



*Projekt: Opracowanie II aktualizacji programu wodno-środowiskowego kraju i gospodarowania wodami na obszarach dorzeczy wraz z dokumentami planistycznymi stanowiącymi podstawę do ich opracowania
Nr Projektu: POIS.02.01.00-00-0016/16*

WDROŻENIE METODY SZACOWANIA PRZEPŁYWÓW ŚRODOWISKOWYCH W POLSCE

ETAP I

**Weryfikacja i kalibracja metody szacowania przepływów środowiskowych -
metodyka i część terenowa**

**Zad. 1.1.4 Streszczenie metodyki weryfikacji i kalibracji metody szacowania
przepływów środowiskowych (wersja polska)**

Opracował Zespół

pod kierownictwem dr. inż. Jerzego Greli

MGGP. S.A.:

Mgr inż. Ilona Biedroń

Mgr inż. Agnieszka Boroń

Mgr inż. Mariusz Gąsior

Mgr inż. Magdalena Grzebinoga

Mgr Dariusz Krawczyk

Mgr inż. Paweł Madej

Mgr inż. Michał Olszar

Mgr inż. Monika Piszczek

Eksperti zewnętrzni:

Prof. dr hab. inż. Elżbieta Dumnicka

Dr inż. Jacek Florek

Dr Renata Kędzior

Dr hab. inż. Leszek Książek

Mgr inż. Dariusz Młyński

Dr Tomasz Skalski

Dr hab. inż. Andrzej Wałęga

Dr inż. Agnieszka Woś

Dr inż. Maciej Wyrębek

Prof. dr hab. inż. Roman Żurek

Spis treści

1. Wprowadzenie	4
2. Analiza metody szacowania przepływów środowiskowych przedstawionej w opracowaniu „Ustalenie metody szacowania przepływów środowiskowych w Polsce”	4
2.1. Charakterystyka podstawowych cech metody.....	4
2.2. Analiza zaproponowanej metody.....	7
3. Propozycja sposobu weryfikacji i kalibracji metody szacowania przepływów środowiskowych w Polsce.....	9
3.1. Założenia do procedury weryfikacji i kalibracji metody szacowania przepływów środowiskowych.....	9
3.2. Zakres weryfikacji i kalibracji metody	10
3.2.1. Ocena poprawności (prawidłowości) zaproponowanej metody.....	10
3.2.2. Ocena przydatności zaproponowanej metody.....	12
3.3. Dodatkowe elementy metodyczne	14
3.3.1. Założenia wyznaczania przepływów środowiskowych z punktu widzenia makrozoobentosu	14
3.3.2. Założenia analizy możliwości wykorzystania metody hydraulicznej do wyznaczania przepływów środowiskowych	16
4. Podsumowanie	18
5. Literatura.....	20

Spis rysunków

Rysunek 1 Przykładowy model dopasowania siedliska rodzaju Baetis dla parametru: (a) głębokości, (b) prędkości oraz (c) typu substratu.	16
Rysunek 2 Diagram regresji opisujący zależności pomiędzy wskaźnikiem WUA i wartościami przepływu dla rodzaju Baetis, (a) rzeka przekształcona (b) rzeka naturalna.	16
Rysunek 3 Przykład krzywej zależności obrotu zwilżonego od przepływu pokazujący relacje między załamaniami krzywej a warunkami siedliskowymi dla ryb.....	18

1. Wprowadzenie

Niniejsze opracowanie zawiera streszczenie metodyki weryfikacji i kalibracji metody szacowania przepływów środowiskowych i stanowi produkt realizacji zadania 1.1.4 wykonywanego w ramach pracy zatytułowanej „Wdrożenie metody szacowania przepływów środowiskowych w Polsce”, na zlecenie Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej w Warszawie w ramach umowy nr KZGW/DPZWpgw/1/2017.

Weryfikacja zaproponowanej w [24] metody wyznaczania przepływów środowiskowych skupiać się będzie na: analizie metodyki pod kątem jej poprawności tj. zgodności z rzeczywistością oraz analizie kompletności i użyteczności zaproponowanych rozwiązań mających na celu ocenę jej przydatności przy czym pierwszy z tych aspektów obejmował będzie analizę konsekwencji wprowadzenia makrozoobentosu jako dodatkowego elementu biologicznego wymaganego przy ocenie przepływów środowiskowych.

Propozycja sposobu i zakresu weryfikacji i kalibracji metody szacowania przepływów środowiskowych przedstawionej w opracowaniu „Ustalenie metody szacowania przepływów środowiskowych w Polsce” koncentruje się na: weryfikacji podstawowych założeń metody, proponowanych kierunkach jej uzupełnienia oraz procedurze badań terenowych będących podstawą weryfikacji ww. metody. Podstawą ww. propozycji jest analiza propozycji metodycznych zawartych w [24] oraz wymagania Zleceniodawcy określone w specyfikacji istotnych warunków zamówienia.

2. Analiza metody szacowania przepływów środowiskowych przedstawionej w opracowaniu „Ustalenie metody szacowania przepływów środowiskowych w Polsce”

2.1. Charakterystyka podstawowych cech metody

W analizowanej pracy przepływ środowiskowy zdefiniowany został w postaci dwóch komponentów tj. przepływu środowiskowego korytowego i pozakorytowego.

Przepływ środowiskowy korytowy określono jako przepływ warunkujący dobry stan lub potencjał elementów biologicznych stanu wód, przy czym pojęcie to rozwinięto wprowadzając wartość uproszczoną przepływu środowiskowego oraz wartość adaptacyjną przepływu środowiskowego. Oba te pojęcia związane są z rybami jako elementem wskaźnikowym dla oceny stanu biologicznego oraz

konkretnym modelem habitatowym przyjętym jako podstawowe narzędzie dla określania przepływu środowiskowego korytowego.

Przepływ środowiskowy pozakorytowy określono jako przepływ warunkujący właściwy stan siedlisk i gatunków zależnych od wód.

Metoda odnosi się zarówno do naturalnych jak i silnie zmienionych jednolitych części wód.

Proces wyznaczania przepływów środowiskowych korytowych oparty jest o model MesoHABSIM (por.[34, 35, 36, 37, 38, 39, 40]). Jest to model siedliskowy w skali mezo, która jest definiowana jako skala opisująca powierzchnie siedlisk z których ryby korzystają na przestrzeni całego dnia tzw. mezohabitatów. Typy mezohabitatów definiowane są poprzez jednostki hydromorfologiczne takie jak bystrze czy płoś. Implementacja modelu dla konkretnego odcinka rzeki obejmuje:

- identyfikację wskaźników biologicznych które będą podstawą oceny wymagań dla przepływów,
- ustalenie parametrów definiujących kryteria użyteczności siedlisk,
- kartowanie i ocena siedlisk na wybranych obszarach (dla różnych warunków przepływu),
- ustalenie zależności między wielkością przepływu a powierzchnią siedlisk użytecznych dla przyjętych organizmów wskaźnikowych,
- analizę i interpretację szeregów czasowych zdarzeń (przepływów i odpowiadających im warunków siedliskowych) prowadzącą do oszacowania przepływów środowiskowych.

