

ROZKŁAD PRĘDKOŚCI ORAZ NAPRĘŻEŃ STYCZNYCH W KOMORACH PRZEPŁAWKI TYPU WIELKOKOMOROWEGO

Artur Radecki-Pawlik

Politechnika Krakowska, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Karol Plesiński

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Bartosz Radecki-Pawlik

Politechnika Krakowska

Streszczenie. W pracy przeanalizowano rozkład prędkości i sił w postaci naprężeń stycznych działających w komorach przepławki dla ryb. Do analizy wybrano dobrze działającą przepławkę wielkokomorową skonstruowaną na potoku Wierchomla w miejscowości Wierchomla. Przepławka ta, o wymiarach komór $2,40 \times 4,80$ m, podczas stanów średnich i niskich umożliwia bezproblemową migrację różnym gatunkom ryb w górę strumienia, a we wnętrzu jej komór ryby znajdują miejsce na odpoczynek przed podjęciem kolejnego przejścia z komory do komory. Praca jest adresowana do inżynierów środowiska, projektantów budownictwa wodnego oraz ekologów pracujących z potokami górskimi.

Słowa kluczowe: przepławka, potok górski, naprężenia styczne, prędkości przepływu, potok Wierchomla

Adres do korespondencji – Corresponding authors: prof. dr hab. inż. Artur Radecki-Pawlik, Katedra Statyki i Dynamiki, Politechnika Krakowska ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków; dr inż. Karol Plesinski, Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków; mgr inż. Bartosz Radecki-Pawlik, Katedra Statyki i Dynamiki, Politechnika Krakowska ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków; e-mail: k.plesinski@ur.krakow.pl.

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków 2017

WPROWADZENIE

Podejmowane od lat zabiegi techniczne polegające na regulowaniu cieków poprzez ich prostowanie, umacnianie brzegów i kanalizację, a także inne prace hydrotechniczne pogarszają warunki życia ryb [Radecki-Pawlik 1993, 2013, Mokwa 2007, Radecki-Pawlik i in. 2013, 2015, Plesiński i in. 2015, Tymiński i Mumot 2015]. Szczególnie uciążliwe dla wędrówki ryb w górę cieku są budowle wodne przegradzające koryta cieków w poprzek, a mianowicie stopnie wodne, jazy, a także zapory przeciwrumiskowe. Budowle te, nawet o niezbyt dużej wysokości, ograniczają lub całkowicie uniemożliwiają migrację ryb.

Techniczna zabudowa potoków i rzek powinna być prowadzona w taki sposób, aby nie powodować trwałego pogorszenia warunków przemieszczania się, rozrodu i bytowania ryb, zarówno w ciekach, jak i w przepływowych zbiornikach wodnych [Mokwa 2007, Tymiński i Mumot 2015]. Jednym z rozwiązań technicznych, zaniechanych ostatnimi czasy, koniecznych dla życia ryb są przepławki. Przepławki to urządzenia służące rybam do pokonania różnicy poziomów wody powstałego w wyniku jej spiętrzenia. Budowa tego typu urządzeń w cieku, w którym wykonano, przykładowo, regulację rzeki za pomocą zapór przeciwrumiskowych, jest koniecznością, ponieważ wędrówka ryb w górę cieku jest ich naturalnym zachowaniem, a człowiek nie jest tego w stanie zmienić [Mokwa 2007].

