

ANALIZA WARUNKÓW STABILNOŚCI HYDRODYNAMICZNEJ DNA W PRZEPLAWKACH RYGLOWYCH

ANALYSIS OF HYDRODYNAMIC BED STABILITY CONDITIONS IN ROCK FISHWAYS

Wojciech Bartnik, Leszek Książek, Jacek Florek,
Maciej Wyřebek, Małgorzata Leja
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Budowle hydrotechniczne, spełniając swoje funkcje założone w projekcie, oddziałują negatywnie na koryto rzeki, jako że zaburzają jej funkcję korytarza ekologicznego, to jest przestrzeni bytowania organizmów roślinnych i zwierzęcych oraz drogi ich migracji w górę i w dół cieku. Aby w jak największym stopniu zneutralizować to oddziaływanie, wszelkie przegrody naturalnego koryta rzeki powinny być zaopatrzone w instalacje umożliwiające migrującym organizmom przemieszczanie się. W przypadku hydrotechnicznych budowli piętrzących podstawowy problem podczas realizacji tak postawionego zadania to konieczność wytracenia znacznej ilości energii płynącej wody, wynikłej z różnic poziomów zwierciadła pomiędzy stanowiskiem górnym i dolnym, przy równoczesnym trzymaniu się zasady jak najoszczędniejszego wykorzystania przestrzeni, małego zużycia wody, ograniczenia kosztów, a jednocześnie zapewnienia organizmom optymalnych warunków przemieszczania się. Podczas migracji ryb warunki te muszą zapewniać przepławki. Klasyczne rozwiązania tego typu konstrukcji są często nieskuteczne, projekty przepławk biologicznych bliższych naturze mają nierealne wymagania dotyczące zarówno przestrzeni zajmowanej oraz przepływu, jak i kosztochłonności. Rozwiązaniem opcjonalnym mogą być przepławki ryglowe wykorzystujące zalety i ograniczające wady obu wcześniejszych rozwiązań.

Abstract. Working accordingly to their tasks hydrodynamic structures tends to negatively modify the river bed disturbing its function as ecological corridor for migration of living organisms between separated areas laying up and down the river. To neutralize to the certain

Adres do korespondencji – Corresponding authors: prof. dr hab. inż. Wojciech Bartnik, dr hab. inż. Leszek Książek, dr inż. Jacek Florek, mgr inż. Maciej Wyřebek, mgr inż. Małgorzata Leja, Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, e-mail: rmbartni@cyf-kr.edu.pl, rmksiaze@cyf-kr.edu.pl, rmflorek@cyf-kr.edu.pl, m.wyrebek@gmail.com. m.leja1986@gmail.com.

point the negative influence the hydro-technical structures has to be supported with devices helping the living organisms in the migration. The main problem on this structures is to handle the great difference between the water levels before and after the structure and with it a lot of potential energy. While accomplishing this main task as less as possible from available free space and discharge can be taken. The costs needs to be limited and the proper conditions for migration of living organisms have to be secured. Fish ladders are used for this purpose. Classical solutions in this constructions have proven to be unsuccessful and the biological fish ladders require a lot of space as well as unacceptable portion of discharge and are cost-ineffective. The optimal solution balancing usefulness and limiting the negative effects can be achieved by using the rock fishways.

Słowa kluczowe: przepławka ryglowa, dno stabilne, naprężenia w dnie, rozkład prędkości

Key words: rock fishway, river bed stability, bottom shear stresses, velocity profile

WSTĘP

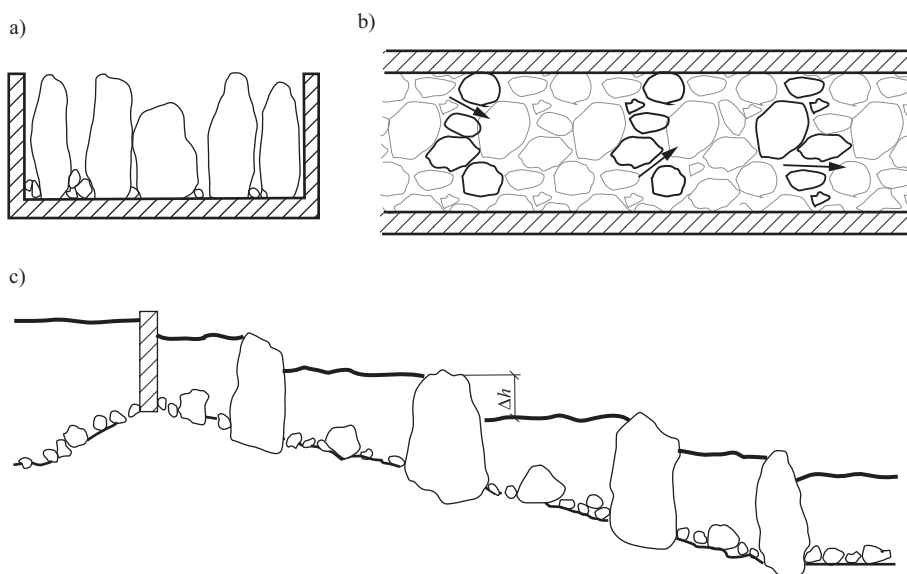
Przepławki są to urządzenia, które mają umożliwić rybom i innym organizmom wodnym wędrówkę w górę i w dół rzeki w sytuacji, gdy występuje przegrodzenie koryta rzeki budowlą hydrotechniczną. Zasada działania przepławek sprowadza się do rozłożenia dużej różnicy, jaka dzieli poziomy zwierciadeł wody poniżej i powyżej budowli piętrzącej, na większej długości poprzez stworzenie sztucznego koryta o spadku warunkującym wymagania gatunkowe ryb, z myślą o których przepławka powstaje. W rezultacie osiąga się mniejszy spadek dna i mniejszą jednostkową różnicę poziomów zwierciadła wody, co przekłada się na redukcję prędkości wody [Lubieniecki 2003].

