

LESZEK KSIĄŻEK, WOJCIECH BARTNIK

Katedra Inżynierii Wodnej  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

## WYKORZYSTANIE WARUNKÓW HYDRAULICZNYCH DO OCENY TYPÓW SIEDLISK W KORYCIE RZECZNYM

**Streszczenie.** W pracy wykorzystano Mesohabitat Evaluation Model (MEM) do wyróżnienia typów siedlisk na odcinku rzeki Skawy w zasięgu cofki ze zbiornika wodnego Świnna Poręba. Ocena typów siedlisk została przeprowadzona dla różnych przepływów z efektem oraz bez efektu piętrzenia wody na zbiorniku. Na podstawie pomiarów terenowych obejmujących pomiary geodezyjne, skład granulometryczny rumowiska, prędkości przepływu wody zbudowano numeryczny model terenu, a następnie wykonano symulacje warunków przepływu z wykorzystaniem dwuwymiarowego modelu numerycznego. W czasie wezbrania warunki przepływu wody ulegają zmianie, a co za tym idzie – zmieniają się typy siedlisk. W takich warunkach dominuje przepływ szybki i normalny, zwiększa się też obszar, gdzie panuje nurt wartki RF. Stwierdzono, że gospodarka wodna w zbiorniku ma decydujący wpływ na zmiany typów siedlisk na badanym odcinku; następuje wtedy zanik ich różnorodności i wykształcenie się zastoisk.

**Słowa kluczowe:** typy siedlisk, warunki przepływu, udrożnienie rzeki

### Wstęp

Przywracanie ciągłości biologicznej cieków dotyczy zarówno umożliwienia pokonywania piętrzeń budowli hydrotechnicznych przez organizmy wodne, jak i zapewnienia równowagi hydrodynamicznej i ekologicznej w korytach cieków na całej ich długości.

Gospodarcze wykorzystanie rzek spowodowało przekształcenia dolin rzecznych i ich koryt. Zapobieganie w pierwszej kolejności pogarszaniu się obecnego stanu, a w dalszej perspektywie udrażnianie zdegradowanych odcinków koryt rzecznych znalazło odzwierciedlenie w zapisach Dyrektywy Wodnej. Przykładem zmiany podejścia do regulacji rzek w terenie zurbanizowanym jest wykorzystanie np. stopni-bystrzy, które są rozwiązaniem bliskim naturze. W sposób sztuczny odtwarzają one obserwowane w ciekach sekwencje bystrze-płoso. Zabiegi te mają na celu, przy zapewnieniu wymaganej przepustowości koryta, odtwarzanie różnorodności siedlisk i przybliżanie stanu

koryta do warunków naturalnych. Ocena stanu biologicznego staje się ważnym elementem udrażniania rzek. Ocena typów siedlisk służy do porównania odcinków rzek, jak również na etapie projektowania do prognozowania oddziaływania na środowisko.

Przykładem narzędzia do oceny typów siedlisk jest Mesohabitat Evaluation Model (MEM) (HAUER i IN. 2008). Model ten na podstawie reżimu przepływu wody pozwala na ocenę warunków siedliskowych. Wykorzystując prędkość przepływu wody, głębokość oraz naprężenia styczne na dnie, pozwala wyróżnić sześć typów siedlisk odpowiadających różnym warunkom przepływu wody: wartki nurt, przepływ szybki, przepływ normalny, przepływ spokojny, zastoiska oraz płytka woda. Parametry przepływu są określane lokalnie na podstawie modelowania numerycznego.

## Material i metody

Do sprawdzenia możliwości wykorzystania modelu MEM do oceny typów siedlisk został wybrany odcinek rzeki Skawy w zasięgu cofki zbiornika Świnna Poręba. Badany odcinek położony jest w gminie Zembrzyce i zamyka zlewnię o powierzchni  $A = 698 \text{ km}^2$ . Długość rzeki  $L = 37,1 \text{ km}$  (cała rzeka:  $L = 97,77 \text{ km}$ ), średni opad  $P = 850 \text{ mm}$ , średni spadek na badanym odcinku  $I = 0,0041$ .