Punktem wyjścia do określenia przepływów środowiskowych korytowych, w JCWP naturalnych i silnie zmienionych, było założenie, że przepływ środowiskowy warunkowany jest wymaganiami siedliskowymi ryb jako organizmów których dobry stan świadczy o dobrym stanie ekologicznym rzeki.

Dla uproszczenia procesu definiowania wymagań siedliskowych dla ryb w ciekach dokonano pogrupowania typów abiotycznych cieków ze względu na skład gatunkowy ryb je zamieszkujących, w oparciu o bazę danych połowowych zgromadzonych przez Instytut Rybactwa Śródlądowego. Wykorzystano przy tym podział gatunków ryb na grupy ekologiczne (gildie) w oparciu o preferencje warunków tarła i żerowania, tworząc tzw. docelowe zespoły ryb (DoZeR) odpowiednio dla gildii tarłowych i żerowiskowych. W efekcie zaproponowano podział cieków na 6 typów ichtiologicznych. Określono również zakres warunków abiotycznych (głębokość i prędkość wody, substrat denny, kryjówki, jednostki hydromorfologiczne) odpowiednich dla poszczególnych gildii w obu kategoriach

i przypisano je do odpowiedniego okresu roku tzw. bioperiodu (tarło wiosenne oraz jesienne, żerowanie i zimowanie).

Określone w ten sposób warunki pozwalają, na analizę użyteczności dla ryb siedlisk rzecznych, dla różnych warunków hydrologicznych, w oparciu o badania terenowe i w konsekwencji na określenie przepływów środowiskowych w oparciu o model mesoHABSIM.

Ww. metoda habitatowa wyznaczania przepływów środowiskowych, wykorzystana została do opracowania rozwiązań uproszczonych opartych o wskaźniki hydrologiczne. Wzór na uproszczony przepływ środowiskowy, dla bioperiodu, w wybranym przekroju badanej zlewni wygląda następująco:

$$Q_{\text{środ},u_b} = p_b \cdot SNq_b \cdot A$$

gdzie:

p_b - stabelaryzowana wartość współczynnika dla zlewni kontrolowanych, ustalona na bazie badań pilotażowych dla danego typu ichtiologicznego rzeki i dla poszczególnych bioperiodów,

SNq_b - średni niski odpływ jednostkowy w bioperiodzie, [$m^3 s^{-1} km^{-2}$], wyznaczony poprzez odniesienie SNQ_b danego ciek w badanym przekroju do powierzchni zlewni tego ciek po ten przekrój,

A - powierzchnia zlewni po badany przekrój, [m^3].

Współczynniki p_b dla czterech z sześciu ww. typów ichtiologicznych cieków zaproponowane zostały, w oparciu o badania terenowe i implementację modelu MesoHABSIM dla 7 odcinkach cieków.

Ponieważ w zlewniach niekontrolowanych obliczenie SNq_b może być bardzo trudne, jako potencjalną aproksymację do tego samego celu zaproponowano wykorzystanie wartości SNq rocznego, uzyskanej wybraną metodą przenoszenia informacji hydrologicznej, wyznaczając dla tej charakterystyki alternatywny zestaw wartości współczynnika p_b .

Opisana wyżej propozycja przepływu środowiskowego uproszczonego została uzupełniona o koncepcję adaptacyjnych przepływów środowiskowych która nie tworzy nowych wartości przepływu środowiskowego tylko dodaje do nich regułę w jakich warunkach ograniczenie poborów wynikające z przepływu środowiskowego miałyby być aktywne. W oparciu o model Mesohabsim określa się, indywidualnie dla odcinka ciek, długość okresu w którym przepływ w rzece może spaść poniżej przepływu środowiskowego. Ponadto określone są warunki jak często taka sytuacja jest dopuszczalna.

W analizach mających na celu określenie przepływów środowiskowych korytowych w silnie zmienionych JCWP zastosowano również model MesoHABSIM. Wobec trudności z określeniem

przepływów środowiskowych w oparciu o ww. model zaproponowano, jako zamiennik przepływu środowiskowego, Index Dni Stresowych Siedliska wg zmodyfikowanej formuły opublikowanej przez Vezę i innych w 2014 r. (por. [46]). Index ten ocenia wzrost czasu trwania zdarzeń gdzie powierzchnia siedlisk użytecznych jest mniejsza od przyjętej wartości granicznej, będący skutkiem przekształceń hydromorfologicznych i jest wskaźnikiem stanu hydromorfologicznego odcinka ciek. Dla jego wyznaczenia zakłada się przeprowadzenie obliczeń modelem MesoHABSIM dla stanu obecnego badanego odcinka ciek i stanu przed przekształceniem.

W odniesieniu do przepływów środowiskowych wymaganych z punktu widzenia potrzeb ekosystemów wodnych i od wód zależnych autorzy metodyki [24] zaproponowali kilka przepływów które mają gwarantować zachowanie georóżnorodności strefy korytowej i zalewowej odnosząc ich wartości do przepływu brzegowego, przepływów średnich rocznych i przepływów maksymalnych rocznych.

2.2. Analiza zaproponowanej metody

Podstawowe założenie metodyki w odniesieniu do przepływów środowiskowych korytowych, tj. wykorzystanie modelu habitatowego do wypracowania metody hydrologicznej o formule zbliżonej do najpopularniejszej w Polsce metody wyznaczania przepływów nienaruszalnych (forma uproszczona przepływu środowiskowego) jest rozwiązaniem z praktycznego punktu widzenia potencjalnie korzystnym bo ograniczającym koszty wyznaczenia przepływów środowiskowych. Nie powoduje ono również problemów implementacyjnych jakie związane byłyby z metodą nie stosowaną w kraju, trudną do masowego wdrożenia w początkowym okresie ze względu na brak specjalistów.

Brak szerszych badań terenowych potwierdzających przyjętą hipotezę o odnośnie relacji przepływu środowiskowego korytowego i przepływu średniego niskiego w ciekach wskazuje, że proponowane rozwiązanie nie jest jeszcze rozwiązaniem „dojrzałym” i może się okazać, że zostanie zdyskwalifikowane w procesie weryfikacji. Również wykorzystanie w modelu habitatowym ryb jako jedynych organizmów wskaźnikowych może budzić wątpliwości stąd zasadną byłaby weryfikacja metodyki pod kątem potencjalnych skutków uwzględnienia innych niż ryby organizmów wskaźnikowych dla wielkości przepływów środowiskowych.

Odnosząc się do definicji przepływu środowiskowego korytowego warto zauważyć istotne zawężenia pojęcia przepływu środowiskowego. Definicja przepływu środowiskowego korytowego wprowadza, obok jego ogólnej definicji, pojęcia przepływu środowiskowego uproszczonego i adaptacyjnego które związane są bardziej z proponowanym sposobem (metodą) jego wyznaczania niż z istotą tego pojęcia

oraz definiuje explicite ryby jako organizmy wskaźnikowe dla wyznaczania przepływu środowiskowego co zamyka możliwość wykorzystania innych organizmów w procesie jego określania. Zapisy te nie powinny być elementem definicji.