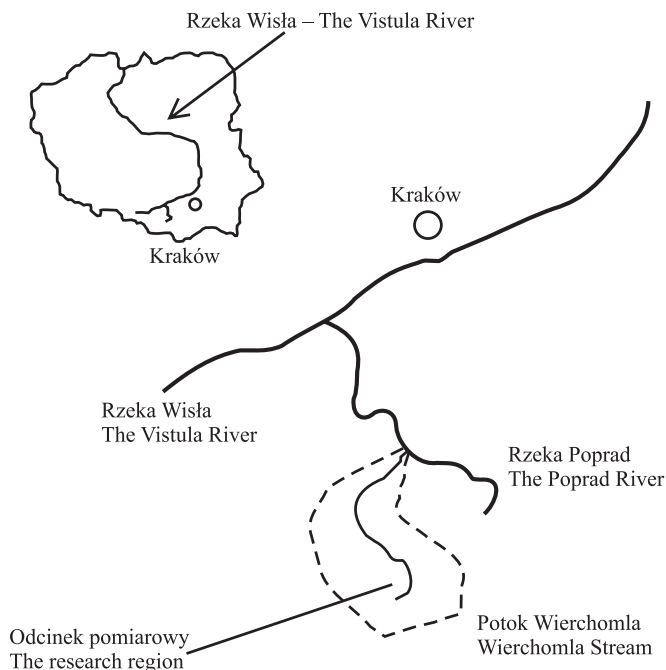
W pracy przedstawiono jedną z lepiej funkcjonujących przepławek w zlewni potoków karpackich, wykonaną w sposób nietypowy, zaopatrzoną w komory o wyjątkowo dużej objętości usytuowane wewnątrz gardła przelewu zapory przeciwrumiskowej. Przepławka ta, wybudowana na cieku sztrującym o dużej energii wody, funkcjonuje bez zakłóceń od ponad 25 lat. Budowla nie należy do najprostszych ani najtańszych rozwiązań, ale jest wyjątkowo trwała, a przede wszystkim umożliwia bezproblemową migrację ryb w górę rzeki.

Celem pracy jest podanie parametrów technicznych tej przepławki, znalezienie pól prędkości na różnych głębokościach komór, a także określenie sił działających na dno komór (tu: naprężeń stycznych) oraz mocy strumienia – parametry te mają wpływ na wędrującą przepławką rybę. Znajomość tego zagadnienia może pomóc w przyszłości projektantom zajmującym się regulacją rzek podczas wyboru typu przepławek oraz przekonać decydentów do podejmowania działań zmierzających do regulacji potoków górskich w sposób bliższy naturze.

MATERIAŁY I METODY

Przepławka dla ryb objęta badaniem znajduje się na potoku Wierchomla (ryc. 1) w polskich Karpatach. Znajduje się ona w środku jazu, który stanowi część przelewową zapory przeciwrumiskowej i została zaprojektowana przez inż. J. Stonawskiego. Wierchomla jest potokiem o wysoko energetycznych i nagłych wezbraniach, o sporym przepływie, często w jego korycie jest transportowany materiał denny. Koryto składa się głównie z piaskowców i mułowców, których otoczaki są najczęściej transportowane. Z kolei duże ziarna stanowią ramę, których szczeliny są wypełniane drobniejszym

osadem. Podczas częstych wiosennych wezbrań, woda zalewa większość budowli hydrotechnicznych wzniesionych na początku lat 70., takich jak dwie zapory i cztery stopnie, które zostały zniszczone. Tylko zapora z analizowaną przepławką opisana w niniejszym artykule nie została uszkodzona.



Ryc. 1. Lokalizacja zlewni i obiektu badań

Fig. 1. Localization of catchment and research object

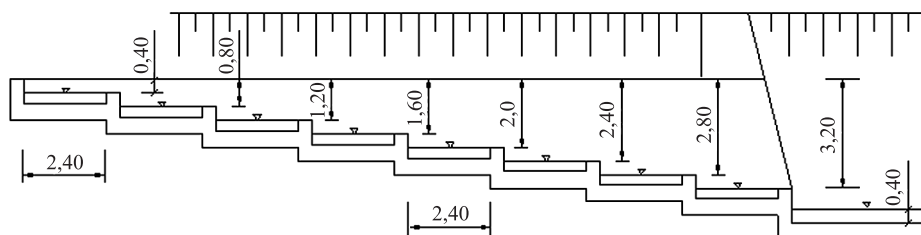
Niektóre podstawowe właściwości fizyczne badanego potoku i zlewni przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Dane charakterystyczne badanego obiektu

Table 1. Physical characteristics of investigated site

Parametr – Parameter	Wartość – Value
Opad – Precipitation, mm	824
Powierzchnia zlewni – Catchment Area, km ²	39,3
Maksymalna wysokość zlewni – Max. altitude, m n.p.m.	950
Minimalna wysokość zlewni – Min. altitude, m n.p.m.	390
Długość koryta rzeczno – Stream Length, km	11,6
Przepływ średnioroczny – Annual Discharge, m ³ · s ⁻¹	0,53
Przepływ o prawdopodobny – T-year flood $Q_{50\%}$, m ³ · s ⁻¹	15,24

Schemat przepławki został zaprezentowany na rycinie 2 oraz na serii zdjęć (ryc. 3–7).