Przepławki można podzielić na przepławki techniczne i przepławki bliskie naturze. W przepławkach bliskich naturze konstrukcja powinna być taka, aby imitować naturalny potok górski. Minusem tego rozwiązania są wysokie koszty, zwiększony pobór wody i znaczna przestrzeń, którą zajmuje przepławka. Przepławki techniczne najczęściej mają konstrukcję basenową (*step-pool fishway*). Następuje w nich zmniejszenie prędkości wody w basenach, natomiast zwiększenie przy przepływie przez przegrodę odgradzącą basen. W zależności od konstrukcji przegrody mogą mieć otwory i przelewy (przepławka komorowa) lub szczelinę na całej wysokości przegrody (przepławka szczelinowa).

Wieloletnie obserwacje działania przepławek komorowych wykazały, że są one mało skuteczne [Książek i in. 2008]. W związku z tym poszukiwano rozwiązania łączącego zalety obu typów przepławek. Rozwiązanie takie uzyskano w konstrukcji przepławki ryglowej.

Przepławka ryglowa jest to połączenie przepławki technicznej i przepławki bliskiej naturze. Konstrukcja przepławki jest również basenowa, lecz do jej budowy wykorzystuje się naturalne materiały. Przegroda oddzielająca baseny ma postać rygli wykonanych z kamieni (rys. 1). Zasada działania przepławki ryglowej jest taka sama jak w przypadku innych przepławek o konstrukcji basenowej, tj. jej elementy wywołują zwiększenie prędkości przy przepływie przez rygiel i zmniejszenie prędkości w basenie.

Na dnie przepławki znajduje się luźno ułożone rumowisko. Średnica rumowiska powinna być taka, aby było ono stabilne [Gessler 1971, Graf 1971] dla całego zakresu przepływów w ryglu i w basenie. Celem pracy było określenie naprężeń stycznych działających na dno przepławki w basenie i ryglu, co umożliwiłoby odpowiedni dobór średnicy rumowiska [Bartnik 1992, Bartnik, Florek 2000], by zapewnić stabilność dna przepławki.



Rys. 1. Schemat przeplawki ryglowej: a) przekrój przez rygiel, b) widok z góry, c) profil podłużny
 Fig 1. Rock fishway: a) cross section, b) plan view, c) longitudinal profile

METODYKA

Określenie stabilności dna w przeplawce z materiałem ruchomym wymaga zbadania zależności pomiędzy siłami, jakie występują w związku z ruchem wody przez przeplawkę, a granicznymi wartościami tych sił, powyżej których to wartości następuje ruch materiału dennego [Bartnik 1992]. Przeplawkę charakteryzują sąsiadujące ze sobą obszary o silnie zróżnicowanych parametrach hydraulicznych ruchu wody. W rejonie rygla przekrój może wykazywać silne zdławienie boczne, wpływając na kształt profilu prędkości ruchu wody, podczas gdy na obszarze basenu rozwijać się będzie logarytmiczny profil prędkości, w związku z czym oczekiwac możemy różnych warunków oddziaływania wody na podłoże. Jeśli na podstawie znanych parametrów ziarna lub prędkości granicznej w dnie określimy wartości naprężeń, powyżej których może rozpocząć się ruch rumowiska, wówczas możemy stwierdzić, gdzie i w jakich warunkach pracy przeplawki spodziewać się można warunków stabilnych.