Praca nie podaje metody obliczania przepływów środowiskowych dla JCWP silnie zmienionych proponując w zamian Index Dni Stresowych Siedliska będący miarą łączną zmian hydrologicznych i morfologicznych. Aby wyznaczyć Indeks Dni Stresowych Siedliska konieczna jest znajomość hydromorfologii cieku przed jego przekształceniem (aby wyznaczyć ilość dni stresowych siedliska w oparciu o MesoHABSIM) co wydaje się być, w większości przypadków, nie do uzyskania. W przedstawionych przykładach autorzy metodyki założyli zmiany na odcinku naturalnym skutkujące przekształceniem go w silnie zmieniony znali zatem stan naturalny i silnie zmieniony W praktyce gdy znany będzie jedynie stan silnie zmieniony powtórzenie obliczeń autorów metodyki jest wątpliwe.

Brak jest bezpośrednich odniesień się do problemu niezgodności sposobu klasyfikacji potencjału ekologicznego silnie zmienionych JCWP z zapisami RDW. Przyjęcie dla silnie zmienionych części wód wymagań dla dobrego potencjału ekologicznego praktycznie identycznych z wymaganiami dla dobrego stanu kłóci się z zapisami art. 4.3 RDW określającym okoliczności w których JCWP może zostać wyznaczona jako silnie zmieniona. Okoliczności te wykluczają możliwość osiągnięcia dobrego stanu JCWP bez ryzyka znaczącego niekorzystnego wpływu na korzystne cele, do których się dąży za pomocą charakterystyki sztucznej lub silnie zmienionej części wód.

Przepływy graniczne zaproponowane jako minimalne wymagane dla zachowania dobrego stanu ekosystemów wodnych i od wód zależnych nie mają przypisanego okresu roku, częstotliwości ani żadnej innej formy określenia wymagań kiedy należy je przekraczać a oczywistym jest że nie chodzi tu o wymaganie stałego ich przekraczania. Ponadto autorzy metodyki określili tu kilka granicznych przepływów w strefie korytowej (przepływ brzegowy niski, średni i wysoki), które nie są wyznaczane zwyczajowo w naszym kraju a sposób ich wyznaczania nie został podany w metodyce.

3. Propozycja sposobu weryfikacji i kalibracji metody szacowania przepływów środowiskowych w Polsce

3.1. Założenia do procedury weryfikacji i kalibracji metody szacowania przepływów środowiskowych

Metoda szacowania przepływów środowiskowych przedstawiona w opracowaniu „Ustalenie metody szacowania przepływów środowiskowych w Polsce” zostanie zweryfikowana poprzez porównanie wyników uzyskanych w oparciu o badania terenowe i pomiary w 35 zlewniach badawczych z wynikami wg metody zaproponowanej w [24]. Podstawowym założeniem uzupełniającym metodykę wyznaczania przepływów środowiskowych w stosunku do weryfikowanej metody jest uwzględnienie wymagań środowiskowych makrobezkręgowców bentosowych.

Badania terenowe obejmować będą:

- 3-krotne kartowanie jednostek hydromorfologicznych (JHM) na wybranych odcinkach cieków wraz pomiarem głębokości i prędkości wody w JHM, oceną substratu dennego i kryjówek dla ryb. Kartowanie zostanie uzupełnione o profil podłużny i profile poprzeczne badanego odcinka oraz pomiary przepływu.
- 3-krotne badania ichtiologiczne na ww. odcinkach cieków obejmujące okres tarła jesiennego, tarła wiosennego i żerowania.
- 2-krotne badania makrozoobentosu na ww. odcinkach obejmujące okresy wzrostu jesiennego i wiosennego.

Zaproponowane odcinki badawcze obejmują wszystkie typy ichtiologiczne (6 typów) przyjęte w [24] oraz wszystkie typy biocenotyczne (6 typów) z uwagi na makrozoobentos, po kilka rzek w każdym typie. Zgodnie z wymaganiami zleceniodawcy zlokalizowano je w JCWP o różnym statusie i obejmują one nie tylko naturalne JCWP ale także silnie zmienione i sztuczne (22 –naturalne, 12 –silnie zmienionych, 1 – sztuczna).

Podstawą wyznaczania przepływów środowiskowych jest określenie wymagań siedliskowych związanych z reżimem przepływu gatunków reprezentatywnych (wskaźnikowych) dla danego ekosystemu (gatunki, taksony).

Przepływ środowiskowy wyznaczany jest na podstawie wymagań siedliskowych gatunków/taksonów reprezentatywnych (wskaźnikowych) dla danego ekosystemu. Z możliwych do wyboru gatunków/taksonów; wybierany zostanie najbardziej wrażliwy o wysokich wymaganiach lub specyficznych wymaganiach. Aby spełnić wymagania ekosystemów i gatunków przepływ środowiskowy musi być inny w każdym okresie roku (bioperiodzie). Spełnienie potrzeb ekosystemów wymaga zatem odpowiedniego reżimu przepływów którego cechy można określić definiując następujące, cząstkowe przepływy środowiskowe:

- Q_{min} nie mniejsze niż zależne od kluczowego przedmiotu ochrony,
- Q_{tw} przepływy dla tarła wiosennego, wielkości i okres,
- Q_{tj} przepływy dla tarła jesiennego, wielkości i okres,
- Q_{he} przepływ hydromorfologicznie efektywny (skuteczny) zapewniający utrzymanie struktur siedliskowych i ich stosowne proporcje,
- Q_h przepływ habitatowy dla siedlisk od wód zależnych (większy od pełno korytowego).

Przepływy środowiskowe odnoszące się do przepływów niskich będą podstawą weryfikacji i ewentualnej modyfikacji formuły uproszczonej zaproponowanej w [24]. Jako dodatkowy element weryfikacji przyjęto metodę hydrauliczną wyznaczania przepływów środowiskowych.

3.2. Zakres weryfikacji i kalibracji metody

Weryfikacja zaproponowanej w [24] metody wyznaczania przepływów środowiskowych skupiać się będzie na dwu aspektach: analizie metodyki pod kątem jej poprawności tj. zgodności z rzeczywistością oraz analizie kompletności i użyteczności zaproponowanych rozwiązań mających na celu ocenę jej przydatności przy czym pierwszy z tych aspektów obejmował będzie analizę konsekwencji wprowadzenia makrozoobentosu jako dodatkowego elementu biologicznego wymaganego przy ocenie przepływów środowiskowych.

3.2.1. Ocena poprawności (prawidłowości) zaproponowanej metody

W ramach oceny poprawności przeprowadzona zostanie weryfikacja metodyki w oparciu o rezultaty badań terenowych ichtiofauny. Przeprowadzone zostaną również analizy czy uwzględnienie, przy określeniu przepływów środowiskowych, wymagań środowiska biocenotycznego makrobezkręgowców bentosowych może przyczynić się do ulepszenia metodyki. Proces weryfikacji

modelu prowadzony będzie zatem pod kątem potrzeby i możliwości jego modyfikacji. Założenia odnośnie hipotetycznej docelowej postaci metodyki przyjmują za podstawę rozwiązanie przyjęte w [24] i definiują kierunki jego rozwinięcia. Proces weryfikacji obejmował będzie elementy opisane niżej (por. [29, 30, 31]).