Ryc. 2. Profil podłużny badanej przepławki

Fig. 2. Longitudinal profile of the investigated fish pass



Ryc. 3. Zapora przeciwrumowiskowa z badaną przepławką

Fig. 3. The check dam with fish pass



Ryc. 4. Analizowana przepławka
Fig. 4. The research of fish pass



Ryc. 5. Analizowana przepławka
Fig. 5. The research of fish pass

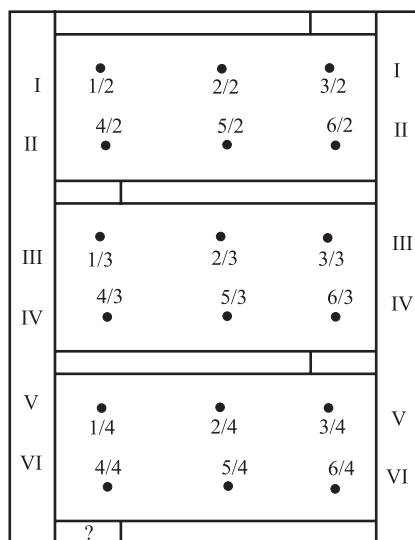


Ryc. 6. Analizowana przepławka
Fig. 6. The research of fish pass



Ryc. 7. Analizowana przepławka: indywidualna komora
Fig. 7. The research of fish pass: a chamber detail

Wymiary basenu dla ryb w przepławce są: długość $L = 2,40$ m, szerokość $W = 4,80$ m, a głębokość $D = 0,40$ m. W basenach zmierzono rozkład prędkości wody oraz naprężenia ścinające oddziałujące na dno komory. Zrobiono to w celu odnalezienia optymalnej drogi migracji ryb z dolnego do górnego stanowiska. Punkty pomiarowe w basenach przedstawiono na rycinie 8.



Ryc. 8. Punkty pomiarowe wewnątrz badanych komór przepławki

Fig. 8. Points of measured velocities within fish pass pools

Wszystkie pomiary zostały wykonane w trakcie przepływu średniorocznego, gdyż w takich warunkach ryby mogą wędrować w górę cieku.

W komorach przepławki wykonano kilka profili prędkości zgodnie z zaleceniem Jarretta [1991]. Później, mając wartości prędkości zmierzone tuż nad dnem komory, zgodnie z metodą Gordon i in. [1992] oraz Bergerona i Abrahama [1992] określono prędkość ścinającą V_* . Kolejno obliczono naprężenia styczne z następującego wzoru:

$$\tau = (V_* \cdot \rho)^2, \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

gdzie:

τ – naprężenie styczne, $\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$,

V_* – prędkość ścinająca, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,

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

W celu znalezienia mocy strumienia posłużono się poniższym wzorem [Teisseyre 1984]:

$$\Omega = \gamma \cdot Q \cdot E_t, \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

gdzie:

