

Michał ZIELINA¹, Agata PAWŁOWSKA¹,
Aleksandra POŁOK-KOWALSKA², Michał PIECHULEK²

¹INSTYTUT ZAOPATRZENIA W WODĘ I OCHRONY ŚRODOWISKA
POLITECHNIKA KRAKOWSKA

²POL-EKO-APARATURA Sp. J.

OCHRONA ICHTIOFAUNY W EKOSYSTEMACH WODNYCH

ICHTHYOFAUNA PROTECTION IN AQUATIC ECOSYSTEMS

The article presents the problem of ichthyofauna protection in aquatic ecosystems. One of the problems concerning fish and fry protection is fact that human intervention, including the regulation of rivers and streams, construction of water intakes and dams caused that migration of fish is very difficult. In order to enable fish migration there are devices installed in rivers. Some of them are presented in the article. The possible solutions to protect the fish and fry in the water intakes is the use of properly designed water intake screens. The article presents the results of numerical calculations of water intake screen performed in a computer software.

1. Wprowadzenie

W Polsce, cele gospodarki wodnej są określone w Prawie Wodnym. Dotyczy ono między innymi aspektów ochrony zasobów wodnych przed nadmierną eksploatacją i zanieczyszczeniem oraz określa zasady gospodarowania tymi zasobami. W państwach członkowskich Unii Europejskiej, zgodnie z obowiązującym przepisami zawartymi w Dyrektywie Siedliskowej [3] oraz Ramowej Dyrektywie Wodnej [4] istnieje obowiązek ochrony zasobów wodnych, w tym również ichtiofauny. Pod pojęciem ichtiofauny rozumiane są gatunki ryb zamieszkujące określony ciek, w tym ryby chrzęstnoszkieletowe, kostnoszkieletowe oraz minogi.

Ingerencja człowieka, w tym regulacja rzek i potoków, budowa ujęć wodnych oraz konstrukcje budowli piętrzących spowodowały, że znacznie utrudniona jest migracja ryb. Z powodu licznej zabudowy hydrotechnicznej na ciekach wodnych wędrówki ryb w górę lub w dół rzeki muszą odbywać się za pośrednictwem urządzeń do migracji.

2. Urządzenia umożliwiające migrację ryb

Większość organizmów wodnych odbywa regularne migracje w rzece. Ich celem jest znalezienie tarliska, poszukiwanie żerowisk, chłodniejszej wody, miejsca na zimowisko czy konieczność powrotu po zniesieniu w dół rzeki przez wody powodziowe [2]. Tak więc, zachowanie drożności ekologicznej w rzekach jest istotne ze względu na cykl życiowy organizmów wodnych, dla których wędrówki są życiową koniecznością i sposobem na utrzymanie zmienności genetycznej.

Według [1] urządzenia umożliwiające migrację ryb można podzielić na następujące grupy:

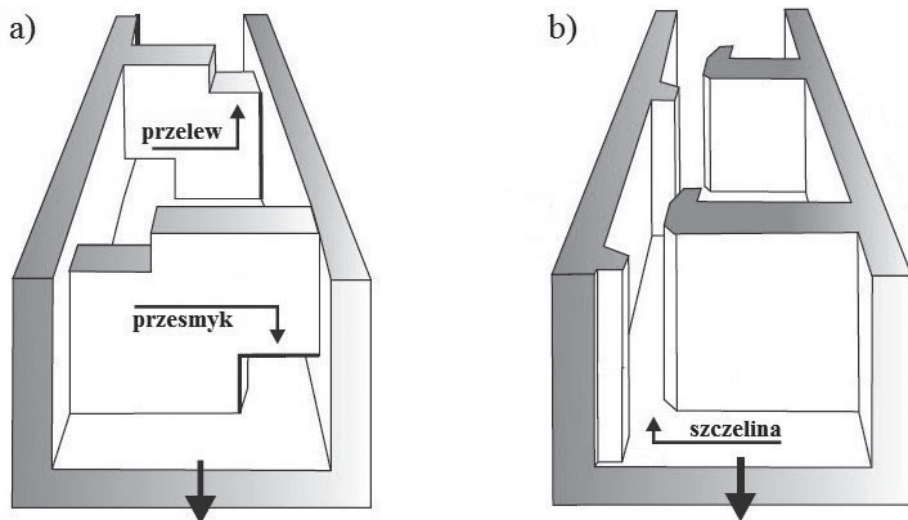
- Poprzeczne budowle hydrotechniczne naśladujące warunki naturalne (tzw. bliskie naturze budowle hydrotechniczne) – budowane w celu stabilizacji dna na całej szerokości rzeki. Ich konstrukcja zapewnia biologiczną drożność cieku. Są one zalecane, jako najlepszy sposób na umożliwienie rybom migrację w górę i dół cieku, w szerokim zakresie przepływów. Zalicza się do nich: stopniebystrza, korekcyjne progi, progi denne.
- Urządzenia służące migracji ryb naśladujące warunki naturalne (tzw. bliskie naturze urządzenia służące migracji ryb) – budowane przy budowlach hydrotechnicznych, które uniemożliwiają rybom przemieszczanie. Urządzenia te wykonywane są z kamienia, żwiru, piasku, czasem stabilizowane betonem przypominają naturalny odcinek rzeki lub potoku. Stwarzają one możliwość bytowania oraz migracji głównie w górę rzeki. Wśród nich wyróżnia się: bystrotoki (rampy), bystrotoki kaskadowe oraz obejścia.
- Urządzenia techniczne służące migracji ryb (tzw. urządzenia techniczne, przepławki). Są one budowane przy obiektach hydrotechnicznych uniemożliwiających przemieszczanie ryb. Zazwyczaj wykonane są w postaci dowolnie długich rynien betonowych lub kamiennych, o geometrycznych kształtach otworów przelewowych, ścian i przegród. Ich wykorzystanie umożliwia migrację ryb głównie w górę rzeki przy szerokim zakresie występujących przepływów. Wyróżnia się przepławki rynnowe (komorowe, szczelinowe, deflektorowe) oraz przepławki mechaniczne (śluzy, windy dla ryb), stosowane najczęściej przy piętrzeniach powyżej 15 m wysokości.
- Urządzenia służące migracji ryb w dół rzeki (przelewy stokowe). Do tej grupy zalicza się urządzenia stosowane jako uzupełnienie do urządzeń do migracji, takich jak śluzy, windy dla ryb lub rozdziału wody, gdy niemożliwe jest odnalezienie przez ryby wlotu do przepławki od strony górnej wody. Budowane są najczęściej na piętrzeniach przekraczających 15-20 m wysokości.
- Urządzenia niestandardowe, do których zalicza się między innymi przepławki stosowane na piętrzeniach z gumowymi buklakami piętrzącymi.

Zgodnie z [1] do urządzeń technicznych służących migracji ryb zalicza się przepławki, które podzielić można na przepławki rynnowe oraz mechaniczne. Wśród przepławek rynnowych wyróżnia się natomiast przepławki komorowe, komorowe szczelinowe (przesmykowe) oraz deflektorowe. Do przepławek mechanicznych zaliczane są śluzy oraz windy dla ryb.

W Polsce największe zastosowanie znalazły przepławki komorowe. Tego typu przepławki tworzą komory oddzielone ścianami z górnymi przelewami i dolnymi otworami przesmykowymi lub komory z samymi ścianami przelewowymi, co jest przedstawione na Rys. 1. a). Uskokki umieszczone są naprzemiennie przy lewej i prawej stronie przepławki. Podstawowym kryterium do wymiarowania otworów w przegrodach jest różnica poziomów wody w komorach odpowiadająca różnicy poziomów dna. Spadek dna przepławki jest łamaną, dna komór mogą być poziome lub nachylone w kierunku odwrotnym do kierunku prądu wody. Przyjmuje się, że tego typu urządzenia powinny być stosowane przy piętrzeniach nie wyższych niż 10 m [1].