- 1) Weryfikacja DoZeR jako podstawy wyznaczania przepływu środowiskowego. Procedura weryfikacji obejmować będzie:
 - a) Obliczenia przepływu środowiskowego w 35 zlewniach badawczych w oparciu o DoZeR.
 - b) Obliczenia przepływu środowiskowego w 35 zlewniach badawczych dla składu gatunkowego ryb uzyskanych z odłowów.
 - c) Obliczenia przepływu środowiskowego w 35 zlewniach badawczych w oparciu o gatunek krytyczny, cenny gospodarczo lub przyrodniczo.
 - d) Analiza czułości metody na zmianę składu gatunkowego ryb i wnioski odnośnie rekomendowanego sposobu definiowania składu ryb jako organizmów wskaźnikowych dla wyznaczenia przepływu środowiskowego.
- 2) Weryfikacja hipotezy, że współczynnik p_b we wzorze odnoszącym się do metody uproszczonej wyznaczania przepływów środowiskowych w naturalnych częściach wód jest stały w bioperiodzie, w ciekach o danych typie ichtiologicznym. Procedura weryfikacji obejmować będzie:
 - a) Obliczenia przepływu środowiskowego w 35 zlewniach badawczych w oparciu o wymagania ryb jako organizmów wskaźnikowych.
 - b) Wyznaczenie współczynników p_b .
 - c) Analizę zmienności współczynników p_b w ciekach o tym samym typie ichtiologicznym i wnioski.
- 3) Weryfikacja hipotezy, że ryby są wystarczającą grupą parasolową/wskaźnikową. Procedura weryfikacji obejmować będzie:
 - a) Obliczenie przepływu środowiskowego w 35 zlewniach badawczych w oparciu o makrobezkręgowce bentosowe).
 - b) Analiza przepływów środowiskowych obliczonych w oparciu o wymagania ryb i makrozoobentosu.

- c) Wnioski odnośnie wykorzystania makrozobentosu jako jednego z elementów wskaźnikowych przy wyznaczaniu przepływu środowiskowego w tym możliwości wykorzystania przy opracowaniu formuły uproszczonej.
- 4) Weryfikacja hipotezy że SNQ jest najlepszą charakterystyką hydrologiczną do wykorzystania w zaproponowanym wzorze odnoszącym się do metody uproszczonej wyznaczania przepływów środowiskowych w naturalnych częściach wód. Procedura weryfikacji obejmować będzie:
- a) Modyfikację formuły uproszczonej wyznaczania przepływu środowiskowego obejmującą zamianę SNQ_b (SNq_b) dla bioperiodu, w rozważanej formule, na inną charakterystykę (np. przepływ średni roczny - SSQ, przepływ minimalny x-procentowy - $Q_{min_{x\%}}$, lub przepływ minimalny o czasie trwania, wraz z niższymi, x-dni - $Q_{min_{xdni}}$) wyznaczaną również dla bioperiodów.
- b) Wyznaczenie współczynników p_b (w oparciu o obliczenia przepływów środowiskowych z punktu 1).
- c) Analizę zmienności współczynników p_b w ciekach o tym samym typie ichtiologicznym.

3.2.2. Ocena przydatności zaproponowanej metody

Ocena przydatności zaproponowanej metody obejmować będzie analizę kompletności i użyteczności zaproponowanych rozwiązań.

Ocena kompletności opierać się będzie na ocenie zakresu stosowalności zaproponowanych metod. Ma ona na celu sprawdzenie jakie przypadki obliczania przepływów środowiskowych nie zostały uwzględnione i / lub zostały niedostatecznie doprecyzowane w dotychczasowej metodyce. Zgodnie z wymogami Zamawiającego analizowane będą następujące elementy:

- Przepływy środowiskowe dla jednolitych części wód, dla których ustanowione zostało odstępstwo z art. 4.4 i 4.5 Ramowej Dyrektywy Wodnej.
- Przepływy środowiskowe w kontekście wymagań dla ekosystemów od wód zależnych (w tym tzw. przepływy pozakorytowe - zasadność, celowość i praktyczne możliwości ich zastosowania w skali kraju).
- Powiązanie przepływów środowiskowych w rzekach z ochroną jednolitych części wód jeziornych, zbiornikowych (jednolitych części wód rzecznych stanowiących sztuczne zbiorniki wodne) i przejściowych.

- Przepływy środowiskowe w kontekście zmian klimatycznych i związanej z nimi zwiększonej częstotliwości zjawisk ekstremalnych, w tym suszy.
- Przepływy środowiskowe dla zapewnienia warunków rozwoju ichtiofauny w przypadku braku drożności cieków dla ryb dwuśrodowiskowych lub w przypadku sztucznego zarybiania.
- Przepływy środowiskowe na ciekach nieobjętych pomiarami hydrometrycznymi (brak danych pomiarowych o przepływach).
- Zachowanie przepływów środowiskowych na obszarach chronionych, w tym porównanie wartości przepływów nienaruszalnych wynikających z Planów Zadań Ochronnych z przepływami środowiskowymi.
- Podejście do wyznaczania przepływów środowiskowych dla jednolitych części wód wyznaczonych jako silnie zmienione lub sztuczne.
- Podejście do wyznaczania przepływów środowiskowych cieków o małej lub bardzo małej zlewni (poniżej 10 km²), niebędących jednolitymi częściami wód.

W rezultacie metodyka zostanie uzupełniona o wytyczne wyznaczania przepływów środowiskowych dla ww. przypadków.

Ocena użyteczności zaproponowanych metod obejmować będzie opisane niżej elementy.

- 1) Ocena użyteczności praktycznej zaproponowanych metod uwzględniająca wymagania odnośnie danych i pomiarów, w tym operacyjnych i aspekty praktyczne zastosowania. W tym kontekście bardziej szczegółowej analizie podlegać będzie:
 - a) Metoda adaptacyjna wyznaczania przepływów środowiskowych korytowych w naturalnych JCWP ze względu na: konieczność użycia modelu MesoHABSIM dla miejsca w którym chcemy zastosować tę metodę oraz konieczność posiadania historycznych danych o przepływach i śledzenia aktualnego przepływu.
 - b) Propozycja dotycząca procedury określania przepływów środowiskowych korytowych w silnie zmienionych jednolitych częściach wód ze względu na: wymaganą diagnozę koniecznych działań kompensacyjnych w zakresie morfologii i konieczność ustalenia wzorców biologicznych dobrego potencjału wód.
- 2) Porównanie rezultatów obliczeń przepływu środowiskowego z wynikami innych metod. Analiza ma na celu z jednej strony ocenę konsekwencji wdrożenia przepływów środowiskowych z drugiej

zaś analizę możliwości wykorzystania alternatywnych rozwiązań wraz z oceną zakresu ich stosowalności. W analizach porównawczych wykorzystane zostaną:

- a) Metody stosowane dotychczas /przyjęte w warunkach korzystania z wód regionów wodnych przy wyznaczaniu przepływu nienaruszalnego.
- b) Metoda hydrauliczna oparta o obwód zwilżony.

