



**DYSSYPACJA ENERGII W UKŁADZIE LINIOWYM  
NA PRZYKŁADZIE PRZEPLAWKI RYGLOWEJ  
NA RZECE TUSZYMCE**

***Maciej Wyrębek, Jacek Florek***

*Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kollątaja w Krakowie*

***LINEAR ENERGY DISSIPATION ASSESSMENT BASED  
ON ROCK RAMP FISHWAY ON TUSZYMKA RIVER***

***Streszczenie***

Konieczność zabezpieczenia przeciwpowodziowego rzek i potoków, przeprowadzone regulacje polegające na ustabilizowaniu położenia koryt rzecznych spowodowały skrócenie biegu cieków, wyprostowanie koryt i zwiększenie lokalnych wartości spadków. Efektem tych działań była konieczność stworzenia budowli poprzecznych przegradzających cieki i wytwarzających różnice poziomów zwierciadła wody. Budowle takie przerywają ciągłość korytarza ekologicznego rzeki i oprócz wielu innych cech uniemożliwiają migrację ryb w górę biegu cieku.

Przywrócenie ciągłości rzeki wymaga stworzenia dodatkowych rozwiązań technicznych, których zadaniem jest umożliwienie przedostawania się rybam przez obszar budowli piętrzącej. Na przestrzeni czasu rozwój przepławek, jako budowli przywracających ciągłość koryta rzecznego pozwolił na wypracowanie szeregu konstrukcji, jednakże poszczególne rozwiązania posiadały niejednokrotnie znikomą skuteczność. Konieczność pogodzenia w małej przestrzeni jednoznacznie sprzecznych ze sobą oczekiwań, takich jak niskie prędkości, wysokie straty energii w ruchu wody, określone wymiary minimalne i maksymalne, przy założeniu że wszystkie te wymienione wyżej parametry są wzajemnie powiązane stawia bardzo wysokie wymagania wobec przepławek.

Przedstawione opracowanie proponuje wyodrębnienie wzajemnego wpływu poszczególnych czynników na straty w ruchu wody, wyrażone dyssypacją energii. Pomiary przeprowadzono na przepławce ryglowej w rejonie miejscowości Kamionka na rzece Tuszynie. Polegały one na pomiarze rzeczywistych parametrów geometrycznych poszczególnych elementów przepławki oraz na pomiarach prędkości ruchu wody w wybranych punktach. Pomiary ruchu wody w głównej mierze, skoncentrowane były, wokół miejsc o największych prędkościach tak, by możliwe było wyznaczenie w przepławce przebiegu linii gdzie są one największe. Metodyka pomiarowa oprócz głównego celu miała za zadanie wypracowanie również procedury pozwalającej na dokładny opis zjawiska dyssypacji energii przy wykonaniu pomiarów w jak najmniejszej liczbie punktów. Prezentowane wyniki koncentrują się na określeniu wielkości strat i lokalizacji miejsc gdzie one występują w przepławce.

**Słowa kluczowe:** przepławka ryglowa, dyssypacja energii, pomiar prędkości ruchu wody.

### *Summary*

*Flood risk management and river training made with use of bed stabilization techniques followed by straitening and shortening of river corridors caused increase of the fall. As the effect hydrotechnical structures emerged with the aim of utilisation of water energy by damming the water movement. Such a structures break a river's continuity and fish migrations upwards the river is impossible.*

*Regaining river's connectivity requires use of additional hydrotechnical solutions having purpose of making possible for fish to navigate obstacle in their migration up rivers and streams. Over the time development of the solutions in the field of fish migrations led to variety of constructions among them only some number really functional. The necessary compromise is needed to met all the expectations for any type of the fish pass, among them minimal and maximal water velocities, high energy losses, geometrical limitations especially considering the fact their interconnected.*

*The paper proposes separation of particular elements generating energy losses in water movement described by energy dissipation formulae. Measurements were taken on an existing rock ramp fish way on the Tuszynka River in the Kamionka settlement and consisted of fish way geometry and water velocities. Water velocities measurements location concentrated along the places with maximal velocities for position of the line representing maximal values to be estimated. Measurement's methodology*

*beside the main aim focused on limiting in site acquired number of necessary data. Presented results concentrate mostly around the problem of energy losses dimension and it's spatial allocation in the rock ramp fish way.*

**Key words:** *rock ramp fish way, energy dissipation, water velocity measurement.*

## WSTĘP

Na skutek regulacji polegającej na prostowaniu naturalnie meandrujących koryt rzecznych i skróceniu ich biegu, wiele z nich uległo wcięciu dochodzącemu do kilku metrów (Bartnik 2006). W celu poprawy tego nadal postępującego procesu konieczna jest stabilizacja profilu podłużnego cieków za pomocą budowli poprzecznych. Budowle takie powodują odcięcie położonych powyżej siedlisk tarliskowych i utratę ciągłości rzeki.