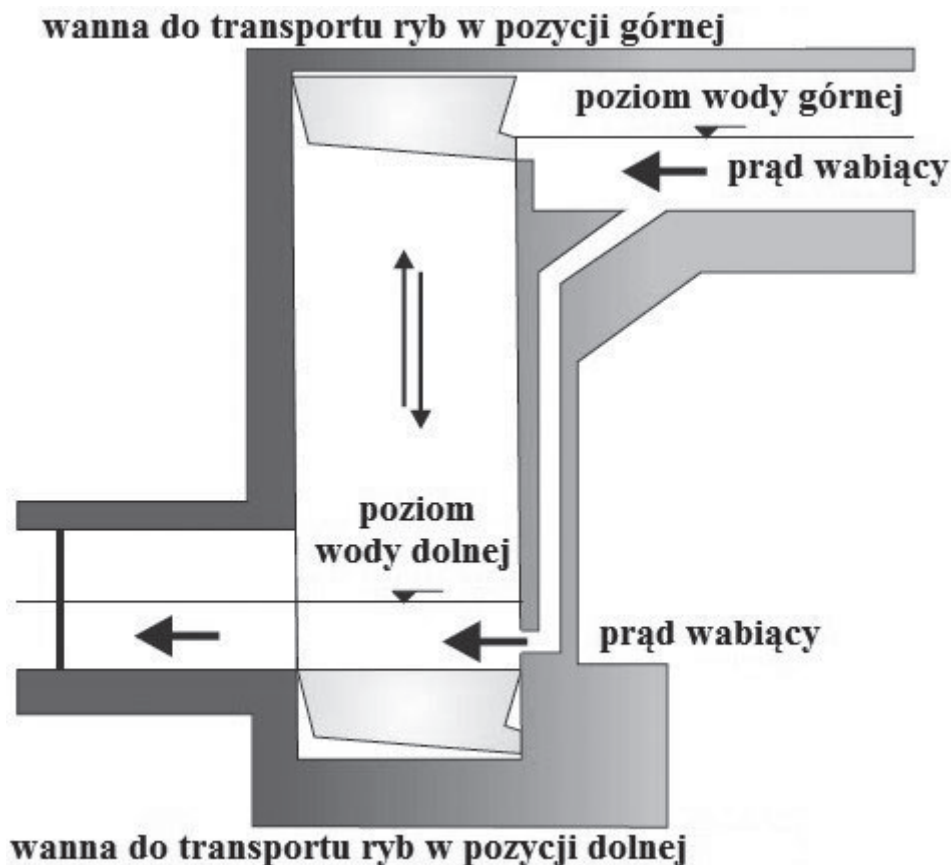
W przypadku przepławek szczelinowych (przesmykowych), przedstawionych na Rys.1. b), komory oddzielone są ścianami, w których wycięta jest jedna lub więcej szczelin. Znajdują one zastosowanie zarówno w małych potokach, jak również w dużych rzekach, stąd można je uznać za najbardziej efektywne z przepławek technicznych.

Przepławki deflektorowe natomiast wykonane są z betonowych rynien bez wydzielonych komór. Prąd wody jest spowalniany dzięki gęsto ułożonym deflektorom o różnych kształtach. Główną zaletą tego typu rozwiązań jest wymagana niewielka przestrzeń, dlatego też stosuje się je, gdy nie ma możliwości na zainstalowanie innych urządzeń umożliwiających migrację ryb w cieku wodnym.



Rys. 1. Schematy przepławek według [1]: a) typ komorowy, b) typ szczelinowy
Fig. 1. Fish passes [1] a) chamber type b) slot type

Śluzy i windy (Rys. 2.) dla ryb znalazły zastosowanie przy piętrzeniach o wysokości powyżej 15 m, wysokich zaporach lub budowłach hydrotechnicznych, przy których brakuje miejsca na inne rozwiązanie umożliwiające migrację ryb. Śluzy składają się z komory głównej oraz górnego i dolnego odpływu. Windy, natomiast składają się z części łownej, do której prowadzi ryby prąd wabiący oraz części przewozu, w której zebrane ryby zostają przerzucone powyżej przegrody za pomocą specjalnych wanien.



Rys. 2. Schemat windy dla ryb według [1]
Fig. 2. Fish elevator [1]

Podczas projektowania przepławek najistotniejszym parametrem jest prędkość przepływającej wody. To od niej zależy czy ryby faktycznie będą w stanie pokonać przeszkodę w postaci budowli hydrotechnicznej. Prędkość jest uzależniona bezpośrednio od różnicy poziomów wody pomiędzy sąsiadującymi komorami przepławki jak również od materiały tworzącego dno.

Według [8] dla poszczególnych gatunków ryb dopuszczalne prędkości przepływu przedstawiają się następująco:

- ryby łososiowate (łosoś, troć, pstrąg, głowacica, lipień) - 2,0 m/s,
- reofilne ryby karpowate (boleń, certa, brzana, brzanka, kleń, świnka) - 1,5 m/s,
- pozostałe gatunki (ryby młode i małe) - 1,0 m/s.

Ponadto, dla gatunków słabo pływających oraz prawnie chronionych prędkość wody nie może przekraczać 0,4 m/s.