γ – ciężar objętościowy wody, $\text{N} \cdot \text{m}^{-3}$,

Q – przepływ wody, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,

$E_t = V^2 / 2g + h$, m – wysokość energii,

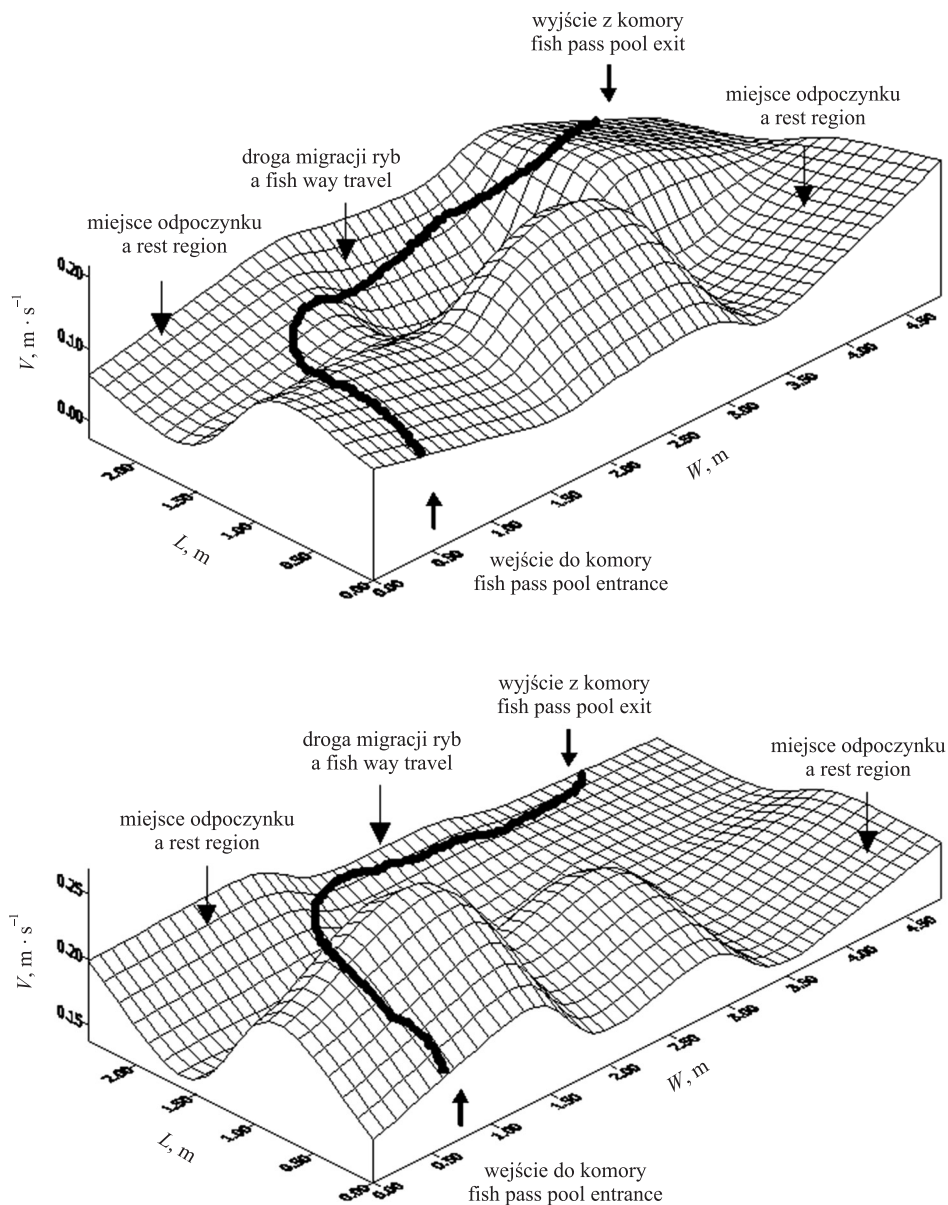
V – prędkość średnia, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,
 g – przyspieszenie ziemskie, $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$,
 h – średnie napełnienie, m.