Liczne gatunki ryb przemieszczają się w poszukiwaniu: dogodnych warunków do odbycia tarła, pożywienia oraz schronienia. Wędrówki te odbywają się pomiędzy wodami słonymi i słodkimi (wędrówki diadromiczne) jak również w obszarze dorzeczy (wędrówki katadromiczne). (Wiśniewolski 2008), (Technical Supplement 14N 2007).

Przywrócenie ciągłości rzeki wymaga stworzenia dodatkowych rozwiązań technicznych, których zadaniem jest umożliwienie przedostawania się rybom przez obszar budowli piętrzącej. Służą do tego celu przepławki. Zasada działania przepławek sprowadza się do rozłożenia dużej różnicy poziomów zwierciadła wody poniżej i powyżej budowli piętrzącej na większej długości. W rezultacie osiągamy mniejszy spadek dna i zwierciadła wody, co przekłada się na mniejsze prędkości wody (Lubieniecki 2003). Objętość basenu powinna być wystarczająca do wytracenia w nim energii płynącej wody którą opisuje współczynnik dyssypacji energii.

Powstała na skutek piętrzenia różnicę poziomów zwierciadła wody, należy rozumieć jako określoną, przy danym przepływie, ilość energii jaka musi być wytracona gdy woda przemieszcza się w przepławce. Zjawisko to opisuje dyssypacja energii, która polega na przemianie energii potencjalnej zależnej od wysokości położenia masy wody w energię kinetyczną poprzez wzrost prędkości i odwrotnie w serii powtarzających się procesów przemian energii, podczas których następuje przekazywanie energii do podłoża i brzegów oraz w związku z oporami wewnętrznymi dążąc do podnoszenia temperatury wody. Ten ostatni proces uwidacznia się bardzo słabo w związku ze stosunkowo małymi oporami wewnętrznymi i bardzo wysoką pojemnością cieplną wody. Rezultatem jest przejście określonej ilości wody wyrażanej jej masą z położenia wyższego do niższego. Aby w sposób reprezentatywny opisać liczbowo proces dyssypacji

konieczne jest uwzględnienie przepływu i spadku, które pozwalają na obliczenie wielkości strat energii w czasie.

Ponieważ wymiary w przepławkach mają kluczowe znaczenie dla wielkości przepływu wody i kosztów ich wykonania, straty energii w ruchu wody odniesione są do objętości w jakiej zachodzą. Klasyczny problem przepławki można ująć w następujący sposób: jak w najmniejszej możliwej objętości, najniższym kosztem i przy poświęceniu minimalnej części wody zgromadzonej w zbiorniku budowli lub przepływającej przez nią spełnić wymagania środowiskowe czyli odnoszące się do potrzeb określonych gatunków ryb jakie przez taką przepławkę mają się skutecznie przedostać? Podawane są więc wartości odnoszące się do wymiarów minimalnych i maksymalnych oraz zakresów dopuszczalnych prędkości ruchu wody, które w rezultacie prowadzą do wytworzenia określonej wielkości przepływu przez przepławkę, narzucają jej wymiary, w tym długości poszczególnych jej elementów wymuszając w efekcie jej całkowitą długość i szerokość (Bartnik i in. 2011). Rozpraszanie energii w takiej budowli to jej utrata wynikająca z powstałej różnicy wysokości zwierciadeł wody, wielkości przepływu i dostępnej objętości. Za wypełnienie wymagań budowli uznawane jest dotrzymanie dopuszczalnych parametrów hydraulicznych określających możliwość migracji przez nią ryb. Wielkość współczynnika dyssypacji objętościowej nie powinna przekraczać  $E=200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-3}$ . Z reguły jako wartość graniczną przyjmuje się zakres od 150 do  $200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-3}$  z zastrzeżeniem dla base-nów spoczynkowych wynoszącym  $50 \text{ W}\cdot\text{m}^{-3}$  (Wiśniewolski 2011).