Należy pamiętać, że poszczególne gatunki ryb charakteryzują się różnymi możliwościami przeciwstawiania się prądowi wody, które mogą się zmieniać w zależności od stopnia zanieczyszczenia wody, jej temperatury, stopnia natlenienia oraz kondycji ryb [8].

Dodatkowym aspektem, który wpływa na poprawność funkcjonowania urządzenia mającego zapewnić migrację ryb jest jego lokalizacja. Lokalizacja przepławek musi być związana z głównym nurtem rzeki, aby ryby płynące w górę rzeki natrafiły na wejście. Istotne jest również poprawne usytuowanie wejścia do urządzenia od strony górnej wody dla ryb migrujących w dół rzeki. W przypadku elektrowni wodnej lub innej budowli piętrzącej wejście do przepławki powinno być zlokalizowane przy głównym przepływie wody, wejście do przepławki od strony wody dolnej powinno znajdować się przed wylotem wody z obiektu, a wyjście z przepławki, od strony wody górnej, przed wlotem wody do budowli. Urządzenie należy projektować, tak jakby wylot znajdował się zawsze pod wodą.

Należy mieć na uwadze, że tylko dobrze zaprojektowane urządzenie mające na celu umożliwienie migracji ryb będzie spełniało swój cel. Liczne publikacje, między innymi [1],[8] zawierają szereg wytycznych dotyczących parametrów technologicznych przepławek – wymiarów komór i przesmyków, minimalnej głębokości wody w przepławce, minimalnego przepływu wody i innych.

3. Urządzenia zabezpieczające przed dostaniem się ryb do ujęcia wody

Oprócz opisanych urządzeń umożliwiających migrację ryb w ciekach należy pamiętać, że spore zagrożenie dla ichtiofauny stanowią ujęcia wody. Podczas ich projektowania trzeba pamiętać o zabezpieczeniu ryb i narybku przed wciąganiem do czepni. W tym celu wykorzystuje się bariery behawioralne lub bariery fizyczne.

3.1 Bariery behawioralne

W przypadku większych ujęć rozwiązaniem bardziej korzystnym finansowo jest zastosowanie tzw. barier behawioralnych. Zadaniem barier behawioralnych jest odstraszenie ryb od wpłynięcia do stref, które mogą stanowić dla nich zagrożenie.

W porównaniu z barierami fizycznymi opisanymi w dalszej części artykułu, bariery behawioralne wymagają aktywności ze strony ryb, dlatego też ich skuteczność w dużej mierze jest uzależniona od zdolności pływackich ryb. W publikacji [5] zostały opisane następujące rodzaje barier behawioralnych:

- bariery żaluzjowe powodujące, że przepływająca woda kieruje ryby do obejścia,
- bariery świetlne i akustyczne odstraszające ryby z okolic ujęcia wody,
- bariery elektryczne uniemożliwiające rybom dostanie się do urządzeń ujęć wodnych oraz pomagające w swobodnej migracji ryb.

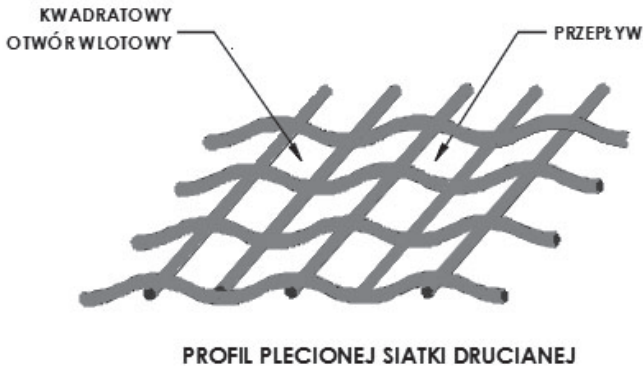
Ponadto, stosuje się również [5], [6] inne bariery behawioralne takie jak: kurtyny z pęcherzyków powietrza tłoczonego do wody, kurtyny z silnego strumienia wody oraz kurtyny z zawieszonych łańcuchów.

3.2 Bariery fizyczne

Najbardziej popularną metodą ochrony ryb i narybku w ujęciach wody powierzchniowej jest wykorzystanie barier fizycznych [5]. Są to czerpnie wyposażone w specjalne ekrany (siatki) zapobiegające dostaniu się ryb i narybku do ich wnętrza. Zastosowanie ekranów fizycznych w miejscu poboru wody jest zalecane w przypadku małych i średnich ujęć wody.

