

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 3 (49), 2010: 12–20  
(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 3 (49), 2010)  
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 3 (49), 2010: 12–20  
(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 3 (49), 2010)

**Sławomir BAJKOWSKI, Kacper ŁASISZ**

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW  
Department of Hydraulic Engineering and Environmental Restoration WULS – SGGW

## **Pomiary dna rzeki i zwierciadła wody na progach kamiennych**

### **Measurements of river bed and water profile on permeable stone falls**

**Słowa kluczowe:** erozja, próg gabionowy, przelew przepuszczalny  
**Key words:** erosion, gabion weir, permeable weir

#### **Wprowadzenie**

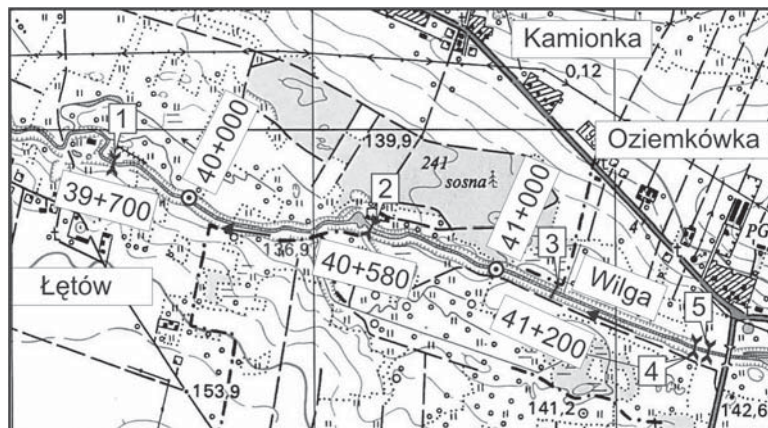
Piętrzenie wody pociąga za sobą zmianę parametrów hydraulicznych strumienia i nasilenie zjawisk erozyjnych, co może prowadzić do deformacji dna rzeki. Na progach przepuszczalnych deformacji ulegają również ich korpusy siatkowo-kamiennie. Nasilone procesy erozyjne występują poniżej budowli piętrzących, za urządzeniami do rozpraszania energii i umocnieniami. Postępujące rozmycie dna zagraża stateczności konstrukcji. Zniszczenie umocnień powoduje nadmierną, często nieprzewidzianą erozję, powodującą wymycie gruntu z dolnego stanowiska. Na obiektach tych może zachodzić również zjawisko aku-

mulacji materiału dennego. Bezpośrednią przyczyną deformacji koryt rzecznych może być wadliwe wyprofilowanie betonowej części przelewu, powodujące odchylenie się strumienia w stronę jednego z brzegów, nieprawidłowo zaprojektowane stanowisko dolne obiektu lub brak urządzeń do rozpraszania energii.

Opisane poniżej badania wykonano w ramach pracy naukowej finansowanej ze środków na naukę w latach 2008–2011 jako projekt badawczy.

#### **Material i metody**

Badania przeprowadzono na dwóch progach gabionowych położonych na rzece Wildze. Mapę odcinka rzeki z naniesionymi lokalizacjami obiektów pokazano na rysunku 1. Na mapie oznaczono również kaskadowy próg, przekrój hydrometryczny oraz przelew pomiarowy IMGW w Oziemkówce. Jak wykazały



RYSUNEK 1. Lokalizacja obiektów: 1 – próg Łętów, 2 – próg Kamionka, 3 – próg Oziemkówka, 4 – przekrój hydrometryczny IMGW, 5 – przelew pomiarowy IMGW  
 FIGURE 1. Locations of objects: 1 – Łętów fall, 2 – Kamionka fall, 3 – Oziemkówka fall, 4 – gauge post IMGW, 5 – measurement weir IMGW

obserwacje, budowa progu Oziemkówka miała znaczący wpływ na odnotowane zmiany profilu dna na obiektach położonych poniżej. Szczególnie silne oddziaływanie zauważono na bliżej położonym progu Kamionka.