3.3. Dodatkowe elementy metodyczne

Poniżej opisano założenia dotyczące rozwinięcia weryfikowanej metodyki o dodatkowe elementy sygnalizowane w poprzednich rozdziałach.

3.3.1. Założenia wyznaczania przepływów środowiskowych z punktu widzenia makrozoobentosu

Występowanie poszczególnych grup makrobezkręgowców jest silnie uzależnione od parametrów hydromorfologicznych rzeki, które kształtują w obrębie koryta siedliska potencjalnie kolonizowane przez te organizmy. Do parametrów szczególnie istotnych dla zgrupowań makrofauny wodnej zaliczyć należy prędkość przepływu wody i głębokość, ale też typ substratu dna.

W wybranych 35 zlewniach reprezentatywnych dla typów biocenotycznych rzek Polski wyznaczone zostaną odcinki 100 metrowe, w których pobranych zostanie dwukrotnie po 20 prób cząstkowych makrobezkręgowców wodnych dobranych proporcjonalnie do wielkości siedliska w danym odcinku.

Na podstawie prób cząstkowych obliczone zostaną podstawowe parametry zgrupowań makrobezkręgowców takie jak liczba taksonów, średnie zagęszczenie, indeksy biotyczne: BMWP-PL, ASPT, EPT oraz wskaźnik LIFE (por. [9, 4]), a także parametry historii życiowych poszczególnych grup taksonomicznych. W oparciu o uogólniony model liniowy, wyznaczone, na podstawie badań terenowych, wartości parametrów środowiskowych (głębokość i prędkość wody oraz typ podłoża) zostaną skorelowane z poszczególnymi parametrami struktury makrobezkręgowców. Na tej podstawie zbadane zostaną optymalne zakresy wartości poszczególnych parametrów zgrupowań które będą charakteryzowały typy siedliskowe we wszystkich przekrojach. Na ich podstawie zbudowany zostanie model określający najbardziej optymalne warunki dla danego parametru środowiskowego. Model ten będzie odpowiadał charakterystyce danego typu środowiska występującego w danej rzece. Na tej podstawie będzie można stworzyć ważony wskaźnik udziału danego siedliska (WUA- weighted usable area) według wzoru (por. [43]):

$$WUA = \sum F [f(D_i), f(V_i), f(S_i)] \times A_i$$

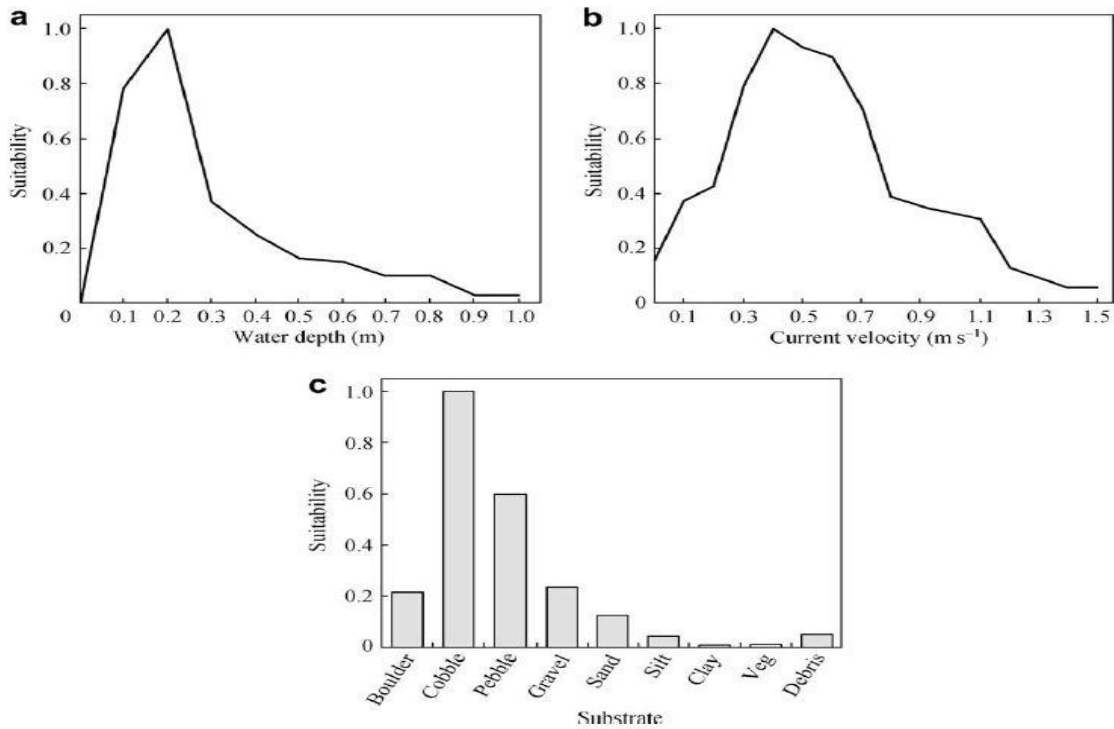
gdzie:

- A_i określa powierzchnię zajmowaną przez dany typ siedliska,
- $f(D_i)$, $f(V_i)$, and $f(S_i)$ określają kolejno optymalizacja głębokości, prędkości oraz podłoża w rzece,
- F jest funkcją optymalizacji całkowitej parametru.

Na podstawie pomiarów określających średni przepływ charakterystyczny dla danego typu środowiska a jednocześnie znając procentowy udział danego siedliska w danym typie rzeki można będzie wykreślić krzywe środowiskowe dla każdej ze zlewni określające zależność między przepływem a powierzchnią danego typu siedliska. Pozwoli to na wyznaczenie minimalnego przepływu środowiskowego jaki jest konieczny do zachowania optymalnego środowiska życia makrobezkręgowców.