Naprężenia graniczne obliczono ze wzoru:

$$\tau_{gr} = f_m \cdot d_m \cdot \Delta\gamma_s, \quad \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$$

gdzie:

- f_m – bezwymiarowe naprężenia styczne, $f_m = 0,035$,
- $\Delta\gamma_s$ – ciężar objętościowy rumowiska zanurzonego w wodzie, $\text{N} \cdot \text{m}^{-3}$,
- d_m – średnica miarodajna rumowiska, m.

W przypadku, gdy profil prędkości przy dnie ma rozkład logarytmiczny [Graf 1971], prędkość dynamiczną można obliczyć z zależności:

$$v_* = \frac{s}{5,75}, \quad \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

gdzie:

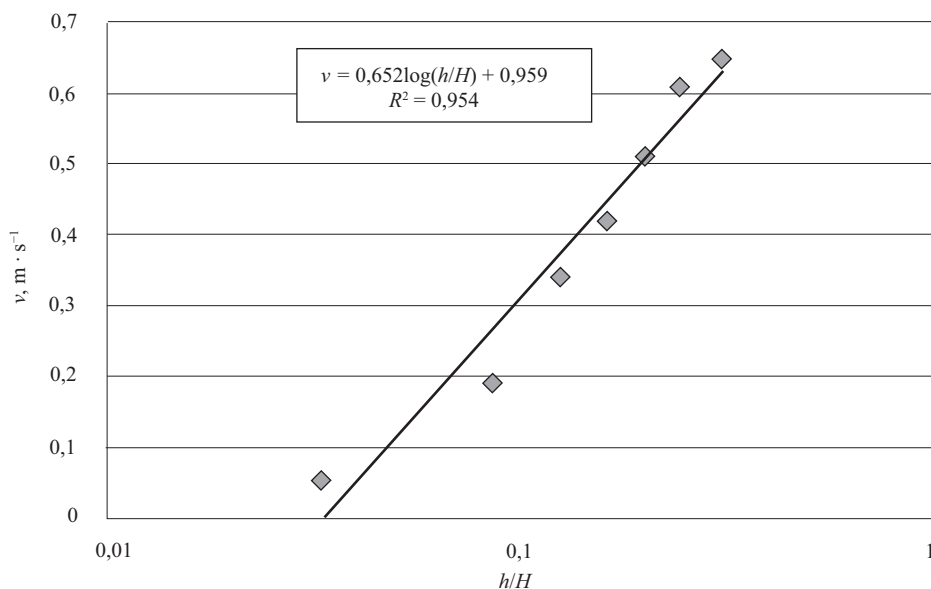
s – nachylenie prostej zgodne z wzorem: $v = s \cdot (\log y) + b$, w którym: v – prędkość wody, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, y – względne napelnienie, b – wartość stała.

Powyższy wzór określający prędkość dynamiczną jest możliwy do zastosowania gdy profil prędkości w skali półlogarytmicznej przybiera postać zbliżoną do prostej (rys. 2). Pozwala to na obliczenie naprężeń ścinających:

$$\tau_{gr} = \rho \cdot v_*^2, \quad \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$$

gdzie:

ρ – gęstość cieczy, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.



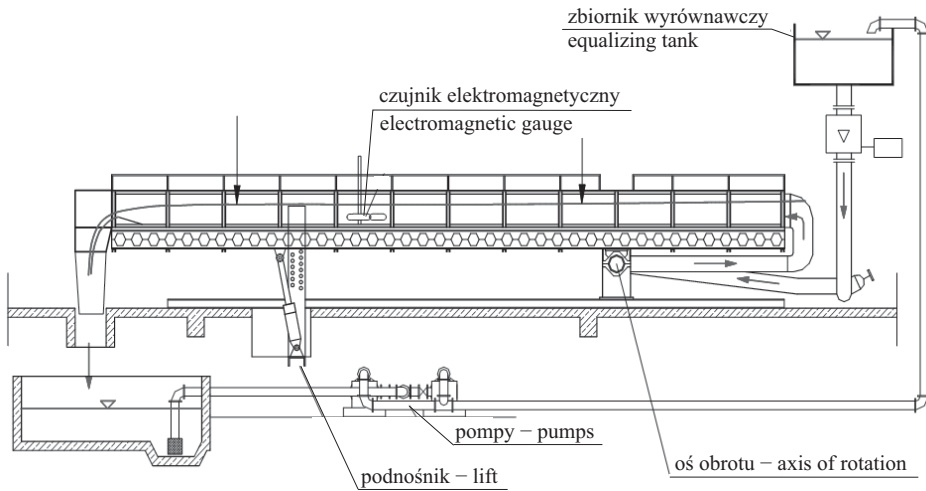
Rys. 2. Rozkład prędkości ruchu wody nad dnem (skala półlogarytmiczna);

$$Q = 0,038 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}, \quad i = 8,7\%, \quad F_3$$