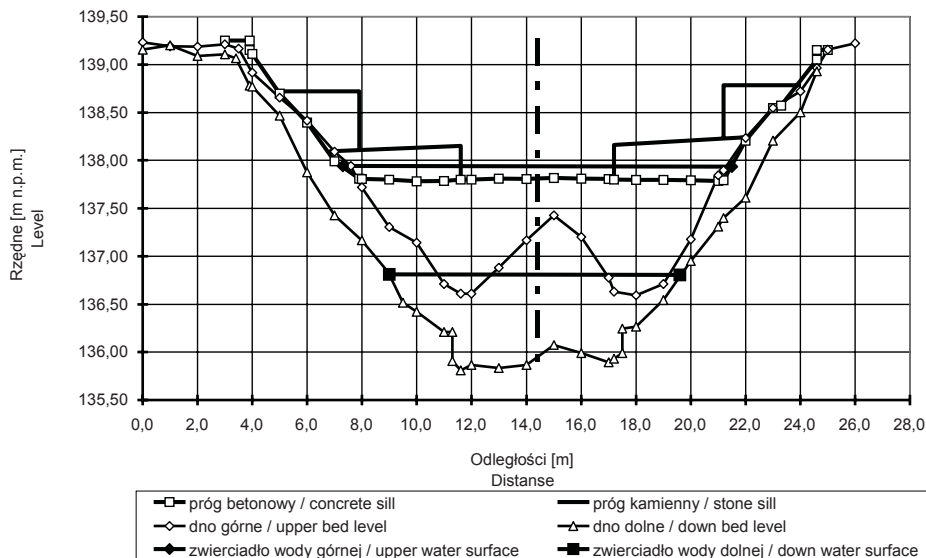
**Próg Kamionka.** Położony jest on na km 40+580 biegu rzeki Wilgi. Gabionową konstrukcję progu wykonano w miejscu starego jazu młyńskiego. Budynek młyna z widocznym miejscem wyprowadzenia wału napędowego od przekładni turbiny znajduje się na prawym brzegu rzeki. W odległości 53 m poniżej progu znajduje się bród rzeczny umocniony płytami betonowymi. Na konstrukcji przelewu progu opierają się podpory stalowej kładki dla pieszych. Kształt przekroju poprzecznego trapezowego przelewu stałego oraz dwudzielnej konstrukcji progu pokazano na rysunku 2.

Konstrukcja progu oparta jest na ścianie szczelnej, której górna część oczepowa stanowi właściwy przelew. Do ścianki szczelnej dostawiona jest od

strony wody dolnej konstrukcja gabionowa. Trapezowy kształt progu betonowego zabudowany jest dwudzielnym przelewem z bloków siatkowo-kamiennych. Grubość ściany przelewowej progu wynosi 0,50 m, a długość położonego niżej przelewu gabionowego równa jest 2,0 m. Widok progu od strony wody dolnej pokazano na rysunku 3.

Dno i skarpy rzeki poniżej progu na długości urządzeń do rozpraszania energii oraz umocnień dolnych wykonano z materacy siatkowo-kamiennych. Niecka wypadowa została wykonana jako obniżenie szerokości 6,0 m, długości 10,0 m i głębokości 0,50 m. Gabionowe umocnienie dna stanowiska dolnego ma długość 15,0 m. Skarpy rzeki poniżej progu wyłożono materacami kamiennymi na długości obejmującej nieckę wypadową i umocnienia dolne.

**Próg Łętów.** Siatkowo-kamienna konstrukcja progu położona jest w km 39+700 biegu rzeki Wilgi. Na odcinku lokalizacji budowli koryto rzeki jest głą-