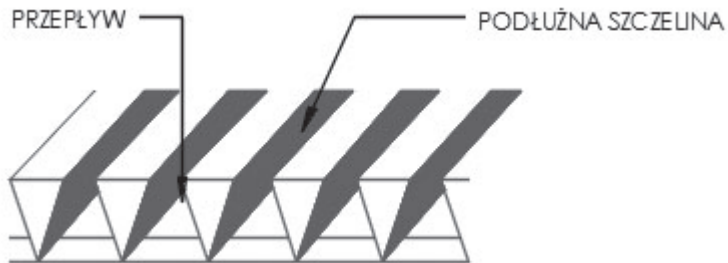
Zastosowanie znalazły różnego rodzaju ekrany fizyczne. W publikacji [9] zostały zestawione ekrany powszechnie stosowane w USA i Kanadzie. Wśród nich wyróżnia się ekrany wykonane z:

- plecionej siatki drucianej – wykonane z różnych materiałów: stali ocynkowanej, stali nierdzewnej, stopu miedzianego czy włókna syntetycznego (nylonu, poliestru). W zależności od kształtu ekranu wymagana jest odpowiednia średnica drutu, np. 1,5 mm (0,06 cala) dla stałego ekranu płaskiego lub 20 mm (0,8 cala) dla bębnowego. W zależności od wielkości ryb/narybku otwór wlotowy ma maksymalnie szerokość 2,38 mm (dla narybku o długości do 60 mm) oraz 6,35 mm (dla ryb o długości większej niż 60 mm),



Rys. 3. Profil plecionej siatki drucianej [5]
Fig. 3. Profile of woven wire mesh [5]

- blachy perforowanej – otwory wlotowe mogą być dowolnego kształtu, wykonane ze stali ocynkowanej, stali nierdzewnej, aluminium lub tworzywa sztucznego (PE, PP), średnice otworów ustalane tak samo jak w przypadku plecionej siatki drucianej,
- drutów profilowanych – najczęściej kształtu klinowego, zwykle wykonane z drutów ułożonych równolegle i przyspawanych do prętów nośnych, maksymalna szerokość otworów w najwęższym miejscu 1,75 mm (dla narybku o długości do 60 mm) oraz 6,35 mm (dla ryb o długości większej niż 60 mm).



Rys. 4. Profil drutu klinowego [5]
Fig. 4. Profile of wedge wire [5]

W zależności od zainstalowanej czepni ekrany mogą mieć różne kształty. Najczęściej spotykane są ekrany płaskie o przekroju kołowym lub kwadratowym oraz ekrany cylindryczne. Zgodnie z ogólnymi zaleceniami dotyczącymi ekranów, perforacja ekranów może mieć różny kształt, jednakże istotne jest aby ekrany nie posiadały ostrych elementów wystających, które mogłyby zranić ryby. Ekrany powinny być wykonane z materiału odpornego na korozję oraz działanie promieni UV. Ponadto, ekrany powinny być umiejscowione w takiej odległości od dna, aby zminimalizować przedostawanie się osadów i mikroorganizmów znajdujących się na dnie do wnętrza czepni [7].

4. Wykorzystanie szczelinowej głowicy w ujęciu wody powierzchniowej

W celu ochrony ryb i narybku w ujęciu wody powierzchniowej możliwe jest wykorzystanie specjalnie zaprojektowanej szczelinowej głowicy.

Podczas projektowania głowicy ujmującej wodę parametrem, który należy uwzględnić jest prędkość dopływającej wody v_c . Wyrażając tą prędkość w postaci wektorowej, mamy do czynienia z prędkością prostopadłą do powierzchni ekranu, mierzona w odległości ok. 8 – 10 cm przed jego powierzchnią – prędkością dopływu v_a , oraz z prędkością przemywającą v_s , równoległą do jego powierzchni [2]. Od tej prędkości zależy stopień oddziaływania ujęcia wody (głowicy) na ryby i narybek znajdujący się w pobliżu.

Prędkość dopływu powoduje przyciąganie ryb, narybku oraz zanieczyszczeń do powierzchni ekranu, natomiast prędkość przemywająca determinuje ich odprowadzenie. Zgodnie z zaleceniami amerykańskimi prędkość przemywająca powinna być co najmniej równa prędkości dopływu, wtedy kąt pomiędzy powierzchnią ekranu a przepływem nie powinien przekraczać 45° , natomiast, gdy zalecany jest stosunek większy od 2 kąt zainstalowania ekranu jest nie większy niż 26° [5].