Na rzece Skawie realizowana jest zapora ziemna usytuowana w km 26+840. Podstawowe zadania zbiornika to ochrona powodziowa doliny rzeki, możliwość redukcji kulminacji fali powodziowej w przekroju Kraków mniej więcej o 0,5 m oraz stworzenie warunków dla ożywienia gospodarczego regionu. Realizacja zapory i piętrzenie wody na zbiorniku odbija się na reżimie przepływu wody na badanym odcinku rzeki Skawy, wpływając na równowagę hydrodynamiczną (BARTNIK i IN. 2005, KSIAŻEK 2006) oraz zmieniając warunki siedliskowe organizmów wodnych.

### Mesohabitat model

Warunki do bytowania, żerowania i rozrodu są różne dla różnych gatunków ichtiofauny (WIŚNIEWOLSKI 2008). HAUER i IN. (2008) wyróżnili następujące typy siedlisk:

- a) wartki nurt – płytkie odcinki o umiarkowanej prędkości przepływu wody, występują znaczne gradienty prędkości (płoso), oznaczenie: RF,
- b) przepływ szybki – odcinki o jednostajnym szybkim przepływie wody, FR,
- c) przepływ normalny – odcinki o dobrze wykształconej linii nurtu, dno płaskie przechodzące do spadku ujemnego, RN,
- d) przepływ spokojny – odcinki o dużym napełnieniu, spokojnym przepływie wody (przemiały pomiędzy płosami), PO,
- e) płytka woda – odcinki o niewielkim napełnieniu z małą prędkością przepływu wody, SW,
- f) zastoiska – płytkie miejsca zastoiskowe przy brzegach w strefie cofkowej, BW.

W metodzie MEM podział na typy siedliskowe realizowany jest z wykorzystaniem parametru MH:

$$MH = (K_d + K_v) \cdot K_r \quad (1)$$

gdzie:  $K_d$  – kod dla napelnienia,  $K_v$  – kod dla prędkości przepływu wody,  $K_\tau$  – kod dla naprężeń stycznych. Parametr MH o wartości 0 wskazuje na siedliska oznaczone jako płytka woda i zastoiska, o wartości w zakresie 2-4 – wskazuje na typ siedliska: przepływ spokojny, MH 5-9 – przepływ normalny, MH 10-18 – przepływ szybki, MH 19-20 – wartki nurt. Typy siedlisk o wartości parametru MH = 0 dzielimy na dwie kategorie, wykorzystując jako kryterium kod napelnienia:  $K_d \geq h_{(4)}$  (MH = 1 – zastoiska) oraz  $K_d < h_{(4)}$  (MH = 0 – płytka woda), gdzie  $h_{(4)}$  oznacza drugi przedział napelnienia.

Podział wartości napelnienia  $h$ , prędkości  $v$  oraz naprężeń stycznych  $\tau$  na przedziały i przypisanie im kodów wykonuje się na podstawie wizji w terenie. Podział na typy siedlisk na odcinku referencyjnym jest decydującym czynnikiem wpływającym na poprawne określenie wielkości przedziałów parametrów przepływu.