WYNIKI I DYSKUSJA

W wyniku badań, rozkłady prędkości pokazano dla dwóch wybranych komór (ryc. 9a–b). Wartości prędkości (dla średniego rocznego przepływu) nie przekraczają wielkości, które są wymagane dla ryb łososiowatych ($V < 30\text{--}40 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$) [Sakowicz i Żarnecki 1954, Jarocki 1956]. Opierając się na znajomości rozkładu pól prędkości, pokazano potencjalne trasy podróży ryb w komorze. Można było zauważyć miejsca, gdzie ryby mogą odpocząć z powodu małych prędkości i w rezultacie najniższych sił na nie działających. Zatem na podstawie znajomości wartości naprężeń ścinających na dnie basenów zostały określone wartości mocy strumienia. Wszystkie zebrane wyniki pokazują, że komory zaprojektowane w przepławce mają optymalny kształt pozwalając rybom podróżować bez przeszkód. Wartości naprężeń ścinających i mocy strumienia przedstawiono w tabeli 2. Numery badanych przekrojów oraz punkty pomiarowe są odpowiednio pokazane na rycinie 2. Wartości naprężeń ścinających wahały się w zakresie od $0,001 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ do $0,698 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$, natomiast moc strumieni mieściła się w zakresie od $1563,02 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ do $1685,72 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. Rozkłady wartości naprężeń ścinających i mocy strumienia wyznaczone na podstawie rozkładu prędkości potwierdzają, że wyznaczone potencjalne drogi migracji w komorach są optymalne.

Tabela 2. Naprężenia styczne i siła strumienia wewnątrz badanych komór przepławki
 Table 2. Shear stresses and stream power value within investigated fish pass pools

	Nr punktu pomiarowego Point number	Naprężenie styczne Shear stress $\tau, \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$	Moc strumienia Stream power $\Omega, \text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Przekrój I Cross-section I	1 / 2	0,001	1682,66
	2 / 2	0,003	1682,13
	3 / 2	0,036	1644,50
Przekrój II Cross-section II	4 / 2	0,610	1563,02
	5 / 2	0,162	1565,28
	6 / 2	0,028	1622,00
Przekrój III Cross-section III	1 / 3	0,045	1685,72
	2 / 3	0,001	1681,62
	3 / 3	0,006	1642,40
Przekrój IV Cross-section IV	4 / 3	0,020	1579,98
	5 / 3	0,150	1567,91
	6 / 3	0,516	1623,44
Przekrój V Cross-section V	1 / 4	0,002	1681,87
	2 / 4	0,001	1682,20
	3 / 4	0,062	1645,97
Przekrój VI Cross-section VI	4 / 4	0,698	1566,03
	5 / 4	0,203	1567,35
	6 / 4	0,010	1621,15



Ryc. 9. Przykłady rozkładu prędkości w optymalnie dobranych komorach przepławki – przekroje (a) I–I, II–II i (b) V–V, VI–VI. Zaznaczono drogi poruszania się ryb, a także miejsca odpoczynku ryb

Fig. 9. Examples of velocity distribution within optimally designed fish pass pools – cross sections (a) I–I, II–II, and (b) V–V, VI–VI. The travel routes (paths) are marked. Also a fish rest region is showed

WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań można wysnuć następujące wnioski:

1. Wymiary geometryczne ($W = 4,80$ m, $L = 2,40$ m, $D = 0,40$ m) komór w przepławce na potoku Wierchomla są optymalne dla migrujących ryb.
2. W komorach przepławki można znaleźć miejsca na odpoczynek podczas wędrówek ryb. We wszystkich badanych basenach, takie miejsce znajdowało się w przedniej części komory w okolicy wejścia do niej.
3. Prędkości przepływu wody w całej przepławce nie przekraczały wartości dopuszczalnych dla migrujących ryb łososiowatych.
4. Najlepsze ułożenie przepławki w stosunku do korpusu budowli hydrotechnicznej (w tym przypadku zapory przeciwrumowiskowej) to jej centralne położenie. Dzięki temu nie wymaga ona projektowania osobnego wejścia i wyjścia dla ryb, które również często są zatkane i zatrzymują ryby podczas podróżywania. Stwierdzono również, że taka lokalizacja przepławki najlepiej chroni ją przed zniszczeniem w czasie powodzi.