Fig 2. Velocity distribution in vertical profile (X-axis is logarithmic to obtain the describing function egz.: $a \cdot \log + b$)

POMIARY LABORATORYJNE

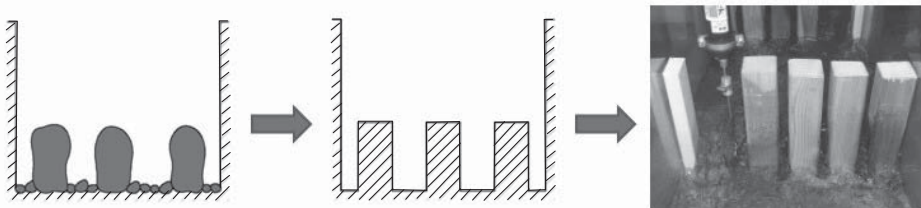
Pomiary przeprowadzono w Laboratorium Hydrotechnicznym Katedry Inżynierii Wodnej i Geotechniki (KIWiG) Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Długość koryta hydraulicznego wynosiła 12 m, z czego 8 m było przeszklone. Wymiary przekroju poprzecznego: wys. 0,6 m, szer. 0,485 m. Spadek można było regulować skokowo w zakresie od $-25,6\%$ do $84,7\%$. Układ zasilający koryta w wodę działał w obiegu zamkniętym [Książek 2000]. Schemat działania koryta hydraulicznego przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Schemat koryta hydraulicznego [Książek 2000]
 Fig. 3. Schema of laboratory flume [Książek 2000]

Prędkość wody została zmierzona za pomocą przyrządu ADV (Acoustic Doppler Velocimeter), który współpracuje z programem komputerowym Horizon ADV.

Model przeplawki ryglowej składał się z sekwencji czterech rygli i trzech basenów. W celu sparametryzowania geometrii przeplawki i określenia wpływu konstrukcji rygla na hydrauliczne warunki przepływu w przeplawce nieregularne kształty kamieni zastąpiono regularnym kształtem prostokątnym przy zachowaniu stałej powierzchni aktywnej przekroju poprzecznego (rys. 4). Rygle wykonano z pali drewnianych o wymiarach 67×67 mm, układając je w różne konfiguracje. Stała była szerokość głównej szczeliny rygla – B , natomiast zmienna szerokość pozostałych szczelin – b (rys. 5). Uzyskano w ten sposób zmienną wartość powierzchni aktywnej przekroju rygla w zakresie od 25% do 37% (tab. 1.) Na dnie przeplawki znajdowało się rumowisko o średnicy d od 2 do 4 cm.



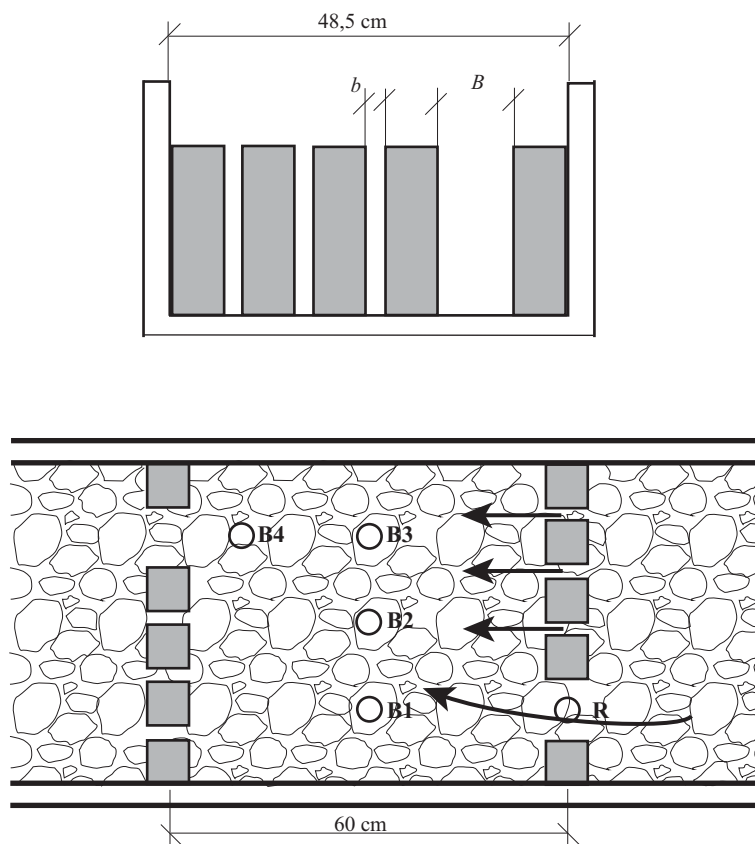
Rys. 4. Schemat przejścia z nieregularnego kształtu kamieni na kształt prostokątny
 Fig. 4. Conversion method form natural stones to fish ladder model rectangular in shape