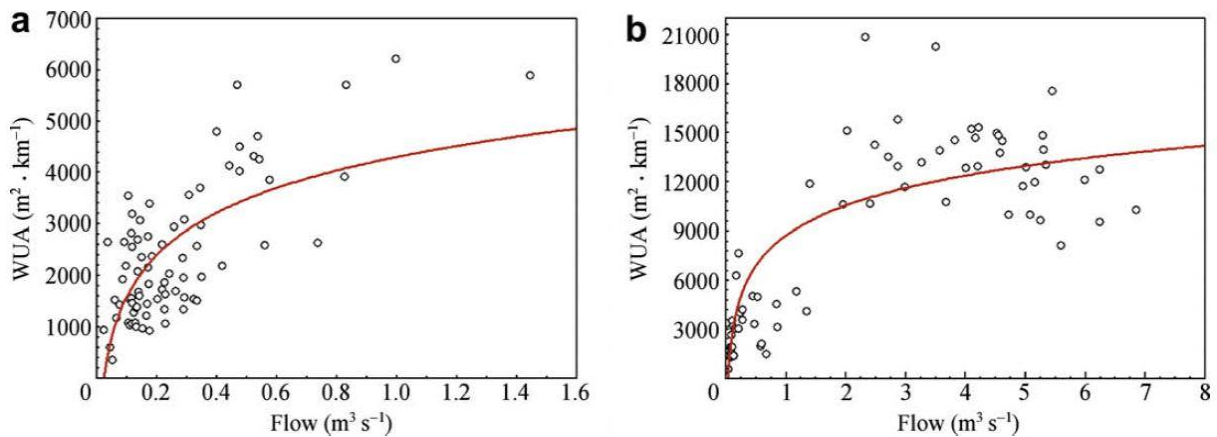
W oparciu o analizę niemetrycznego skalowania wielowymiarowego wszystkie zlewnie zostaną sklasyfikowane na podstawie składu taksonomicznego występujących tam makrobezkręgowców. W danej klasie, istotnie statystycznie różnicującej skład taksonomiczny makrobezkręgowców, obliczony zostanie średni minimalny przepływ środowiskowy pozwalający na utrzymanie optymalnego parametru struktury zgrupowań makrobezkręgowców. Przy pomocy analizy wariancji porównane zostaną średnie wartości minimalnego przepływu środowiskowego dla wszystkich parametrów badanych zgrupowań, dzięki czemu możliwe będzie zbadanie czy wszystkie parametry struktury podlegają tym samym mechanizmom kształtowania zgrupowań zależnym od wartości przepływu, czy też występuje kilka minimalnych przepływów kształtujących różne parametry struktury.

Niżej przedstawiono przykładowy model dopasowania siedliska oraz wyznaczenia wartości przepływu środowiskowego dla jętki z rodzaju *Baetis* w oparciu o kluczowe dla makrobentosu parametry środowiskowe tj. głębokość i prędkość wody oraz typ substratu. Wspomniany wyżej model dopasowania zilustrowano na rysunku poniżej (Rysunek 1).



Rysunek 1 Przykładowy model dopasowania siedliska rodzaju *Baetis* dla parametru: (a) głębokości, (b) prędkości oraz (c) typu substratu. (źródło:[26])

Następnie oblicza się zależność między przepływem a powierzchnią obszarów optymalnych dla danego wskaźnika makrozoobentosu (Rysunek 2).



Rysunek 2 Diagram regresji opisujący zależności pomiędzy wskaźnikiem WUA i wartościami przepływu dla rodzaju *Baetis*, (a) rzeka przekształcona (b) rzeka naturalna. (źródło: [26])

3.3.2. Założenia analizy możliwości wykorzystania metody hydraulicznej do wyznaczania przepływów środowiskowych

Metody hydrauliczne to metody kameralne, oparte na relacjach pomiędzy pewnymi hydraulicznymi miarami, zazwyczaj obwód zwilżony lub głębokość, a wielkością przepływu w rzece (por. [25, 22, 44,

32, 2, 41, 11, 28, 12, 33, 23, 27]). Zależność opisuje się prostą funkcją która może zostać wykorzystana przy opisie hydraulicznych zmiennych jako funkcja przepływu jak np.:

$$OW = aQ^b$$

gdzie

OW - obwód zwilżony

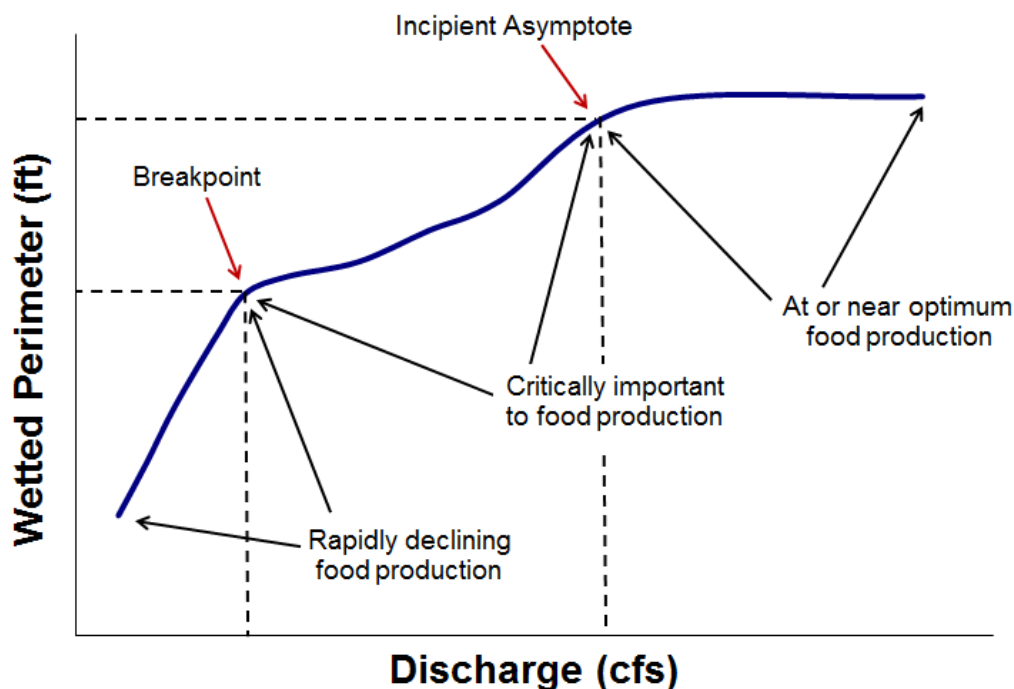
Q – przepływ

a, b – stałe równania

Stałe równania (a i b) powinny być wyznaczone empirycznie dla każdej zlewni, gdyż parametry hydrauliczne dla poszczególnych koryt rzecznych są zmienne.

Powodem wykorzystania metody hydraulicznej do oszacowania dolnej granicy przepływu środowiskowego (przepływ nienaruszalny) jest wykazany w wielu badaniach bezpośredni lub pośredni związek pomiędzy parametrami hydraulicznymi cieków a jakością środowiska wodnego. W opracowaniu zostanie wykorzystana **metoda obwodu zwilżonego** (*wetted perimeter method*)

Metoda obwodu zwilżonego oparta jest na zależności pomiędzy obwodem zwilżonym w danym przekroju cieków a wielkością przepływu. Jest ona stosunkowo często wykorzystywana przy podejmowaniu decyzji, dotyczących wymaganego do utrzymania minimalnego przepływu do zachowania siedlisk w rzekach uregulowanych. Znajduje zastosowanie głównie tam, gdzie migracja ryb może być utrudniona. W zawiązku z tym przekrój referencyjny do określenia obwodu zwilżonego będzie wybrany po analizie hydromorfologicznej koryta w miejscu najwyższych bystrz, a więc tam gdzie istnieją najniekorzystniejsze warunki migracji ichtiofauny oraz dostępności pokarmu w postaci makrozoobentosu. Obwód zwilżony definiuje się jako szerokość dna koryta i brzegów, które mają bezpośredni kontakt z wodą. Wartości minimalnych przepływów środowiskowych wyznaczy się na podstawie krzywej, utworzonej z relacji *przepływ – obwód zwilżony* przez określenie tzw. punktów przerwania (breakpoints). Są to takie punkty, gdzie zakrzywienie osiąga wartość maksymalną, bądź widoczne jest nachylenie krzywej. Punkty przerwania będą wyznaczone w oparciu o analizę nachylenia krzywej. Relacja obwodu zwilżonego wraz z przepływem opisana jest poprzez zwiększanie się przepływu wraz z głębokością. Wyznaczona wartość dolnego ograniczenia przepływu będzie odniesiona do wymogów organizmów reprezentatywnych dla danej jednostki hydromorfologicznej. Przykład relacji obwodu zwilżonego do przepływu zinterpretowanej w kategoriach warunków dla bytowania / hodowli ryb pokazano na rysunku poniżej (Rysunek 3)