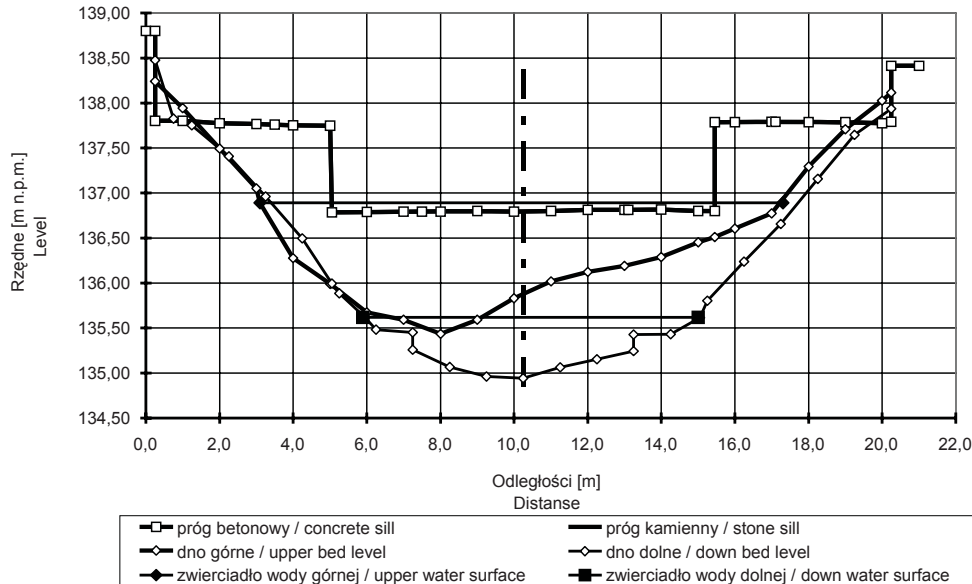
RYSUNEK 2. Przekroje poprzeczne progu Kamionka  
 FIGURE 2. Cross-sections of Kamionka fall



RYSUNEK 3. Widok progu Kamionka  
 FIGURE 3. View of Kamionka fall

boko wcięte w przyległy teren. Głównym celem budowy progu było powstrzymanie procesów erozyjnych koryta, podrzędnym – wykonanie przejścia przez rzekę (Jędryka 2007a). Na żelbetowej części progu oparta jest stalowa kładka dla pieszych. Elementem utrzymującym poziom wody górnej jest żelbetowy próg przelewowy, stanowiący oczep stalowej ścianki szczelnej. Od strony wody dol-

nej ściankę piętrzącą obłożono blokami siatkowo-kamiennymi, pasem szerokości 2,0 m. W chwili obecnej gabionowa część konstrukcji progu jest nieco zdeformowana, a w partiach brzegowych widoczne są ubytki materiału kamiennego wypełniającego siatkowe skrzynie. Niecka wypadowa długości 10,0 m, obejmująca dno rzeki szerokości 6,2 m i głębokości 0,5 m oraz umocnienia skarp i brzegów koryta wykonane są z materacy kamiennych (Jędryka 2007b). Umocnienia dolne skarp i dna rozciągają się na długości 15,0 m poniżej niecki. W trakcie inwentaryzacji stwierdzono występowanie umocnień dna do brodu, znajdującego się 45,0 m poniżej progu. Przekrój poprzeczny przez stanowisko górne, żelbetowy próg osłaniający kamienny przelew gabionowy oraz stanowisko dolne pokazano na rysunku 4. Widok progu od strony wody dolnej przedstawiono na rysunku 5.



RYSUNEK 4. Przekroje poprzeczne progów Łętów  
 FIGURE 4. Cross section of Łętów fall



RYSUNEK 5. Widok progów Łętów  
 FIGURE 5. View of Łętów fall

## Wyniki

Badane siatkowo-kamienne progi położone są na tej samej rzece w odległości wzajemnej około 880 m, próg Łętów znajduje się poniżej progów Kamionka. Obiekty te są tego samego typu, różnią się kształtem i wymiarami stałego

progów przelewowych. Przelew betonowy progów Kamionka ma przekrój trapezowy (rys. 2), natomiast progów Łętów – dwudzielny prostokątny (rys. 4). Wykonanie dwudzielnego prostokątnego przelewu kamiennego na progów Kamionka pod względem kształtu wycięcia przelewu zbliża te konstrukcje do siebie. Czynne otwory przelewowe tych obiektów są takiego samego kształtu. Próg Łętów ma szerszą część głęboką przelewu niż próg Kamionka. Dolna czynna szerokość przelewu na progów Kamionka wynosi 5,6 m, część środkowa 13,3 m, a całkowita długość górnego wycięcia trapezowego wynosi 20,7 m. Na progów Łętów dolna część ma długość 10,4 m, górna – 20,0 m.