Istotnym elementem na jaki warto w tym miejscu zwrócić uwagę jest konieczność wygospodarowania określonej przestrzeni, w której ryby mogą wypocząć, czyli miejsca w którym prędkości ruchu wody są jak najmniejsze i to najlepiej bliskie zastoju wody co pozwala rybom na odpoczynek przed wysiłkiem związanym z pokonaniem kolejnej szczeliny. Utrzymanie jedynie pewnej narzuconej i nieprzekraczalnej wielkości prędkości w całej objętości komory nie powinno być jedynym kryterium uznawanym za wystarczające do dobrej pracy urządzenia. Odpowiednio duże wymiary przestrzeni o minimalnych prędkościach wody mogą być równie ważne jak spełnienie wartości ekstremalnych. Powstaje więc sprzeczna ze sobą potrzeba polegająca na jednoczesnej konieczności skutecznej utraty energii w całości przepławki i na wytworzeniu miejsc o prędkościach minimalnych. Wydaje się więc, że przy zastosowaniu się do wymienionych oczekiwań kluczem do sukcesu jest prześledzenie przebiegu linii, wzdłuż której obserwujemy wartości maksymalne prędkości ruchu wody. Jest to część przestrzeni odpowiadająca za wytworzenie największych strat, koniecznych w przepławce a jej dobra separacja od pozostałej części komory spełni wymogi powstania miejsc zastoiskowych.

## OPIS OBIEKTU BADAWCZEGO

Opracowanie przedstawia wyniki pomiarów i obliczeń przepławki ryglowej na rzece Tuszymka w rejonie miejscowości Kamionka. Przepławka ta jest kanałem o konstrukcji żelbetowej o dnie wyłożonym kamieniem łamanym zamocowanym na stałe w betonie. Rygle stanowią kamienne bloki ustawione w naprzemienne szeregi, posiadające dodatkowe szczeliny o mniejszej szerokości którymi woda przepływa do spoczynkowej części basenu (Rysunek 1.). Kanał przepławki ma nieregularny przebieg. W poszczególnych basenach ruch wody następuje w różny sposób, co zależy od wzajemnego ukierunkowania kanału przepławki, położenia kierunku rygli, ich rozmiarów i wysokości. Takie rozwiązanie powoduje znaczne zróżnicowanie warunków ruchu wody w poszczególnych basenach co stanowi o wartości tej konstrukcji w aspekcie potencjalnych możliwości analizy oddziaływania na siebie poszczególnych elementów przepławki. W jednym obiekcie można tutaj odnaleźć zarówno różnice w spadkach pomiędzy basenami, ukierunkowaniu strug wody, rozmiarach i działaniu poszczególnych szczelin. Wyniki pomiarów zebranych w takim miejscu dają stosunkowo szerokie spektrum zjawisk związanych przebiegiem ruchu wody w przepławce o konstrukcji ryglowej.



**Rysunek 1.** Przepławka ryglowa przy zbiorniku Kamionka, rzeka Tuszymka.  
**Figure 1.** Rock ramp fishway, Kamionka reservoir, Tuszymka river.

## METODYKA

Pomiary prędkości wody przeprowadzono za pomocą sondy FlowTracker firmy SonTek. Punkty pomiarowe zlokalizowany były w obszarze basenu w ujęciu systematycznym oraz szczegółowym w rejonie podwyższonej prędkości wody w komorze i w strudze głównej. Zmierzone różnice w położeniu zwierciadła wody. Pomiar przeprowadzono dla czterech basenów przepławki.

W jednym z basenów przeprowadzono pomiary prędkości na trzech różnych głębokościach to jest w odległości  $h=0,03$  m,  $h=0,19$  m i  $h=0,3$  m od dna. W trzech innych basenach wykonano pomiary w stałej odległości od dna wynoszącej  $h=0,2$  m, polegające na poszukiwaniu obszarów o maksymalnej prędkości ruchu wody.

Rysunek 4 przedstawia lokalizacje punktów pomiarowych. Dobór lokalizacji punktów pomiarowych wynikał z celu jakim było scharakteryzowanie hydraulicznych warunków pracy przepławki przy ograniczeniu ilości punktów pomiarowych. Geometrię przepławki i układ zwierciadła wody zmierzono urządzeniem GPS RTK, tachimetrem oraz dalmierzem laserowym.

Wydatek przepławki obliczono ze wzorów (Mokwa, 2010):

$$v = (2g\Delta h)^{0,5} [ms^{-1}]$$

$$Q = \mu b H_1 (2g\Delta h)^{0,5} [m^3 s^{-1}]$$

gdzie:  $\mu$  – współczynnik wydatku (-),

$b$  – szerokość szczeliny głównej rygla m,

$H_1$  – głębokość wody w komorze m,

$\Delta h$  – różnica poziomów wody pomiędzy komorami m.