Rysunek 3 Przykład krzywej zależności obwodu zwilżonego od przepływu pokazujący relacje między załamaniem krzywej a warunkami siedliskowymi dla ryb (źródło: [3])

Metoda zostanie zastosowana w zlewniach badawczych dla których przewidziano badania terenowe. W wybranych przekrojach zostaną wykonane pomiary geodezyjne, wyznaczony układ zwierciadła wody, skład granulometryczny rumowiska a za pomocą jednowymiarowego modelu wykonane klasyczne obliczenia hydrauliczne, na podstawie których określona będzie prędkość i natężenie przepływu dla różnych napełnień, tak by skonstruować zależność obwodu zwilżonego od natężenia przepływu. Dodatkowo w celu weryfikacji wykonanej zależności będą wykonane pomiary hydrometryczne w tych samych przekrojach przy trzech napełnieniach, tak by określić rzeczywiste prędkość i natężenie przepływu oraz opory przepływu.

Analiza uzyskanych rezultatów i ich porównanie z wynikami innych metod zastosowanych w ramach weryfikacji metodyki [24] pozwoli na określenie przydatności metody i sformułowanie ewentualnych sugestii odnośnie zakresu jej stosowalności do wyznaczania przepływów środowiskowych.

4. Podsumowanie

Zaproponowany sposób weryfikacji i kalibracji opracowanej w roku 2015 i opisanej w [24] metody szacowania przepływów środowiskowych jest etapem pośrednim zmierzającym do opracowania w roku 2018 propozycji jednolitego systemu wyznaczania przepływów środowiskowych w Polsce, mających w perspektywie kolejnego cyklu planistycznego 2021 – 2027 zastąpić obowiązujące obecnie

przepływy nienaruszalne. Stąd prowadzone w ramach niniejszego projektu prace uwzględniają lub uwzględniać będą prowadzone równoległe prace dotyczące m. in.:

- opracowanej w roku 2015 i ostatecznie uzgodnionej nowej typologii wód powierzchniowych w Polsce [21], zakładającej zmniejszenie z 26 do 20 typów rzek i potoków,
- planowanej do realizacji w latach 2018 - 2019 pracy „Przegląd i weryfikacja metodyk wyznaczania SZCW i SCW”, która dotyczyć będzie między innymi określenia potencjału ekologicznego, co może mieć znaczenie dla ustalenia ostatecznej metody określania przepływów środowiskowych.

Przewidziane w projekcie kilkukrotne badania warunków siedliskowych oraz składu występującej w środowisku wodnym ichtiofauny i makrozoobentosu, prowadzone będą przy zróżnicowanych warunkach hydrologicznych i różnych stadiach rozwojowych organizmów żywych, w wybranych 35 zlewniach badawczych. Dostarczy to szerokiego materiału porównawczego dla 10 typów środowiska wodnego, jakie występują w Polsce w wyniku nałożenia nowej typologii wód na typy biocenotyczne występowania ryb oraz makrozoobentosu. Ponadto dokonany dobór zlewni badawczych pozwala na analizę sposobu wyznaczania przepływów środowiskowych dla rzek kontrolowanych i niekontrolowanych, o różnym statusie (naturalne, silnie zmienione, sztuczne) i różnej wielkości powierzchni zlewni.

Tak szerokie spektrum rozpatrywanych przypadków zwiększa gwarancję, że efekt projektu, jakim będzie jednolita metoda szacowania przepływów środowiskowych, obejmie wszystkie istotne uwarunkowania, w tym różnorodność środowiska wodnego w Polsce.

5. Literatura

1. Bain M.B., Meixler M.S. 2008. A target fish community to guide river restoration. *River. Res. Applic.* 24, pp. 453–458
2. Bovee K. D. (1982), A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology. Instream Flow Information Paper 12, United States Fish and Wildlife Service, Fort Collins, Colorado.
3. California Department of Fish and Wildlife (2013), Standard Operating Procedure for the Wetted Perimeter Method in California. Instream Flow Program, Sacramento, California, August 2013
4. Ciecierska H., Dynowska M. (2013), Biologiczne metody oceny środowiska. Tom II: Ekosystemy wodne. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn, s.316.
5. Communication from The Commission to The European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee of the Regions A Blueprint to Safeguard Europe's Water Resources (14.11.2012r., COM (2012) 673 final
6. Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive. Guidance document No. 31. Technical report 2015-086.
7. Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive. Compilation of case studies referenced in CIS guidance document n°31. December 2014.
8. Engel J. (red) (2012), Uwarunkowania środowiskowe przy realizacji małych elektrowni wodnych. Biuro Ekspertyz Środowiskowych w Słońsku
9. Extence C.A. Balbi D.M., Chadd R.P. (1999), River flow indexing using british benthic macroinvertebrates: a framework for setting hydroecological objectives. *Regulated Rivers: Research and Management.* 15: 543–574.
10. Furse M.T., Hering D., Brabec K., Buffagni A., Sandin L., Verdonschot P.F.M., 2006. The Ecological status of European rivers: evaluation and intercalibration of assessment methods. *Developments in Hydrobiology*, vol. 566. Springer
11. Gippel C. J., Stewardson M. J. (1998), Use of wetted perimeter in defining minimum environmental flows. *Regulated Rivers: Research & Management*, 14, 53-67.
12. Gordon N. D., McMahon T.A., Finlayson B. L. (1992), *Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists.* Wyd. Wiley, Chichester.
13. Gurnell A., Belletti B., Bizzi S., Blamauer B., Braca G., Buijse T., Bussettini M., Camenen B., Comiti F., Demarchi L., García De Jalón D., González Del Tánago M., Grabowski R.C., Gunn I.D.M., Habersack v, Hendriks D., Henshaw A., Klösch M., Lastoria B., Latapie A., Marcinkowski P., Martínez-Fernández V., Mosselman E., Mountford J.O., Nardi L., Okruszko T., O'Hare M.T., Palma M., Percopo C., Rinaldi M., Surian N., Weissteiner C. and Ziliani L. (2014), A hierarchical multi-scale framework and indicators of hydromorphological processes and forms. Deliverable 2.1, a report in four parts of REFORM (REstoring rivers FOR effective catchment Management), a Collaborative project (large-scale integrating project) funded by the European Commission within the 7th Framework Programme under Grant Agreement 282656