W tabeli 1 zestawiono parametry przepływu służące do oceny typów siedlisk wraz z podziałem na przedziały oraz wartością kodu do wzoru (1) dla wybranych zlewni. Zlewnie te znajdują się w Alpach i różnią się podstawowymi parametrami; zlewnia A: powierzchnia  $A = 1753 \text{ km}^2$ , długość  $L = 160 \text{ km}$ , średni opad  $P = 900 \text{ mm}$ , różnica wzniesień  $\Delta W = 738 \text{ m}$ ; zlewnia B:  $A = 118 \text{ km}^2$ , przepływ średni  $Q = 4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Tabela 1. Wartości kodów dla prędkości przepływu wody, napelnienia oraz naprężeń stycznych dla przykładowych zlewni (HAUER i IN. 2008)

Table 1. Numerical codes for flow velocity, water depth and shear stresses for chosen watersheds (HAUER et AL. 2008)

Prędkość (m/s)			Napelnienie (m)			Naprężenia styczne (N/m <sup>2</sup> )		
zlewnia A	zlewnia B	kod	zlewnia A	zlewnia B	kod	zlewnia A	zlewnia B	kod
0,01-0,10	0,01-0,30	1	0,01-0,40	0,01-0,40	5	0,01-2,00	0,01-2,00	0
0,11-0,25	0,31-0,50	2	0,41-0,80	0,41-0,50	4	2,01-20	2,01-25	1
0,26-0,40	0,51-0,75	3	0,81-1,20	0,51-0,60	3	> 20	> 25	2
0,41-0,75	0,76-1,00	4	1,21-1,50	0,61-0,70	2			
> 0,75	> 1,00	5	> 1,51	> 0,70	1			

### Modelowanie numeryczne

W latach 2003-2006 przeprowadzono pomiary terenowe, które obejmowały pomiary geodezyjne odcinka rzeki Skawy wraz z jej dopływem – potokiem Paleczka, analizę składu granulometrycznego rumowiska, profile prędkości oraz pomiar poziomu zwierciadła wody w czasie przejścia fali powodziowej. Obliczono przepływy charakterystyczne, a wartości przepływów historycznych zostały transponowane do przekroju Zembrzyce 37+000 z wodowskazu Wadowice.

Pomiarami objęto odcinek o długości 1,9 km. Odległości pomiędzy przekrojami poprzecznymi wynosiły od 12 do 75 m.

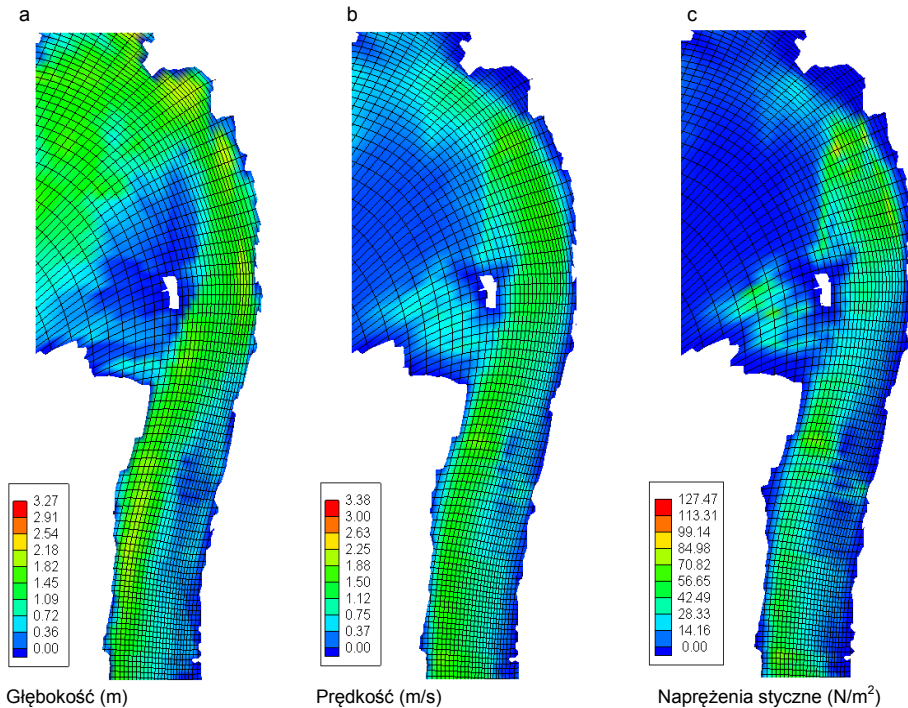
Na podstawie pomiarów terenowych wykonano obliczenia warunków przepływu wody z wykorzystaniem modelu opracowanego na Uniwersytecie Mississipi (ZHANG 2005, ZHANG i JIA 2005). Jest to dwuwymiarowy model typu 2DH umożliwiający wykonanie obliczeń w warunkach przepływu ustalonego lub nieustalonego oraz obliczeń