Dyssypację energii w przepławce opisuje współczynnik dyssypacji objętościowej (Mokwa, 2010):

$$E = \frac{\rho g \Delta h Q}{At} [Wm^{-3}]$$

gdzie:  $\rho$  – gęstość wody,  $\rho=1000$  ( $kg \cdot m^{-3}$ ),

$g$  – przyspieszenie ziemskie ( $m \cdot s^{-2}$ ),

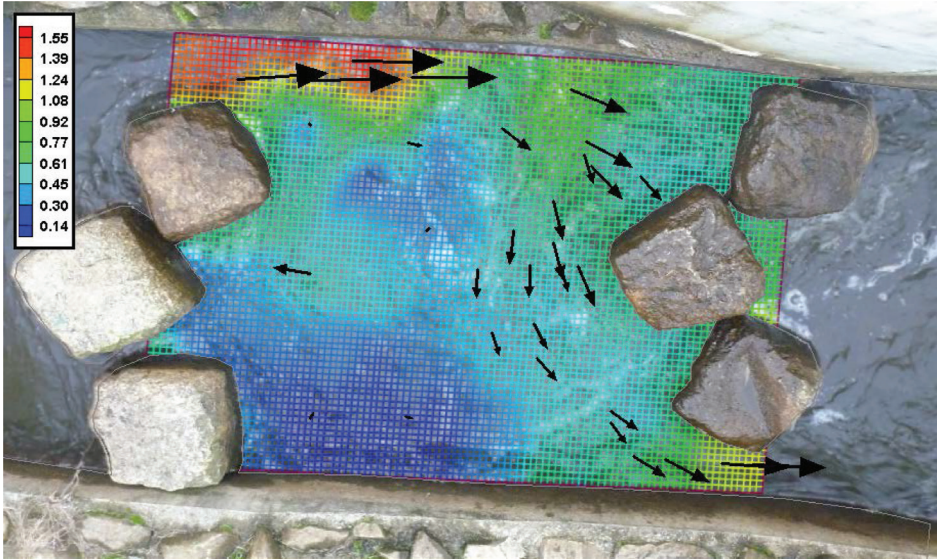
$\Delta h$  – różnica poziomów zwierciadła wody m,

$Q$  – przepływ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ),

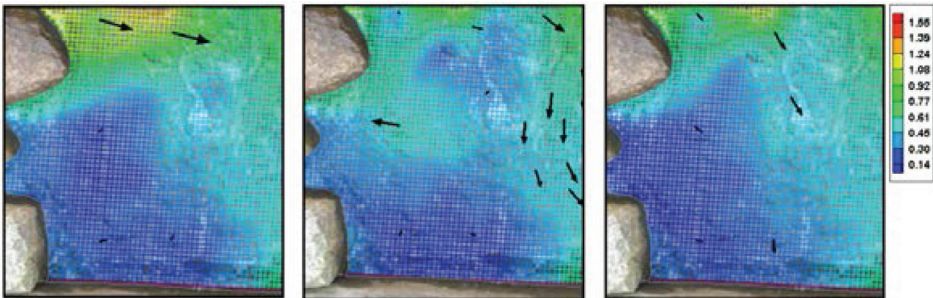
$A$  – powierzchnia basenu ( $m^2$ ),

$t$  – napełnienie m.

Wyraża on ilość energii rozproszonej w czasie w jednostce objętości przepławki. W ujęciu praktycznym jest to graniczna wartość energii jaka może być wytracona w przepławce z uwzględnieniem wymagań poszczególnych gatunków ryb.



**Rysunek 2.** Rozkład prędkości  
**Figure 2.** Velocity distribution



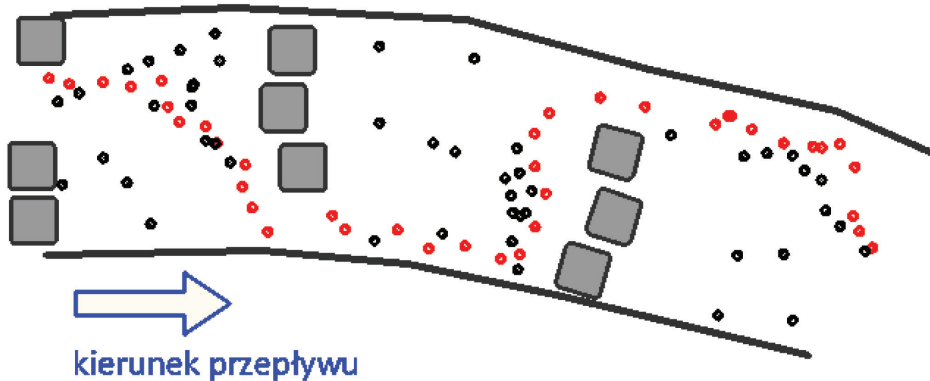
**Rysunek 3.** Rozkład prędkości w basenie przepławki, odległości od dna, idąc od lewej strony:  $h=0,03\text{m}$ ;  $h=0,19\text{m}$ ;  $h=0,30\text{m}$ .  
**Figure 3.** Velocity distribution in the fish pass chamber, distance above the bed, from left side:  $h=0,03\text{m}$ ;  $h=0,19\text{m}$ ;  $h=0,30\text{m}$ .