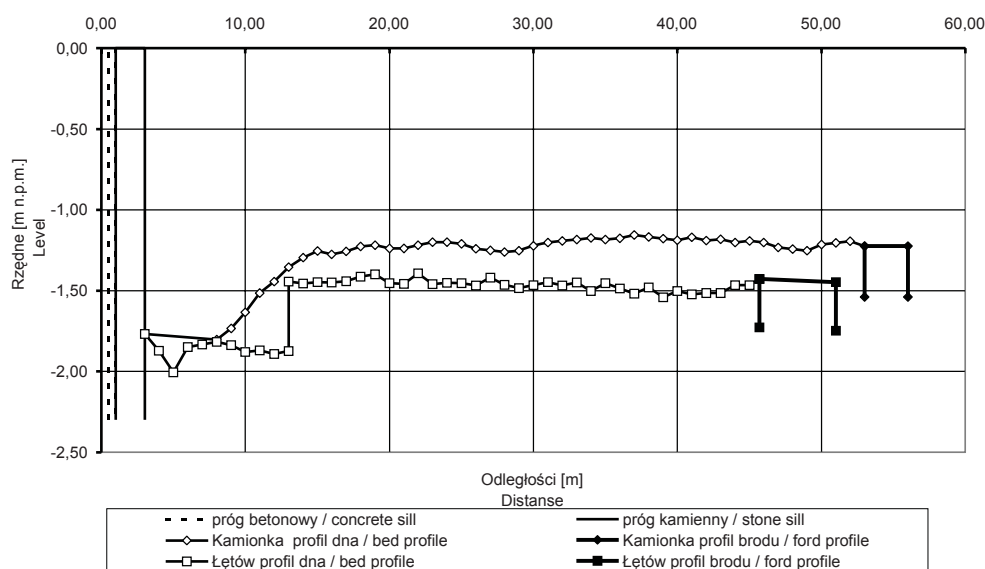
Krawędzie dolnych sekcji przelewowych badanych progów są jednakowej konstrukcji. Piętrzenie utrzymywane jest stałym przelewem betonowym wykonanym jako oczepek stalowej ścianki szczelnej

nej szerokości 0,5 m. Przystawiona do progu konstrukcja z koszy siatkowo-kamiennych tworzy dolną przepuszczalną część przelewu długości 2,0 m.

Inwentaryzacja stanowisk górnych konstrukcji przelewowych oraz stanowisk dolnych wykazała występowanie intensywnych procesów akumulacyjnych na obiektach. Widoczne jest to w analizach kształtów przekrojów poprzecznych koryta rzeki w stanowisku górnym i dolnym. Na rysunku 3 widoczne są odkłady rumowiska powyżej progu Kamionka, zajmujące znaczną część strefy nurtowej koryta. Wskazuje to na dużą aktywność tej strefy w transporcie materiału dennego. Wynika to też ze znacznego zwężenia czynnej sekcji przelewowej oraz wskazuje na równomierne warunki napływu na próg. Koryto rzeki powyżej progu jest prostoliniowe. Część rumowiska została przeprowadzona przez próg, tworząc odkład w niecce wypadowej oraz na dłu-

gości dolnego stanowiska. Na progu Łętów stanowisko górne zostało zaniesione rumowiskiem przy prawym brzegu (rys. 4). O takiej lokalizacji odkładu decyduje duża szerokość dolnej czynnej części przelewu oraz występowanie łuku na dopływie do progu. Poniżej progu rumowisko zalega wzdłuż zewnętrznych ścian niecki wypadowej.