PIŚMIENNICTWO

- Bergeron, N.E., Abrahams, A.D. (1992). Estimating shear velocity and roughness length from velocity profiles. *Wat. Resour. Res.*, 28(8), 2155–2158.
- Jarocki, W. (1958). Budownictwo wodne. Cz. II. PWRiL, Warszawa.
- Jarrett, R.D. (1991). Wading measurements of vertical velocity profiles. *Geomorphology*, 4, 243–247.
- Gordon, D.N., McMahon, T.A., Finlayson, B.L. (1992). *Stream Hydrology. An Introduction for Ecologists*. Wiley and Sons, London.
- Mokwa, M. (2007). Przepławki dla ryb na stopniach regulacyjnych potoków górskich. *Infrastr. Ekol. Ter. Wiej.*, 4, 2, 279–287.
- Novak, P., Moffat, A.I.B., Nalluri, C., Narayanan, R. (1996). *Hydraulic structures*. Chapman and Hall, London.
- Plesiński, K., Radecki-Pawlik, A., Wyżga, B. (2015). Sediment Transport Processes Related to the Operation of a Rapid Hydraulic Structure (Boulder Ramp) in a Mountain Stream Channel: A Polish Carpathian Example. [W:] P. Heininger, J. Cullmann (red.). *Sediment Metters*. Springer, Cham etc., 39–58.
- Radecki-Pawlik, A. (1993). Stopień-bystrze w Brennej na rzece Brennicy jako przykład wariantu remontu istniejącego stopnia klasycznego. I Krajowa Konferencja Naukowa z Udziałem Gości Zagranicznych nt. „Bezpieczeństwo i trwałość budowli wodnych”, Wrocław – Rydzyna.
- Radecki-Pawlik, A. (2013). On using artificial rapid hydraulic structures (RHS) within mountain stream channels – some exploitation and hydraulic problems. [W:] P. Rowiński (red.). *Experimental and Computational Solutions of Hydraulic Problems*. Springer, Heidelberg etc., 101–115.
- Radecki-Pawlik, A., Plesiński, K., Wyżga, B. (2013). Analysis of Chosen Hydraulic Parameters of a Rapid Hydraulic Structure (RHS) in Porębianka Stream, Polish Carpathians. [W:] D.B. Bung, S. Pagliara (red.). *International Workshop on Hydraulic Design of Low-Head Structures*, IWLHS. Bundesanstalt für Wasserbau, Aachen, 121–128.
- Radecki-Pawlik, A., Plesiński, K., Ślizowski, R. (2015). Comparative research of interlocked-carpet block ramp (ICBR) made of natural stone with rapid hydraulic structures (RHS) of Peterka type. [W:] R.F. Carvalho, S. Pagliara (red.). *IWLHS - The International Workshop on Hydraulic*

- Structures: Data Validation. IAHR, University of Coimbra, Marine and Environmental Sciences Centre, Coimbra, 105–114.
- Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 20 grudnia 1996 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane gospodarki wodnej i ich usytuowanie. Dz.U. z 1997 r. Nr 21, poz. 111.
- Sakowicz, S., Żarnecki, S. (1954). Przepławki komorowe. PWRiL, Warszawa.
- Teisseyre, A.K. (1984). The River Bobr in the Blazkowa study reach (central Sudetes): a study in fluvial process and fluvial sedimentology. *Geologia Sudetica*, XIX(1), 8–65.
- Tymiński, T., Mumot, J. (2015). badania modelowe hydraulicznych warunków przepływu w przepławce z zabudową roślinną. *Inżyn. Ekol.*, 44, 227–234.

DISTRIBUTION OF WATER VELOCITIES AND SHEAR STRESSES IN FISH PASS CHAMBERS

Abstract. The paper presents results of investigation of a fish pass situated within a check dam on Wierchomla Stream in the Polish Carpathians. Distribution of water velocities, shear stresses and stream power at the bottom of fish pass pools were found. Also the paths of fish travel within the fish pass pools and places of fish rest were established. Wierchomla Stream fish pass is given as an example of the optimally designed fish pass pool. It is recommended to build such constructions built parallel to hydraulic structures.

Key words: fish pass, fish pass pool, water velocity distribution, stream power

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 22.03.2017

Do cytowań – For citation: Radecki-Pawlik, A., Plesiński, K., Radecki-Pawlik, B. (2017). Rozkład prędkości oraz naprężeń stycznych w komorach przepławki typu wielkokomorowego. *Acta. Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 16(1), 149–159.