## WYNIKI

Rysunek 2 przedstawia przestrzenny rozkład prędkości w basenie przepławki ryglowej. Kolorami przedstawiona jest wartość prędkości wody, na-

tomiast wektorami prędkości kierunek przepływu wody. Długość wektorów prędkości przedstawia wartość prędkości. Największe prędkości występują w szczelinie głównej rygla. Prędkość wody zmniejsza się w miarę przesuwania się w dół basenu. Główny strumień zmienia swój kierunek na skutek nachylenia ułożenia szczeliny głównej co wpływa korzystnie na prędkość. Zwiększenie prędkości następuje w kolejnej przegrodzie rygla. W części basenu zlokalizowanej bezpośrednio za rygłem zaobserwować można najmniejsze prędkości ruchu wody. Strefa ta rozprzestrzenia się na całej głębokości (rysunek 3.).

Przeprowadzone pomiary miały na celu określenie jak rozkładają się prędkości w przepławce a szczególnie gdzie i w jakim zakresie pojawiają się prędkości maksymalne, jakie części przepławki obejmują i jakie występują w nich wartości prędkości. Rysunek 4 przedstawia rozmieszczenie punktów pomiaru prędkości. Kolorem czerwonym zaznaczone są punkty o wartościach maksymalnych prędkości w strudze głównej.

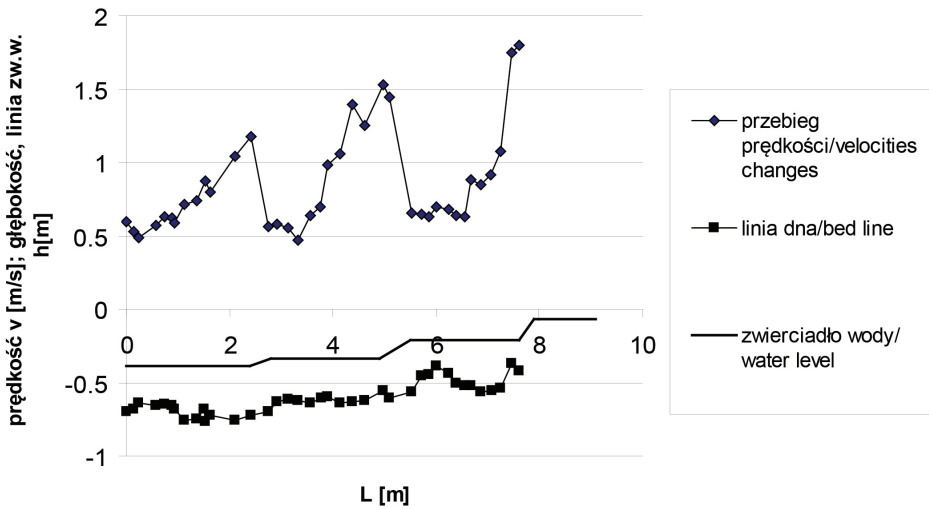


**Rysunek 4.** Lokalizacja punktów pomiaru prędkości.  
**Figure 4.** Location of velocity's measurement points.

Zmiany prędkości maksymalnych, położenia zwierciadła wody i linii dna prezentuje rysunek 5.

Obserwacja zmian głębokości, położenia zwierciadła wody i prędkości pozwala zauważyć, że w pobliżu szczelin pomiędzy komorami licząc wzdłuż linii maksymalnych prędkości na pewnej odległości wynoszącej odpowiednio 1,8 m i 2 m wartości prędkości przekraczają regularnie  $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Zestawienie prędkości z położeniem zwierciadła wody pomiędzy komorami wskazuje na relację pomiędzy tymi wartościami (tabela 1).





**Rysunek 5.** Przebieg linii o wartościach maksymalnych prędkości w przestrzeni.  
**Figure 5.** Spatial distribution of maximal velocities line.

**Tabela 1.** Zestawienie wysokości prędkości i zmian położenia zwierciadła wody wzdłuż linii prędkości maksymalnych w przepławce.