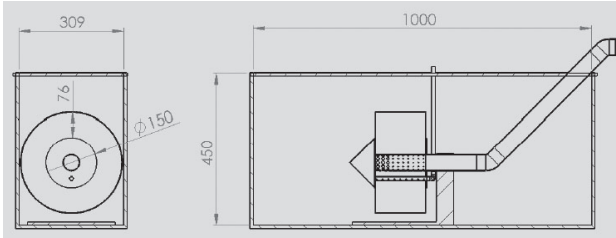
Ponadto istotnym parametrem w kontekście ochrony ichtiofauny jest prędkość wlotowa mierzona w otworach głowicy. W Tabeli 1 zestawiono dopuszczalne prędkości dopływu oraz prędkości wlotowe według [5].

Tabela. 1. Dopuszczalne prędkości dopływu i prędkości wlotowe według [5]
Table 1. Acceptable approach velocity and inlet velocity [5]

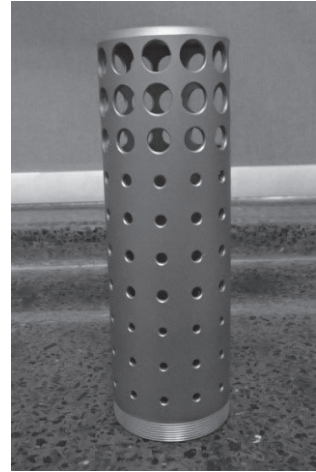
Długość ryb/narybku [mm]	Prędkość dopływu mierzona w odległości 3 cali (76mm) od powierzchni ekranu [m/s]	Prędkość wlotowa [m/s]
Narybek <60	≤ 0.12	≤ 0.15
Ryby ≥ 60	≤ 0.24	

5. Badania laboratoryjne

W celu przeprowadzania weryfikacji eksperymentalnej wyników badań numerycznych zbudowano laboratoryjny model głowicy szczelinowej. Przedstawiony na Rys. 5 model głowicy został wykonany przez firmę POL-EKO-APARATURA i jest elementem stanowiska badawczego w laboratorium Katedry Wodociągów, Kanalizacji i Monitoringu Środowiska Politechniki Krakowskiej.



Rys. 5. Model laboratoryjny głowicy
Fig. 5. Laboratory model of water intake screen



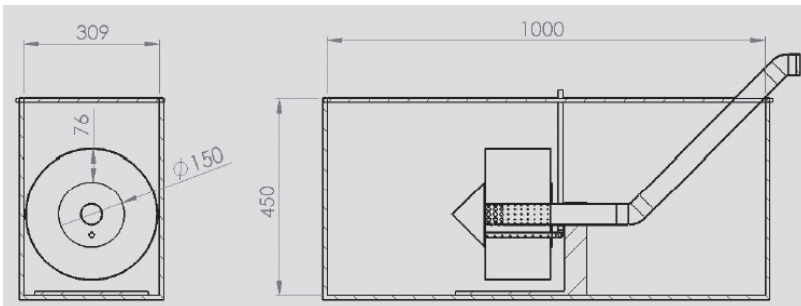
Rys. 6. Deflektor
Fig. 6. Deflector

Dzięki małym prędkościom wlotowym nie będzie dochodzić do przyciągania oraz wciągania ryb i narybku do wnętrza głowicy. Dodatkowo, w celu zapewnienia równomierności dopływu i stałych prędkości na całej powierzchni głowicy wewnątrz instalowany jest deflektor, pokazany na Rys. 6. Ponadto, model jest wyposażony w system płuczący polegający na okresowym „przedmuchiwanie” powierzchni głowicy od wewnątrz sprężonym powietrzem. Dodatkowo głowica powinna być umieszczona w nurcie rzeki gwarantując jej odpowiednie przepłukiwanie przez strumień rzeki.

6. Wyniki symulacji numerycznych przeprowadzonych dla rozpatrywanej głowicy szczelinowej

Dla głowicy szczelinowej przedstawionej na Rys. 5. wykonano szereg symulacji numerycznych obrazujących rozkłady prędkości podczas przepływu wody.