Tabela 1. Konfiguracje ułożenia rygła
Table 1. Configuration of cross section

	Otwór główny rygła Main opening in rocks B , m	Rozmiar szczeliny Mean interval b , m	Powierzchnia aktywna Active field F_{aktywna} , %
F_1	0,12	0	25
F_2	0,12	0,01	31
F_3	0,12	0,02	37

Prędkość została zmierzona w pięciu pionach (rys. 5):

- pion R – główna szczelina rygła,
- piony $B1$, $B2$, $B3$ – przekrój poprzeczny na środku basenu,
- pion $B4$ – w odległości 5 cm od głównej szczeliny dolnego rygła.



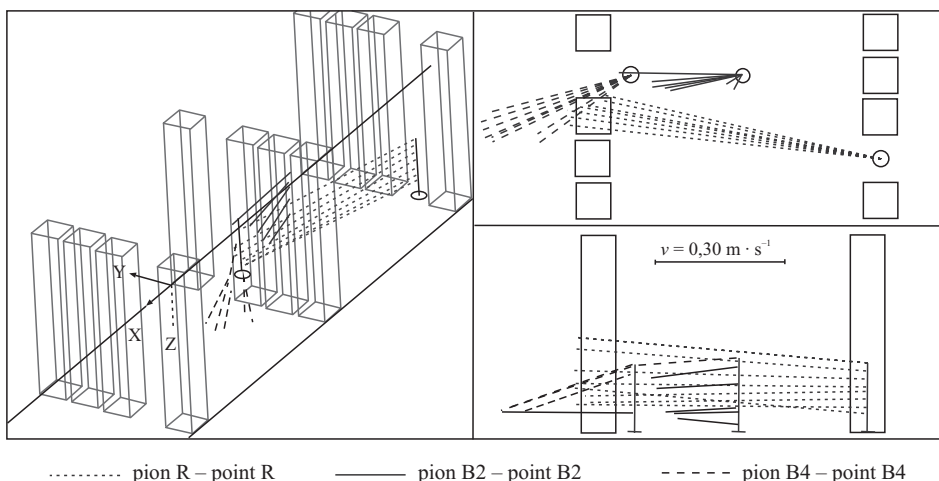
Rys. 5. Schemat modelu przepławki ryglowej z zaznaczonymi pionami pomiarowymi
Fig. 5. Distribution of velocity measurement points in fish ladder model

Pion hydrometryczny składał się z dziesięciu punktów pomiarowych rozłożonych równo na całej wysokości profilu. Na podstawie trzech składowych wyznaczono wektory prędkości, których długość w skali odpowiada wartości prędkości. Pozwoliło to również określić kierunek poszczególnych wypadkowych wektorów prędkości (rys. 6). Na podstawie profili prędkości obliczono prędkości uśrednione ruchu wody w pionach oraz naprężenia styczne na dnie.

WYNIKI

Model przeplawki ryglowej, zbudowany, jak już wspomniano, w Laboratorium Hydrotechnicznym KIWiG, wykonano w skali 1 : 6. Posługując się kryterium podobieństwa Froude’a, przeliczono wartości przepływu i prędkości wody.

Rys. 6 przedstawia wizualizację pomiaru trzech składowych prędkości sondą ADV.



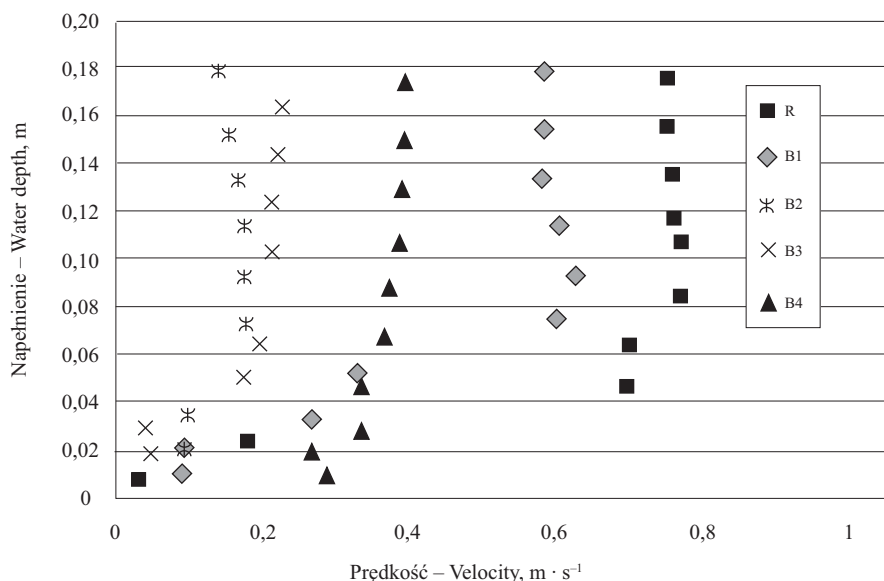
Rys. 6. Wizualizacja rezultatów pomiaru prędkości sondą ADV: $Q = 0,032 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $i = 16,7\text{‰}$, F_2
 Fig. 6. Visualization of velocity measurement results using ADV device: $Q = 0,032 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $i = 16,7 \text{‰}$, F_2