transportu rumowiska wleczonego i unoszonego. W modelach tego typu następuje uśrednienie wielkości hydraulicznych w pionie (KSIĄŻEK i RADECKI-PAWLIK 2008).

Obliczenia parametrów przepływu wykonywane są przez model w węzłach siatki, której wymiary powinny uwzględniać rodzaj modelowanego zjawiska. Obszar obliczeniowy odcinka rzeki Skawy został objęty siatką obliczeniową składającą się z  $20 \times 500$  węzłów. Odległości pomiędzy pojedynczymi węzłami siatki obliczeniowej wynoszą od 4,8 m do 6,5 m prostopadle do kierunku przepływu i około 4 m wzdłuż osi rzeki. Symulacje przejścia fal wezbrania przeprowadzono dla ustalonych warunków przepływu.

Kroki obliczeniowe uwzględniały przepływy  $Q_{\text{pom}} = 2,64 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{50\%} = 136 \text{ m}^3/\text{s}$  (przepływy w przekroju poniżej ujścia potoku Paleczka), a nie uwzględniały efektu piętrzenia wody na zbiorniku oraz efektu piętrzenia do rzędnej 304,56 m n.p.m i 309,60 m n.p.m (piętrzenie normalne).

Na rysunku 1 przedstawiono fragment obszaru obliczeniowego z wartościami napełnienia, prędkości przepływu wody oraz naprężeń stycznych dla przepływu  $Q = 136 \text{ m}^3/\text{s}$  bez efektu piętrzenia wody na zbiorniku. Na przykład prędkość przepływu  $v = 1,7 \text{ m/s}$  (maksymalnie na całym odcinku badawczym  $v = 3,38 \text{ m/s}$ ).



Rys. 1. Warunki hydrauliczne (fragment siatki obliczeniowej) dla przepływu  $Q = 136 \text{ m}^3/\text{s}$  bez efektu piętrzenia wody: a – napełnienie, b – średnia prędkość przepływu wody, c – naprężenia styczne

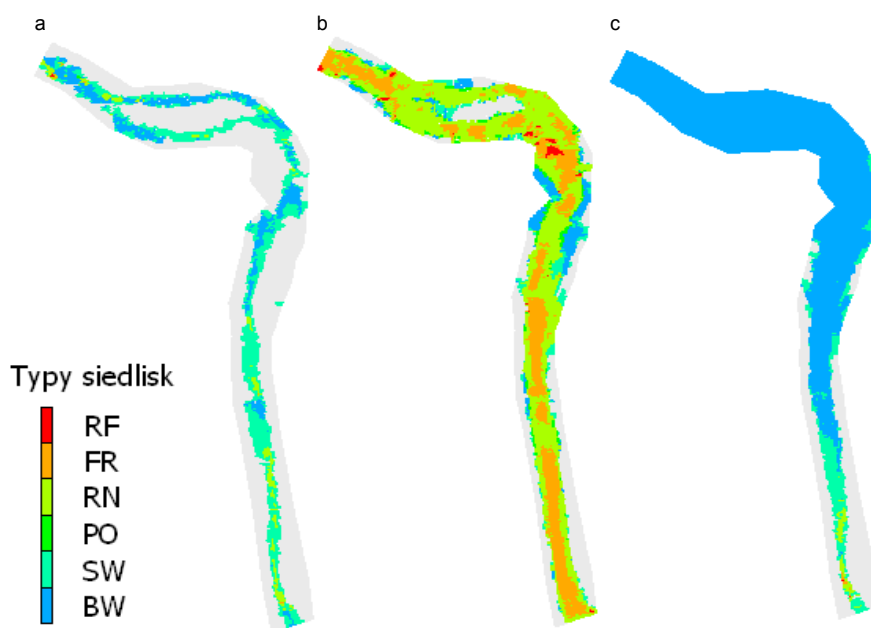
Fig. 1. Hydraulic conditions (fragment of computational domain) for discharge  $Q = 136 \text{ m}^3/\text{s}$  without backwater effect on water reservoir: a – water depth, b – average flow velocity, c – shear stresses