**Table 1.** Listing of kinetic energy and levels changes along the maximum speed line in fish pass.

Basen przepławki Fish pass chamber	Zmiany położenia zw.w. Water level changes (m)	Wysokości prędkości Kinetic energy (m)
1	0,142	0,141
2	0,125	0,101
3	0,054	0,050

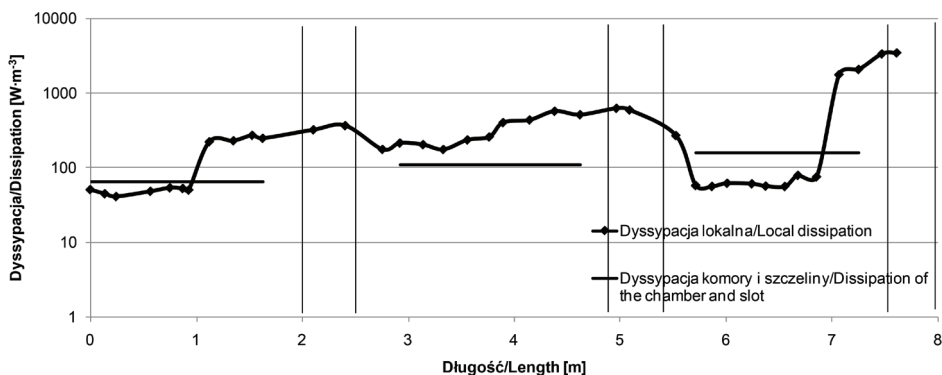
Zgodność wyników wskazuje na przekształcanie się i rozpraszanie znacznej części energii w obszarze bezpośrednio przyległym do szczelin. Różnice występujące pomiędzy pomiarami położenia zwierciadła wody a wynikającymi ze zmian prędkości wartościami wysokości energii wynikają prawdopodobnie z doboru punktów pomiarowych, których położenie zawsze odbiegać będzie nieco od obszaru prędkości maksymalnych, z różnic w prędkościach początkowej i końcowej oraz z wielkości strat w komorze.

Dalsza analiza wyników pomiarów miała za zadanie określenie całkowitej ilości energii wytracanej w przepławce wzdłuż linii o prędkościach maksymalnych w tym również w basenach. Określenie tej wartości, przy znanych całkowitych stratach wynikających z różnic zwierciadła wody na początku i końcu odcinka pomiarowego, pozwoliłoby na ustalenie wielkości strat i ilości energii rozpraszanej w basenach. Przyjęto taką strategię obliczeniową ponieważ za uboczny, wartościowy cel badań uznano możliwość wypracowania optymalnej techniki pomiaru pracy przepławki a badania trzech następujących po sobie basenów pochłonął 86 punktów pomiarowych z czego tylko 12 punktów dotyczyło obszarów basenów i stref zastoiskowych a 38 punktów bezpośrednio pozwoliło ustalić położenie linii prędkości maksymalnych. Obszar objęty pomiarami prędkości maksymalnych zajmował łącznie 1,36 m<sup>2</sup> a całkowita powierzchnia odcinka przepławki to 14,1 m<sup>2</sup>. Średnie zagęszczenie punktów pomiarowych w tej części pomiarów wyniosło 6,1 m<sup>-2</sup> podczas gdy w obszarze prędkości maksymalnych 54,2 m<sup>-2</sup>. Uwzględniając jeszcze jedną, położoną niżej, komorę łącznie wykonano pomiary w 141 punktach. Gdyby jednak zastosować pomiar systematyczny o tak wysokiej szczegółowości obszar trzech basenów i szczeliny wymagałyby wykonania na nich ponad 650 punktów pomiarowych. Przyjęte założenie pozwoliło więc na ponad siedmiokrotne ograniczenie liczby koniecznych pomiarów. Zbadanie wielkości strat wyrażonych zmianą położenia zwierciadła wody i zestawienie ich ze zmianami prędkości wykazało dobrą zgodność dla obszarów ze wzrostem prędkości to jest 0,321 m w pomiarach zwierciadła wody i 0,349 m z różnic prędkości  $\frac{v^2}{2g}$ . Straty wynikłe ze zmian prędkości są

nieco większe ponieważ początki odcinków pomiarowych się nie pokrywają, pomiar prędkości zaczyna się wcześniej idąc w górę przepławki i w rzeczywistości zmiana położenia zwierciadła wody jest większa. Zmiany wynikające ze samych tylko spadków prędkości są znacznie mniejsze i wyniosły 0,202 m a zachodząc głównie w obszarze basenów oznaczają że energia odpowiadająca różnicy wysokości 0,147 m ulega rozproszeniu w obszarze bliskim linii prędkości maksymalnych ale nie tylko na niej samej.