Rys. 7 przedstawia profile prędkości dla powierzchni aktywnej rygla F_2 stanowiącej 31% całkowitej powierzchni przekroju poprzecznego. Można wydzielić dwie strefy przepływu: strefę zwiększonych prędkości wody i strefę spokojną. Pierwsza przebiega przez piony R, B1 i B4. Widać tutaj zmniejszanie się prędkości w miarę przemieszczania się strug wody przez basen – odpowiednio: $v_R = 0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $v_{B1} = 0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $v_{B3} = 0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Strefa spokojna znajduje się w basenie pomiędzy liniami biegnącymi wzdłuż koryta i przechodzącymi przez rygle. Występuje tam zmniejszenie prędkości ruchu wody do ok. $0,20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Obliczenie naprężeń granicznych:

$$\tau_{gr} = 0,035 \cdot 16500 \cdot 0,03 = 17,3, \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$$

Naprężenia graniczne dla rumowiska znajdującego się w przeplawce wynoszą $17,3 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$.



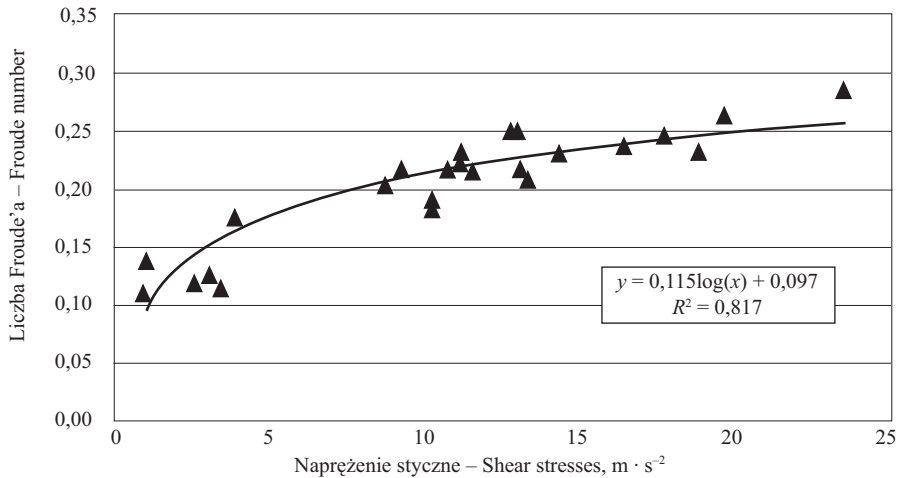
Rys. 7. Profile prędkości: $Q = 0,032 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $i = 16,7\%$, F_2

Fig. 7. Velocity profiles: $Q = 0.032 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $i = 16.7\%$, F_2

Charakterystyka pracy przeławkii ryglowej polega na wytworzeniu hydraulicznych warunków przepływu wody podobnych do tych w naturalnym potoku górskim [Książek i in. 2011]. Efekt ten uzyskuje się, różnicując warunki przepływu poprzez wprowadzenie kaskadowego układu zwierciadła wody, w którym mały spadek w obszarze basenu przedzielają znaczne spadki w strefie rygli.