Decydujący wpływ na warunki przepływu wody na badanym odcinku ma gospodarka wodna w zbiorniku. W zależności od poziomu piętrzenia wody na zbiorniku zasięg cofki będzie się przesuwiał w górę i w dół rzeki. Przy zmianie rzędnej piętrzenia wody na zbiorniku Świnna Poręba w zakresie od 304,56 do 309,60 m n.p.m, przy przepływie  $Q = 35 \text{ m}^3/\text{s}$ , zmiana zasięgu cofki jest zauważalna na odcinku około 1,5 km (KSIĄŻEK 2006). W konsekwencji zmieniają się warunki siedliskowe na znacznym obszarze.

Do oceny zmian typów siedliskowych zastosowano model MEM, który wykorzystuje wyniki symulacji warunków hydraulicznych przepływu wody w węzłach (lokalnie). W pierwszej kolejności wartości parametrów  $h$ ,  $v$  oraz  $\tau$  dzielimy na przedziały, przypisując im kody. Kolejnym krokiem jest obliczenie współczynnika MH, a następnie określenie typu siedliska.

## Wyniki

Wykorzystując model MEM, określono typy siedlisk dla zmiennych warunków przepływu: a) przy niskim stanie wody bez efektu piętrzenia (stan zerowy), b) w czasie przejścia fali wezbrania bez efektu piętrzenia, c) w warunkach piętrzenia wody na zbiorniku (rys. 2).



Rys. 2. Przestrzenny rozkład typów siedlisk dla przepływu: a –  $Q = 2,64 \text{ m}^3/\text{s}$  bez efektu piętrzenia wody, b –  $Q = 136 \text{ m}^3/\text{s}$  bez efektu piętrzenia, c –  $Q = 2,64 \text{ m}^3/\text{s}$  z efektem piętrzenia wody na zbiorniku (oznaczenia w tekście)

Fig. 2. Spatial distribution of mesohabitat classes for discharge: a –  $Q = 2.64 \text{ m}^3/\text{s}$  without backwater effect, b –  $Q = 136 \text{ m}^3/\text{s}$  without backwater effect, c –  $Q = 2.64 \text{ m}^3/\text{s}$  with backwater effect from water reservoir (descriptions in the text)

Przy niskim stanie wody na całej długości odcinka badawczego dominującym typem siedliska jest płytka woda SW oraz zastoiska BW. Tylko w wybranych rejonach można wyróżnić przepływ normalny RN oraz przepływ wartki RF. W czasie wezbrania prędkość przepływu wody ulega zwiększeniu, co pociąga za sobą zmianę typów siedlisk. W takich warunkach dominuje przepływ szybki FR i normalny RN. Zwiększa się też obszar, gdzie panuje nurt wartki RF.

Typy siedlisk zmieniają się zasadniczo, gdy obszar badawczy znajduje się pod oddziaływaniem cofki ze zbiornika. Następuje wtedy ujednoczenie typów siedlisk i zanik ich różnorodności na znacznym obszarze. Dominującym typem siedliska są zastoiska SW i płytka woda SW.