Podstawowym celem badań było określenie rzeczywistych strat energii wyrażonych w postaci dyssypacji w poszczególnych częściach przepławki. Aby tego dokonać wykonano pomiary: prędkości ruchu wody, położenia zwierciadła wody, wyznaczono przebieg linii o prędkościach maksymalnych oraz określono rozmiary obszarów charakteryzowanych określoną wcześniej prędkością. Efektem tych zabiegów jest określenie rozkładu dyssypacji (rysunek 6.) wzdłuż linii wyznaczonej przez pomierzone prędkości maksymalne, obliczenie wielkości dyssypacji średniej w szczelinach, basenach i całkowitych strat energii w każdym badanym miejscu. Ponieważ znana jest całkowita średnia wielkość dyssypacji energii obliczona dla tej części przepławki oraz jej wymiary, możliwe stało się

również określenie jaka ilość energii rozpraszana jest w basenach poza obszarem o zwiększonym zagęszczeniu punktów pomiarowych.



**Rysunek 6.** Dyssypacja energii w obszarze linii prędkości maksymalnych.

**Figure 6.** Energy dissipation along the maximal velocities line.

**Tabela 2.** Dyssypacja energii i straty w sekwencji szczelin i komór.

**Table 2.** Energy dissipation and losses in slots and chambers sequence.

Część przepławki Part of a fish way	Dyssypacja średnia Average dissipation ( $W \cdot m^{-3}$ )	Straty energii Energy losses (W)
Szczelina/Slot 1	2845	212
Basen/Pool 1	66	2,8
Szczelina/Slot 2	600	105
Basen/Pool 2	220	12,4
Szczelina/Slot 3	320	81
Basen/Pool 3	63	2,3

Tabela 2 przedstawia wielkości dyssypacji energii w poszczególnych częściach przepławki, to jest z podziałem na sekwencję szczelin i komór. Uwzględnione zostały średnie wielkości dyssypacji liczonej wzdłuż linii prędkości maksymalnych oraz całkowite wielkości strat energii w obszarze tej linii.

W ujęciu klasycznym dyssypację odnosi się do sekwencji złożonej z przynajmniej jednej szczeliny i jednej komory, bądź dłuższego odcinka, gdzie poszczególne dane to całkowity przepływ, rozmiary takiej części przepławki, oraz całkowita różnica poziomów zwierciadła wody. Przedstawiona tutaj metodyka obliczeniowa pokazuje wielkości dyssypacji jaka zachodzi w wyodręb-

nionych częściach strumienia przepływu stanowiących znikomą część objętości całej komory, względnie znaczną część szczeliny i zestawia te wartości z wielkościami średnimi.

Dyssypacja energii obliczona dla całego mierzonego odcinka wyniosła  $103,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3}$ , całkowita strata energii przy objętości  $4,785 \text{ m}^3$  wyniosła  $496 \text{ W}$ , straty w obszarze linii prędkości maksymalnych to  $416 \text{ W}$  a pozostałe  $80 \text{ W}$  rozproszone zostało w pozostałej przestrzeni komór. Właśnie ta ostatnia wielkość jest szczególnie interesująca, im jest ona bowiem mniejsza tym lepsze zapewnia przepławka warunki do odpoczynku rybom podczas pokonywania przez nie przeszkody. Idealna przepławka powinna mieć tą wartość jak najniższą co oznacza maksymalizację wielkości strat w obszarze linii prędkości maksymalnych. Wymiary linii zostały określone podczas pomiarów prędkości, w szczelinach narzuca je ich rozmiar, natomiast w obszarze komór, gdzie dochodzi do znacznego rozszerzania się strefy z podwyższonymi prędkościami trudne jest określenie dokładnych wymiarów a jak to zostało już wcześniej wyjaśnione konieczność ograniczenia liczby punktów pomiarowych utrudnia dokładny opis strat energii w komorach w oddaleniu od linii prędkości maksymalnych. Całkowita objętość wzdłuż, której liczona była dyssypacja stanowi  $16,1\%$  (tj.  $0,77 \text{ m}^3$ ) całkowitej objętości odcinka przepławki a zarazem koncentruje się w niej  $83,9\%$  wszystkich strat energii podczas przepływu jaki miał miejsce w dniu wykonywania pomiarów ( $Q=0,144 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Średnia dyssypacja energii w komorach poza obszarem głównego strumienia przepływu to  $19,9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3}$ , w komorach jako całość  $20,9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3}$ .