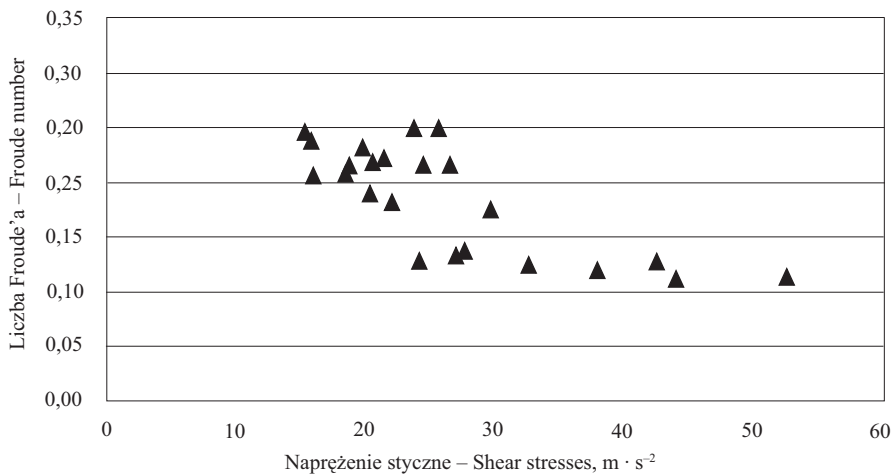
Na podstawie przedstawionych wyników można stwierdzić brak rozkładu logarytmicznego prędkości na obszarze rygla, w którym ruch wody odbywa się przez wąską i wysoką szczelinę, w rezultacie czego prędkości maksymalne występują tu w połowie napelnienia pomiędzy 0,082 m a 0,104 m przy całkowitym napelnieniu 0,2 m (rys. 9). Za pierwszym rygłem, idąc po obszarze komory w kierunku następnego, tj. w punkcie B1, a więc w odległości równej w profilu podłużnym połowie długości całej komory, zaobserwować można w pełni wykształcony profil logarytmiczny rozkładu prędkości (rys. 8) z odnotowaną prędkością maksymalną na tej samej wysokości co w leżącym powyżej punkcie R. Położenie maksymalnej prędkości w punktach R oraz B1 na tej samej wysokości spowodowane jest bezpośrednim kontaktem w linii prostej pomiędzy tymi punktami. Założenie umożliwiające określenie prędkości dynamicznej na podstawie kierunkowego współczynnika w równaniu funkcji (rys. 2) pozwala na obliczenie w tym pionie (B1) prędkości wynoszącej $0,12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. W rzeczywistości pomiar w tym pionie wykazał prędkość średnią $v_{sr} = 0,45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, jednakże w strefie przydennej prędkość pomierzona była znacznie niższa i wyniosła $0,10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Naprężenia graniczne wyznaczone dla istniejącej pokrywy uziarnienia dennego zbudowanego z materiału o przedziale frakcji 2–4 cm wynoszą $17 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ i generalnie są nieprzekroczone w pionach na obszarze basenu oraz zdecydowanie przekroczone w ryglach. Wyjątki od tej zasady pojawiają się w znikomej

procentowo liczbie pomiarów tylko w warunkach wysokich lub niskich przepływów, czyli w zasadzie poza oczekiwanymi parametrami pracy przeplawki. W praktyce oznacza to, że zarówno przy niskich przepływach bądź kombinacji znacznych spadków z niskimi przepływami, jak i przy wysokich przepływach oraz niskich spadkach wartości uzyskane w pomiarach na badanym modelu przeplawki ryglowej będą mieścić w sobie wszystkie parametry robocze rzeczywistej przeplawki.



Rys. 8. Zależność naprężeń stycznych od liczby Froude'a dla pionu B1

Fig. 8. Relation between the shear stresses and the Froude number for the B1 point



Rys. 9. Zależność naprężeń stycznych od liczby Froude'a dla pionu R

Fig. 9. Relation between the shear stresses and the Froude number for the R point

Jeśli prześledzić ruch wody pomiędzy dwoma ryglami (rys. 7), to zauważyć można nie tylko tworzenie się w basenie logarytmicznego profilu prędkości i jego zanik w ryglach, ale również stopniowe zmniejszanie się prędkości średnich, idąc w kierunku centrum basenu, gdzie prędkości ruchu wody nie przekraczają $0,20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, podczas gdy w punktach leżących na wprost rygli sięgają $0,60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Prawidłowo funkcjonująca przepławka musi również spełniać warunek dyssypacji energii. Oznacza to, że ilość wypracowanej energii przypadająca na jednostkę objętości przepławki nie może przekraczać wartości $150\text{--}200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3}$. W rzeczywistości zakresy pracy dotyczące wszystkich występujących w modelu warunków przepływu mieściły się w granicach między $61,84$ a $342,55 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3}$, co po przeliczeniu skali modelu na warunki rzeczywiste oznaczałoby dla przepławki o 3 m szerokości przepływu odpowiednio $0,73 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ oraz $3,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. W związku z ograniczeniami górnej wartości wskaźnika dyssypacji energii w odniesieniu do badanego modelu, to jest $200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3}$ przy spadku $25,6\%$, przepływ w modelu wyniósł $0,015 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a w warunkach rzeczywistych osiągnąłby $1,35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Prawidłowa praca przepławki ryglowej wymaga utrzymania odpowiednich (granicznych) prędkości wody w ryglu i zapewnieniu strefy ze spokojnym ruchem wody w basenie. Dla przebadanego modelu przepławki zmierzone prędkości maksymalne w ryglu wynoszą od $0,27$ do $0,74 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. W basenie przepławki po przeciwnej stronie szczeliny głównej rygla występuje strefa spokojnego ruchu z prędkościami od $0,04$ do $0,46 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. W rzeczywistości w tego typu przepławce wytyczne dotyczące prędkości maksymalnych podają nieprzekraczalną wartość zmieniającą się w zależności od gatunku ryb od $1,50$ do $2,00 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Ponieważ przebadany model przepławki ryglowej wykonano w Laboratorium Hydrotechnicznym KIWIG w skali $1 : 6$, zaś przeliczone prędkości ruchu wody dla przepławki o wymiarach technicznych (tj. szerokość) 3 m w ryglu wynoszą $0,67\text{--}1,80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, a w spokojnej części basenu $0,10\text{--}1,13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, są więc one znacznie niższe od wymaganych przy jednoczesnym zachowaniu warunków dna stabilnego.

