. Modelowanie przeprowadzono dla stałego napelnienia w przepławce $h = 1,20$ m. Szerokość dodatkowych szczelin rygła wpływa na warunki przepływu w części basenu w której występują mniejsze prędkości wody. W przypadku szczeliny o szerokości $b_1 = 0,03$ m w basenie występują obszary z prędkością poniżej $0,10$ ms⁻¹. Dla szerokości szczeliny $b_3 = 0,09$ m prędkość w tym obszarze wzrasta do $0,30$ ms⁻¹. Dalsze zwiększanie szerokości powoduje zanik strefy spokojnej w basenie przepławki. Przy maksymalnej szerokości szczelin rygła $b_6 = 0,18$ m prędkość wody w strefie spokojnej baseny przekracza $0,60$ ms⁻¹.

Przy szerokości szczeliny $b_1 = 0,03$ m ponad 90% przepływu przepływa szczeliną główną. Dla szerokości $b_4 = 0,12$ m rozdział przepływu wyrównuje się – wynosi $0,51/0,49$. Przy maksymalnej szerokości szczelin $b_6 = 0,18$ m 64% przepływu odbywa się dodatkowymi szczelinami rygła.

Współczynnik dyssypacji energii zmienia się w zakresie $48\text{--}172$ Wm⁻³.

WNIOSKI

Modelowanie numeryczne przeprowadzono na wykalibrowanym modelu numerycznym przepławki ryglowej dla stałego napelnienia w przepławce. Pozwoliło to określić krzywą wydatku przepławki dla stałego napelnienia i zmiennej konstrukcji. Przy stałych wartościach różnicy poziomów zwierciadła wody pomiędzy basenami Δh_x i Δh_y występują zmienne prędkości w szczelinach rygła. Spowodowane jest to dławieniem w szczelinach rygła i zmienną wartością prędkości wody dopływającej do szczeliny.

W przepławce ryglowej o poprzecznie ułożonej szczelinie głównej rygła występują odpowiednie warunki przepływu przy których występuje spełnienie kryteriów stabilności biologicznej. Istnieje możliwość dostosowania tego typu przepławki dla każdego gatunku ryb poprzez modyfikację konstrukcji dotyczącej szerokości szczelin rygła oraz spadku przepławki.

Ułożenie poprzeczne szczeliny głównej rygła pozwala na dwukrotne zmniejszenie długości

przeplawki dla stałej wartości Δh , lub na dwukrotne zmniejszenie wartości Δh dla stałej długości przeplawki. Korzystnie wpływa to na zmniejszenie maksymalnych prędkości wody występujących w przeplawce.

LITERATURA

1. Bartnik W., Epler P., Jelonek M., Klaczak A., Książek L., Mikołajczyk T., Nowak M., Popek W., Sławińska A., Sobieszczuk P., Szczerbik P., Wyřbek M. 2011. Gospodarka rybacka w aspekcie udrażniania cieków dorzecza Małej i Górnej Wisły, Monografia pod redakcją Piotra Eplera i Leszka Książka, Komisja Techniczna Infrastruktury Wsi PAN w Krakowie.
2. Lubieniecki B. 2003. Przeplawki i drożność rzek, Instytut Rybactwa Śródlądowego, Olsztyn,
3. Mokwa M., Malczewska B. 2008. Współczesne tendencje w budowaniu przejść dla ryb, Monografia pod redakcją Mariana Mokwy i Wiesława Wiśniewolskiego, Wrocław.
4. Wiśniewolski W. 2011. Ogólne wytyczne projektowania przeplawek dla ryb. Zrównoważone korzystanie z zasobów rybackich na tle ich stanu w 2010 roku, Olsztyn.
5. Zhang Y. 2006. CCHE-GUI-Graphical User Interface for NCCHE Model USER's Manual – Version 3.0, National Center of Computational Hydroscience and Engineering, School of Engineering, The University of Mississippi, MS 38677.