Na rysunku 6 przedstawiono profil wspólny dla obu progów, obejmujący kształty przelewów oraz odcinki rzeki na długości stanowisk dolnych do brodów znajdujących się poniżej. Z uwagi na jednakowe kształty ścian przelewowych badanych progów w celu wykazania podobieństw i różnic w procesach zachodzących na długości stanowisk dolnych wykresy wykonano, odnosząc rzędne do względnego poziomu korony stałego progu przelewowego. Wykres pokazuje profile dna, zwierciadła wody oraz lokalizację brodów. Pomiary zwierciadła

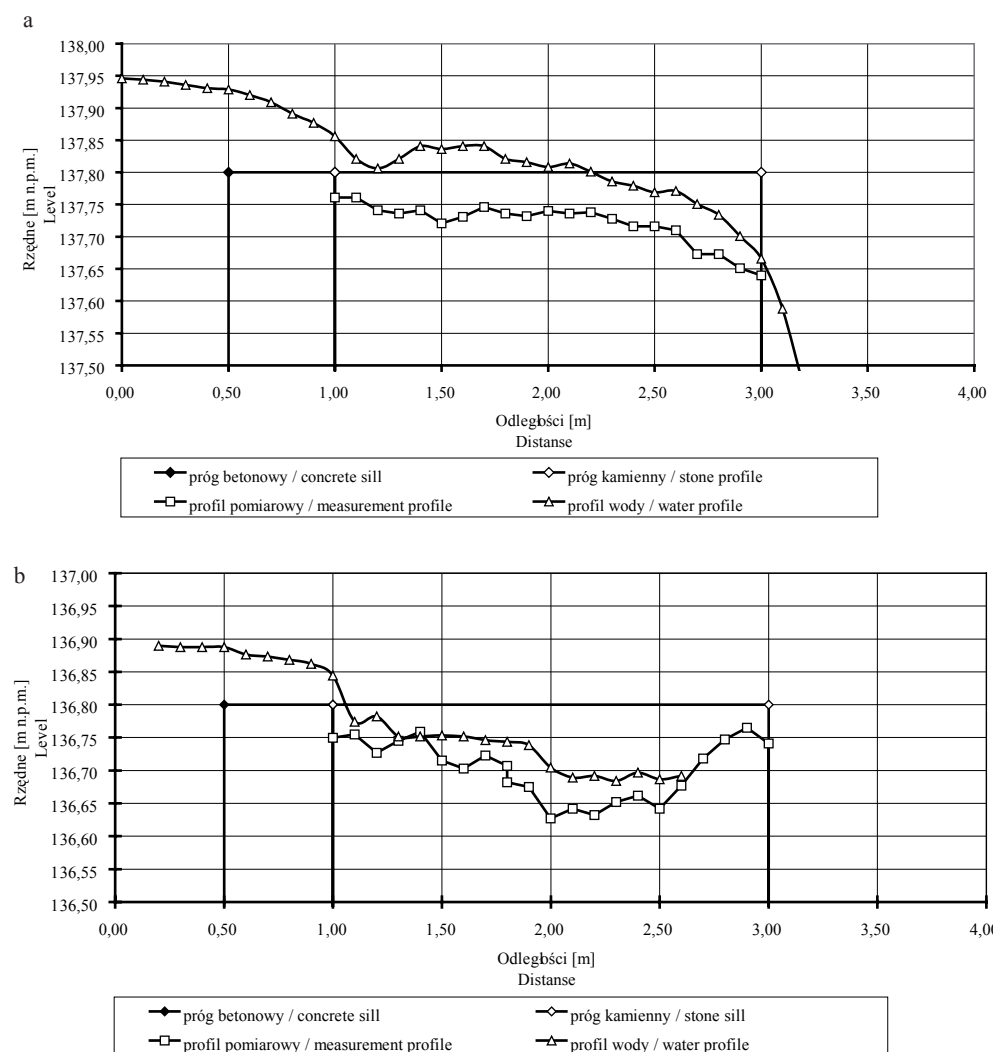


RYSUNEK 6. Profil rzeki na długości stanowiska dolnego  
 FIGURE 6. Profile of the river in tailwater

wody i rzędnych dna zostały wykonane w osi rzeki. Na progu Kamionka rumowisko wypełnia nieckę wypadową, a powstały odkład wypłyca się na długości niecki do poziomu dna stanowiska dolnego. Na progu Łętów rumowisko zalegało równomiernie w niecce wypadowej z widocznym zagłębieniem w miejscu spływania strumienia przelewającego

się nad progiem. Poniżej wypadów profil dna na obu obiektach układa się bardzo podobnie. Konstrukcje umocnieniowe brodów stabilizują dno, zapobiegając jego rozmyciu. Nie ma też wyraźnych obszarów akumulacji rumowiska.