PODSUMOWANIE

Podstawowy cel przedstawionego opracowania stanowi rozwiązanie kwestii związanej ze stabilnością dna w przepławce ryglowej, to jest zbadanie warunków w niej panujących i podanie zakresów roboczych w modelu z przeniesieniem na warunki rzeczywiste. Dno przepławki wyścielone materiałem różnoziarnistym, odzwierciedlające swoim charakterem warunki w korycie potoku górskiego, cechuje się wartościami granicznymi ruchu wody, po przekroczeniu których może zostać uruchomione, czyli wprowadzone do transportu, co naruszyłoby funkcjonalność przepławki jako całości. Przedstawione wyniki dowodzą, że w zakresie roboczym przepławki ryglowej jej komory nie są zagrożone ruchem rumowiska. Specyfika szczelin (rygli) jest taka, że wymusza konieczność ustabilizowania w nich dna. Ruch wody jest tam na tyle intensywny, że przy zastosowaniu materiału kamiennego o praktycznych wymiarach nie uda się uzyskać warunków dna stabilnego w tej części przepławki. Trzeba jednak zauważyć, iż strefa rygla, o której tu mowa, to zaledwie kilka procent powierzchni komory i taka sama względna część

powierzchni całej przeplawki. Z punktu widzenia technicznego komora może więc zawierać materiał, który zdecyduje o specyfice dna typowej dla cech potoku górskiego, a więc materiał wysortowany siłami ruchu wody, z cechami wskazującymi na jego stabilizację przez obrukowanie, podczas gdy znikomo mały obszar rygla będzie sztucznie zabezpieczony. Wszystkie pozostałe parametry użytkowe badanej przeplawki ryglowej spełniają wytyczne odnoszące się do przeplawki jako urządzenia umożliwiającego migrację ryb. Badany model respektuje wartości prędkości maksymalnych, dopuszczalny wskaźnik dyssypacji energii, graniczne naprężenia w dnie dla zastosowanego w nim kamienia różnoziarnistego, czyli niezmienione warunki funkcjonalne konstrukcji, oraz geometrie wyrażoną wymiarami poszczególnych elementów komory i rygli.

Badania zrealizowano w ramach Projektu Rozwojowego Nr N R14 0041 06/2009 Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

PIŚMIENNICTWO

- Bartnik W., 1992. Hydraulika potoków z dnem ruchomym. Początek ruchu rumowiska. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Rozprawa hab. 171.
- Bartnik W., Florek J., 2000. Ocena warunków równowagi hydrodynamicznej potoku górskiego na podstawie analizy hydraulicznych parametrów przepływu. Zesz. Nauk. AR w Krakowie 370, Inż. Środ. 20, 163–175.
- Gessler J., 1971. Beginning and ceasing sediment motion. [W:] River Mechanics. Red. H.W. Shen. Water Resources Publications Fort Collins (CO), rozdz. 7.
- Graf W.H., 1971. Hydraulics of sediment transport. McGraw-Hill Book London.
- Książek L., 2000. Proces deformacji dna koryta potoku górskiego i jego związek z siłą wleczenia pojedynczych ziaren rumowiska. Rozpr. doktorska. Wydział Inżynierii Środowiska, Akademia Rolnicza w Krakowie.
- Książek L., Bartnik W., Wyrębek M., 2008. Modelowanie numeryczne warunków przepływu wody w przeplawce dla ryb. [W:] Ochrona ichtiofauny w rzekach z zabudową hydrotechniczną. Red. M. Mokra, W. Wiśniewolski. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne Wrocław, 156–166.
- Książek L., Strużyński A., Wyrębek M., 2011. Hydrodynamical conditions of bed stability in close to nature fish ladders. 15th International Conference on Transport and Sedimentation of Solid Particles. Red. J. Sobota. Wrocław, 309–321.
- Lubieniecki B., 2003. Przeplawki i drożność rzek. IRS Olsztyn.

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 15.06.2012