W tabeli 2 zestawiono udział poszczególnych typów siedlisk w obszarze poniżej lustra wody dla różnych warunków przepływu wody. Zmiana warunków hydraulicznych w czasie wezbrania (bez efektu piętrzenia wody na zbiorniku) powoduje większe zróżnicowanie typów siedlisk. Na przykład obszar, gdzie występuje przepływ szybki, uległ zwiększeniu o dwa rzędy wielkości: z 0,3% do 32%. Zmiana warunków przepływu wody w wyniku jej piętrzenia powoduje ujednoczenie warunków siedliskowych. Na odcinku badawczym zanikają niektóre typy siedlisk, a dominującym typem stają się zastoiska (85,7%).

Tabela 2. Procentowy udział typów siedlisk poniżej lustra wody dla różnych warunków przepływu  
Table 2. Percentage of mesohabits in relation to total wetted area for different flow conditions

Lp.	Typ siedliska	Bez efektu piętrzenia		Z efektem piętrzenia Q = 2,64 m <sup>3</sup> /s
		Q = 2,64 m <sup>3</sup> /s	Q = 136 m <sup>3</sup> /s	
1	BW	26,5	7,5	85,7
2	SW	63,6	6,3	12,2
3	PO	0,1	3,5	0,0
4	RN	9,4	49,4	1,9
5	FR	0,3	32,0	0,2
6	RF	0,1	1,2	0,0

## Dyskusja

Istotny wpływ na określenie typów siedlisk ma podział na przedziały napełnienia, prędkości oraz naprężeń stycznych. Podział taki jest wykonywany na odcinku referencyjnym, a wpływ na niego ma doświadczenie osoby wykonującej pomiary. Interesujące jest, czy podział na typy siedlisk zależy od charakteru cieku (rzeka nizinna, potok górski).

Ponadto odwzorowanie warunków siedliskowych zależy m.in. od wielkości komórek obliczeniowych. Im mniejsze są wymiary komórek siatki obliczeniowej, tym bardziej wynik uśredniania parametrów przepływu jest zbliżony do wartości lokalnych. Powoduje to jednak wzrost kosztu pozyskania danych i wydłuża czas obliczeń. Model

numeryczny obiektu fizycznego jest zawsze kompromisem pomiędzy oczekiwaną dokładnością wyników a kosztem pozyskania danych i możliwością wykonania obliczeń komputerowych. Odległości pomiędzy węzłami siatki nie powinny być większe niż w przybliżeniu 2 m. Ze względu na wielkość obszaru objętego modelowaniem oraz wydajność komputera w prezentowanych wynikach badań wymiary pojedynczych komórek są około dwóch razy większe. Dzięki wzrostowi wydajności komputerów możliwe jest zwiększenie dokładności wyników.

## Podsumowanie

Zastosowanie modelu MEM pozwoliło na określenie typów siedlisk w korycie cieków oraz na prognozowanie ich zmian. Na wyniki ma wpływ przyjęcie wielkości przedziałów dla napełnienia, prędkości przepływu wody oraz naprężeń stycznych i szczególność modelu numerycznego.

Przy niskim stanie wody na całej długości odcinka badawczego dominującym typem siedliska jest płytka woda SW oraz zastoiska BW. Typy siedlisk zmieniają się w czasie wezbrania, kiedy prędkość przepływu wody zwiększa się. Występują wszystkie rodzaje siedlisk; dominują przepływ szybki FR i normalny RN. Ponadto zwiększył się też obszar, gdzie panuje nurt wartki RF.

Warunki siedliskowe zmieniają się, gdy obszar badawczy znajduje się pod oddziaływaniem cofki ze zbiornika. Następuje wtedy ujednoczenie typów siedlisk i zanik ich różnorodności na znacznym obszarze. Dominującym typem siedliska są zastoiska SW i płytka woda SW.

## Acknowledgements

The authors would like to thank The University of Mississippi, National Center for Computational Hydroscience and Engineering (NCCHE), for allowing us to use the CCHE2D model.