## PODSUMOWANIE

Podstawowym celem przepławki ryglowej jest podwyższenie skuteczności klasycznego rozwiązania przepławki technicznej przy jednoczesnym zachowaniu minimalizacji przestrzeni poświęconej na konstrukcję i ograniczeniu „strat” wody poświęconej na migrację ryb. Wymagania stawiane takiej konstrukcji określają wielkości prędkości i całkowite wielkości dyssypacji energii. Rzeczywiste wartości strat w ruchu wody zależą jednak od konkretnego rozwiązania i w praktyce trudne do uzyskania jest rozwiązanie, w którym przy dotrzymaniu limitów prędkości dyssypacja energii może być wysoka. Woda, której prędkość wzrosła w obszarze szczeliny może, również poza nią nadal poruszać się szybko w znacznej części całej komory pogarszając warunki pracy przepławki. Bardzo ważnym elementem geometrii przepławki jest więc takie ukierunkowanie głównego strumienia przepływu by odseparować od niego pozostałe części komór zapewniając w nich powstanie obszarów zastoiskowych gdzie ryba może odpoczywać. Pomiary i obliczenia wskazują na rozpraszanie większości energii w rejonie szczelin i tylko niewielkich jej ilości w komorach, przy czym w komorach

straty są blisko stukrotnie mniejsze niż największe lokalne straty w przepławce. Wynika z tego, że ponieważ straty przy małych prędkościach są bardzo niewielkie, rozpraszanie energii w komorach nie jest skuteczne i co za tym idzie należy szukać rozwiązania minimalizującego ruch wody w komorze. Jest to oczywiście niemożliwe, gdyż woda musi przemieszczać się przez komorę. Tak więc jedynie odseparowanie linii o prędkościach maksymalnych może przynieść dobre rezultaty w pracy przepławki. Lokalne wielkości dyssypacji mogą być kilkadziesiąt razy większe (w pomiarach 45,5) od wielkości średniej. Średnia wielkość dyssypacji energii w komorach poza linią prędkości maksymalnych jest ponad dwustukrotnie niższa od wielkości maksymalnej. Komora, w której wystąpiła najwyższa dyssypacja energii nie znajdowała się bezpośrednio poniżej szczeliny o największych prędkościach ruchu wody i dyssypacji. Uzyskanie znacznej różnicy zwierciadeł wody pomiędzy sąsiadującymi basenami, dużej prędkości w szczelinie, znacznych strat w tym obszarze, spowoduje raczej małą dyssypację w komorze. Oznaczać to może niedotrzymanie ograniczeń geometrycznych w tym minimalnej szerokości szczeliny. Duża szczelina obniży straty w niej samej i podniesie dyssypację w komorze poniżej. Może to doprowadzić do przekroczenia prędkości maksymalnych w komorze. Przedstawiony przykład pokazuje, że praca przepławki ryglowej jest balansem pomiędzy ograniczeniami geometrii, prędkości, koniecznością wytworzenia strat i każdy jej element wpływa na pozostałe.

## LITERATURA

- Bartnik W. (2006) Charakterystyka hydromorfologiczna rzek i potoków górskich. Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi PAN w Krakowie.
- Wiśniewolski W., Mokwa M., Zioła S. (2008). Migracje ryb – przyczyny, zagrożenia i możliwości ochrony – Monografia pod redakcją Mariana Mokwy i Wiesława Wiśniewolskiego, Wrocław.
- „Fish Passage and Screening Design, Technical Supplement 14N” (2007), 210-VI-NEH.
- Bartnik W., Epler P., Jelonek M., Klaczak A., Książek L., Mikołajczyk T., Nowak M., Popek W., Sławińska A., Sobieszczuk P., Szczerbik P., Wyrębek M. (2011) Gospodarka rybacka w aspekcie udrażniania cieków dorzecza Małej i Górnej Wisły. Monografia pod redakcją Piotra Eplera i Leszka Książka, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich PAN w Krakowie.
- Wiśniewolski W. (2011). Ogólne wytyczne projektowania przepławek dla ryb. Zrównoważone korzystanie z zasobów rybackich na tle ich stanu w 2010 roku, Olsztyn.
- Mokwa M. (2010). Obliczenia hydrauliczne przepławek dla ryb. Acta Scientiarum Polonorum, Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie.

Dr inż. Jacek Florek, Dr inż. Maciej Wyrębek  
Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki  
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja  
Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, rmflorek@cyf-kr.edu.pl,

Wpłynęło: 11.02.2015.

Akceptowano do druku: 15.10.2015