14. Hauer C., Liedermann M. & Habersack H. 2006 The application of hydrodynamic models as integrative tool between flood protection and ecological demands using a morphologically based evaluation method. International Conference on Fluvial Hydraulics, 6-8 September 2006, Lisbon
15. Hauer, C., Tritthart, M., Unfer, G., Schmutz, S., Habersack, H., (2007): The necessity of modelling the stability of spawning grounds for rheophilous cyprinids including a comparison between 1D, 2D and 2D numerical models 6th International Symposium on Ecohydraulics, 18-23 February 2007, Christchurch Convention Centre / New Zealand
16. Hauer, C., Tritthart, M., Habersack, H., (2008): Computer-aided mesohabitat evaluation, part I - Background, model concept, calibration and validation based on hydrodynamic numerical modeling. [Poster] International Conference on Fluvial Hydraulics, River Flow 2008, 3.-5.9.2008, Cesme-Izmir
17. Intecsa-Inarsa (2012), Analysis of the implementation of Environmental Flows in the wider context of the River Basin Management Plans. Intecsa-Inarsa, 11.2012, (http://www.icid.org/report_env_2013.pdf)
18. Inspekcja Ochrony Środowiska, Monitoring ichtiofauny w rzekach. Przewodnik metodyczny. Redakcja: P. Prus, W. Wiśniewolski. M. Adamczyk. Biblioteka Monitoringu Środowiska.
19. IOŚ (2013), Przewodnik do oceny stanu ekologicznego rzek na podstawie makrobezkręgowców bentosowych. Redakcja naukowa: B. Bis, A. Mikulec. Inspekcja Ochrony Środowiska, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 2013 r.
20. Li F., Cai Q., Fu X., Liu J., (2009), Construction of habitat suitability models (HSMs) for benthic macroinvertebrate and their applications to instream environmental flows: A case study in Xiangxi River of Three Gorges Reservoir region, China. Progress in Natural Science 19: 359–367
21. KZGW (2015), Ostateczna uzgodniona typologia wód powierzchniowych ze streszczeniem. KZGW, Warszawa, Gliwice, 2015 r.
22. Jowett I. G. 1997. Instream flow methods: a comparison of approaches. Reg. Riv. Res. Manage, 13, 115-127.
23. Kilgour B. W., Neary J., Ming D., Beach D. 2005. Preliminary investigations of the use and status of Instream-Flow-Needs methods in Ontario with specific reference to application with hydroelectric developments. Can. Man. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2723.
24. KZGW (2015), Ustalenie metody szacowania przepływów środowiskowych w Polsce. Etap II raport końcowy. Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, grudzień 2015
25. Leopold L. B., Maddock T. 1953. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. Wyd. United States Geological Survey.
26. Li F., Cai Q., Fu X., Liu J. (2009), Construction of habitat suitability models (HSMs) for benthic macroinvertebrate and their applications to instream environmental flows: A case study in Xiangxi River of Three Gorges Reservoir region, China. Progress in Natural Science 19: 359–367
27. Linnansaari T., Monk W. A., Baird D. J., Curry R. A. 2013. Review of approaches and methods to assess Environmental Flows across Canada and internationally. National Capital Region, Research Document 2012/039

28. McCarthy J. H. 2003. Wetted Perimeter Assessment Shoal Harbour River Shoal Harbour, Clarenville Newfoundland. [w:] Maddock I., Harby A., Kemp P., Wood P: Ecohydraulics: an integrated approach. Wyd. John Wiley & Sons Ltd.
29. Meixler M. S. and Bain M. B., 2010a A water quality model for regional stream assessment and conservation strategy development, *Environmental Management*, 45, 4, 868–880,.
30. Meixler M. S. and Bain M. B. 2010b. Landscape scale assessment of stream channel and riparian habitat restoration needs. *Landscape and Ecol. Eng.*, 6, 2, 235–245.
31. Meixler M. S. and Bain M. B. 2012 A GIS Framework for Fish Habitat Prediction at the River Basin Scale *Int. J. Ecol.* 1-10. Article ID 146073,
32. Moyle P. B., Williams J. G., Kiernan J. D. 2011. Improving environmental flow methods used in California. Federal Energy Regulatory Commission Relicensing. California Energy Commission, PIER. CEC-500-2011-037.
33. Nehring R. B. Anderson R. M. 1993. Determination of population-limiting critical salmonid habitats in Colorado streams using IFIM/PHABSIM. *Rivers*, 4, 1-9.
34. Parasiewicz P. (2003), Upscaling: Integrating Habitat Model into River Management, *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques*, 28:2, 283-299, DOI: 10.4296/cwrj2802283
35. Parasiewicz P. (2007), The MesoHABSIM model revisited. *River Research and Application*, 23(8) pp. 893–903, DOI: 10.1002/rra.1045
36. Parasiewicz P. (2007), Using MesoHABSIM to develop reference habitat template and ecological management scenarios, *River Research and Application*, Published online in Wiley InterScience, DOI: 10.1002/rra.1044
37. Parasiewicz, P. (2008a) Habitat time-series analysis to define flow-augmentation strategy for the Quinebaug River, Connecticut and Massachusetts, USA. *River Research and Application*, 24: 439–452. doi: 10.1002/rra.1066
38. Parasiewicz P., Adamczyk M. (2014), MesoHABSIM symulacyjny model siedlisk ichtiofauny rzecznej, uwzględniający ochronę jej zasobów oraz potrzeby gospodarki rybackiej, *Komunikaty Rybackie* Nr 5 (142) str. 5-10.
39. Parasiewicz P, Rogers JN, Gortazar J, Vezza P, Wiśniewolski W, Comglio C. (2013), The MesoHABSIM Simulation Model – development and applications. In Maddock I., Harby A., Kemp P., Wood P. Ecohydraulics: an integrated approach. John Wiley & Sons Ltd. p. 109-124
40. Parasiewicz P., Pegg M., Rogers J., Behmer A., Eldridge A.. (2014), Developing Environmental Flows for Fish and Wildlife: A Mesohabitat Study on the Niobrara River (by Rushing Rivers Institute and University of Lincoln, Nebraska).
41. Reiser D.W., Wesche T. A., Estes C. (1989), Status of instream flow legislation and practices in North America. *Fisheries*, 14, 22-29.
42. Smakhtin, V.; Anputhas, M. (2006), An assessment of environmental flow requirements of Indian river basins. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. 42p. (IWMI Research Report 107)

43. Steffler P., Blackburn J. (2002), River2D, Two-Dimensional Depth Averaged Model of River Hydrodynamics and Fish Habitat University of Alberta
44. Tharme R. E. (2003), A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the developments and applications of environmental flow methodologies for rivers. Riv. Res. Appl., 19,397-441.
45. Wiśniewolski W i in. (2013), Badania ichtiofauny w latach 2010-2012 dla potrzeb oceny stanu ekologicznego wód wraz z udziałem w europejskim ćwiczeniu interkalibracyjnym – rzek. Instytut Rybactwa Śródlądowego
46. Vezza P., Parasiewicz P., Spairani M., Comoglio C., 2014. Habitat modelling in high gradient streams: the meso-scale approach and application. Ecological Applications. 28(4):844–861. <http://dx.doi.org/10.1890/11-2066.1>