## Literatura

- BARTNIK W., BANASIK K., KSIĄŻEK L., RADECKI-PAWLIK A., STRUŻYŃSKI A., 2005. Forecasting of fluvial processes on the Skawa River within back-water reach of the Świnna Poręba Water Reservoir. *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci.* E-5 387: 57-85.
- HAUER C., TRITTHART M., HABERSACK H., 2008. Computer-aided mesohabitat evaluation. Part I. Background, model concept, calibration and validation based on hydrodynamic numerical modeling. W: *Proceedings of the Fourth International Conference on Fluvial Hydraulics – River Flow 2008*. Vol. 3. Red. M.S. Altinakar, M.A. Kokpinar, Y. Darama, E.B. Yegen, N. Harmancioglu. Kubaba Congress Department and Travel Services, Ankara: 1967-1974.
- KSIĄŻEK L., 2006. Morfologia koryta rzeki Skawy w zasięgu cofki zbiornika Świnna Poręba, *Zesz. Nauk. Infrastrukt. Ekol. Ter. Wiejsk. Tech. Infrastrukt. Wsi Ser. Monogr.* 4, 1: 249-267.

- KSIĄŻEK L., RADECKI-PAWLIK A., 2008. Modeling of hydrodynamics conditions within the outlet of a sand-gravel upland river – the Raba River, Polish Carpathians. W: *Proceedings of the Fourth International Conference on Fluvial Hydraulics – River Flow 2008*. Vol. 2. Red. M.S. Altınakar, M.A. Kokpinar, M. Gogus, G. Tayfur, S.Y. Kumcu, N. Yildirim. Kubaba Congress Department and Travel Services, Ankara: 1399-1406.
- TRITTHART M., HAUER C., HABERSACK H., 2008. Computer-aided mesohabitat evaluation. Part II. Model development and application in the restoration of a large river. W: *Proceedings of the Fourth International Conference on Fluvial Hydraulics – River Flow 2008*. Vol. 3. Red. M.S. Altınakar, M.A. Kokpinar, Y. Darama, E.B. Yegen, N. Harmancıoğlu. Kubaba Congress Department and Travel Services, Ankara: 1885-1893.
- WIŚNIEWSKI W., MOKWA M., ZIOŁA S., 2008. Migracje ryb – przyczyny, zagrożenia możliwości ochrony. W: *Ochrona ichtiofauny w rzekach z zabudową hydrotechniczną*. Red. M. Mokwa, W. Wiśniewski. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław: 10-19.
- ZHANG Y., 2005. CCHE2D-GUI – Graphical user interface for the CCHE2D model. NCCHE Tech. Rep. 03.
- ZHANG Y., JIA Y., 2005. CCHE2D mesh generator. NCCHE Tech. Rep. 05.

## USING HYDRAULICS CONDITIONS FOR MESOHABITAT ASSESSMENT IN A RIVER CHANNEL

**Summary.** In the work the Mesohabitat Evaluation Model (MEM) was used to identify mesohabitats within river reach within the backwater of the Świnna Poręba water reservoir. The assessment was done for different discharges with and without of the damming up effect. The 2D numerical model was created using field surveying measurements, granulometry measurements as well as water velocity measurements. It was noticed that during increasing water discharge mesohabitat types are changing. It is connected with water management policy in the water reservoir.

**Key words:** mesohabitat classes, flow conditions, fish passage river improvement

*Adres do korespondencji – Corresponding address:*

*Leszek Książek, Katedra Inżynierii Wodnej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, Poland, e-mail: rmksiaze@cyf-kr.edu.pl*

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print:*

*28.04.2009*

*Do cytowania – For citation:*

*Książek L., Bartnik W., 2009. Wykorzystanie warunków hydraulicznych do oceny typów siedlisk w korycie rzeczonym. *Nauka Przyr. Technol.* 3, 3, #89.*