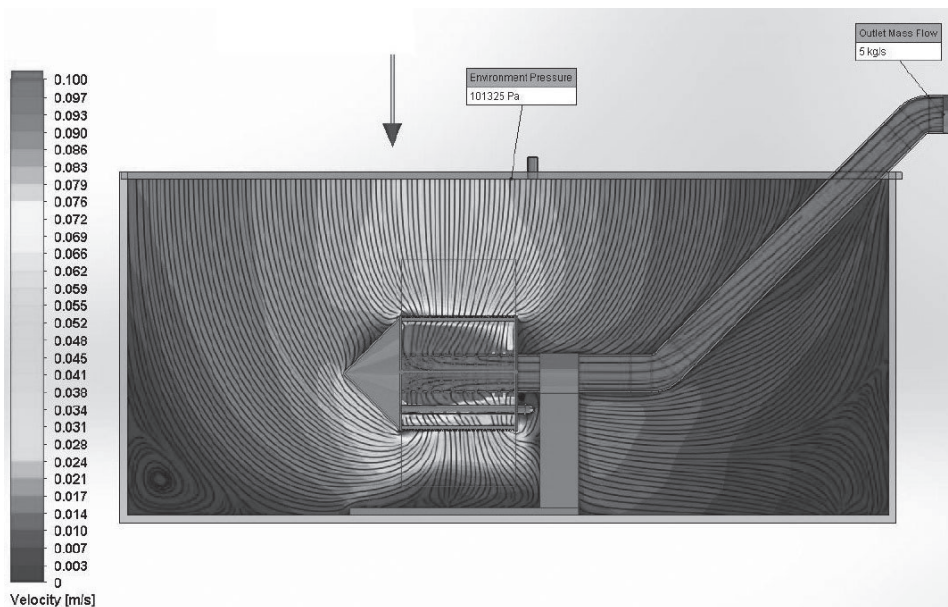
Wymiary rozpatrywanego modelu przestawiono na Rys. 7.



Rys. 7. Wymiary modelu laboratoryjnego
Fig. 7. Dimensions of the laboratory model

Podczas wykonywania symulacji założono, że w samym zbiorniku, w którym zlokalizowana jest głowica nie ma przepływu wody. Na zbiornik działa ciśnienie atmosferyczne wynoszące 101325 Pa. Przyjęta została wydajność głowicy szczelinowej wynosząca $5 \text{ kg/s} \approx 432 \text{ m}^3/\text{d}$.

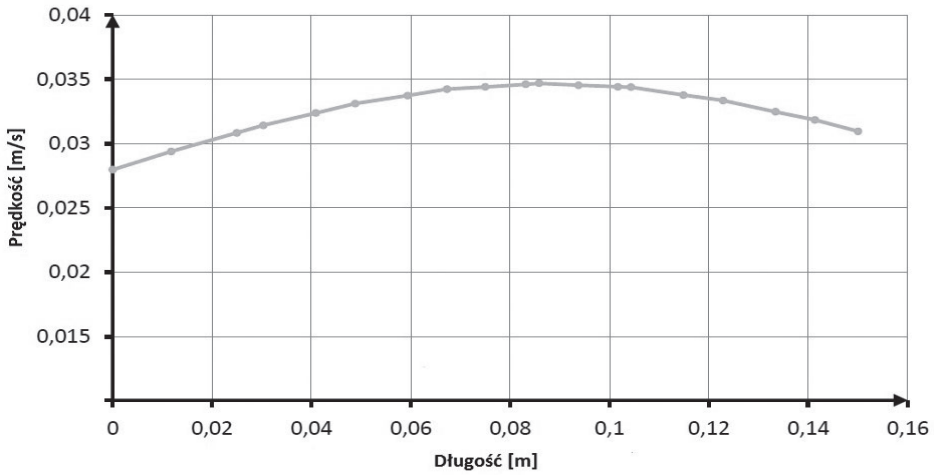
Wyniki symulacji przedstawiające rozkład prędkości podczas przepływu przez głowicę pokazano na Rys. 8.



Rys. 8. Rozkład prędkości przepływu
Fig. 8. The velocity distribution

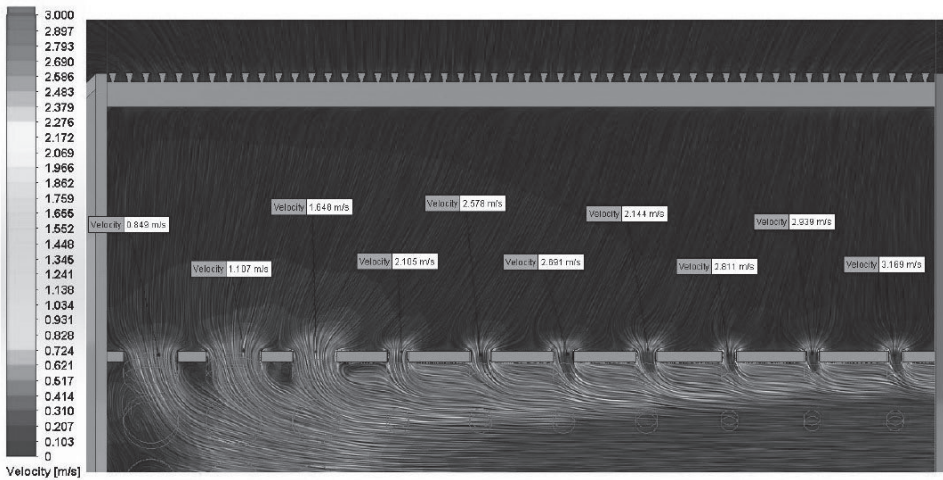
Aby dokładniej zobrazować prędkości dopływu w odległości ok. 8 cm od głowicy szczelinowej, które są szczególnie istotne w kontekście ochrony ichtiofauny wykonano wykres prędkości wzdłuż górnej powierzchni głowicy.

Jak widać na Rys. 9. prędkość w odległości 76 mm, w każdym badanym punkcie znajdującym się powyżej głowicy jest mniejsza niż 0,12 m/s, stąd na podstawie Tabeli 1. można wnioskować, że głowica nie powinna stanowić zagrożenia dla narybku, a tym bardziej ryb.



Rys. 9. Rozkład prędkości w odległości 76 mm od górnej powierzchni głowicy
 Fig. 9. The velocity distribution within 76 mm from the upper surface of the intake screen

Jak wspomniano wcześniej, równomierność prędkości na powierzchni głowicy jest zapewniona dzięki deflektorowi umieszczonemu wewnątrz głowicy. W celu zobrazowania wartości prędkości wlotowych w otworach o różnych wielkościach wykonano zblizenie na rozkład prędkości. Jak widać, prędkości w otworach wahają się od 0,85 do 3,17 m/s.



Rys. 10. Rozkład prędkości w szczelinach deflektora
 Fig. 10. The velocity distribution in the deflector's slots

7. Podsumowanie

Podczas projektowania zabudowy hydrotechnicznej należy mieć na uwadze, że przegradzanie rzek powoduje przerwanie drożności dla migracji ryb i innych organizmów wodnych.

Również podczas projektowania ujęć wody nie można pominąć aspektu ochrony ichtiofauny. Przy doborze urządzeń chroniących ichtiofaunę należy mieć na uwadze rozmiar ryb i narybku butującego oraz migrującego w pobliżu ujęcia wody.

Przeprowadzone badania numeryczne pozwoliły na wyznaczenie rozkładów prędkości w pobliżu głowicy. Na ich podstawie można wnioskować, że badana głowica nie będzie stanowić zagrożenia dla ichtiofauny. Dalsze badania w tym kontekście będą prowadzone w warunkach laboratoryjnych.

Bibliografia

- 1) Bojarski, A., Jeleński, J., Jelonek, M. Zasady dobrej praktyki w utrzymaniu rzek i potoków górskich. Warszawa: Ministerstwo Środowiska, Departament Zasobów Wodnych, 2005
- 2) Budziło, B., Połok-Kowalska, A. Projektowanie drenażowych i zatopionych ujęć wody w aspekcie ochrony ichtiofauny. Kraków, Wydawnictwo Politechnika Krakowska, 2014
- 3) Dyrektywa Rady 92/43/EWG w sprawie ochrony siedlisk naturalnych oraz dzikiej fauny i flory (Dyrektywa Siedliskowa)
- 4) Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/60/WE w sprawie ustanowienia ram dla działalności Wspólnoty w dziedzinie polityki wodnej (Ramowa Dyrektywa Wodna)
- 5) Fish Protection at Water Diversions. A Guide for Planning and Designing Fish Exclusion Facilities. Department of the Interior Bureau of Reclamation Denver, Colorado, USA, 2006
- 6) Fish Protection Technologies: a Status Report E.P. Taft, Environmental Science & Policy 3 (2000), USA
- 7) Freshwater Intake End-of-Pipe Fish Screen Guideline. Department of Fisheries and Oceans, Ottawa, Ontario, Canada, 1995
- 8) Wiśniewolski, W. Możliwości przeciwdziałania skutkom przegradzania rzek i odtwarzania szlaków migracji ryb. Supplementa ad Acta Hydrobiologica, vol. 6, 2003