Rysunek 7 przedstawia profile zwierciadła wody na przelewach badanych progów opracowane dla przepływów



RYSUNEK 7. Profil zwierciadła wody na progu: a – Kamionka, b – Łętów  
 FIGURE 7. Profile of water on the sill: a – Kamionka fall, b – Łętów fall

panujących w czasie pomiarów. Na progu Kamionka przepływ w rzece wynosił  $0,474 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , co dawało jednostkowe obciążenie czynnej części przelewu szerokości 5,6 m, wynoszące  $0,085 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ . Przepływ całkowity na progu Łętów, wynoszący  $0,489 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  na szerokości dolnego wycięcia długości 10,4 m, dawał średni przepływ jednostkowy równy  $0,047 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ . Pokazane na rysunku 7 profile wykazują, że układ zwierciadła wody na początkowym odcinku przelewu stałego jest inny niż na części filtracyjnej progu (Bajkowski 2006).

Zróznicowanie form przepływu na długości przepuszczalnych progów wskazuje na występowanie innych oddziaływań, mających wpływ na układ zwierciadła wody poza natężeniem przepływu i deformacją korony przelewu (Bajkowski 2001). Jednym z czynników wpływających na to zróznicowanie jest nierównomierność przepływu jednostkowego na szerokości przelewu. Roślinność występująca na koronie progu Kamionka (rys. 3) powoduje zwiększenie ilości wody przepływającej szerokością wolną od zanieczyszczeń. Rzeczywisty przepływ jednostkowy w obszarze pomiaru profilu był zdecydowanie większy od ustalonej wartości średniej. Korona progu Łętów jest w mniejszym stopniu porośnięta roślinnością (rys. 4). Za kolejny czynnik, różnicujący profil zwierciadła wody na progu, uznano opisaną deformację gabionu na długości korony przelewu. Na rysunkach 7a i 7b pokazano na tle aktualnej konfiguracji projektowe kształty progu. Deformacja progu Kamionka przebiegała w innej formie niż progu Łętów. Zróznicowanie układu zwierciadła wody na progach jest następ-

stwem obniżonego górnego kamiennego obrysu przelewu.

Stały przelew wlotowy charakteryzuje prosta zależność układu zwierciadła wody od natężenia przepływu i odpowiadającej przepływowi warstwie przelewającej się wody (Dąbkowski i in. 1982). W czasie pomiarów na progu Kamionka warstwa wody nad przelewem stałym wynosiła 14,0 cm, a obliczony współczynnik wydatku – 0,365, na progu Łętów wielkości te były równe odpowiednio 9,0 cm i 0,380.

Na części filtracyjnej profil zwierciadła wody w dużym stopniu zależał od deformacji dolnej, siatkowo-kamiennej części przelewu. Deformacja progu Kamionka (rys. 7a) przedstawia się w formie obniżającego się układu górnej powierzchni gabionu. Wzdłuż nowego obrysu części filtracyjnej przelewu woda s pływa swobodnie do stanowiska dolnego, częściowo wpływając do jego wnętrza (Pachuta 2001). Na progu Łętów (rys. 7b) w największym stopniu zdeformowała się środkowa część progu. Woda, wlewając się w powstałe obniżenie, w całości wpływała w głąb kamiennej konstrukcji progu. Sytuacje te widoczne są na prezentowanych fotografiach wykonanych w dniu pomiaru.

## Wnioski

Wykonane pomiary wykazały nie tylko podobieństwo konstrukcyjne badanych obiektów, ale również zbliżone warunki przepływu wody oraz tworzenia się procesów deformacji dna. Wspólnym czynnikiem ograniczającym proces erozji dna na stanowisku dolnym jest występowanie umocnień dna oraz brodów rzecz-

nych zlokalizowanych poniżej progów. Konstrukcje te znacząco wpływają na utrzymywanie wysokich rzędnych wody na stanowiskach dolnych obiektów oraz stanowią progi ograniczające erozję dna. Proces akumulacji materiału poniżej progów Kamionka jest wyraźniejszy niż na progach Łętów. Jest to jednak wynikiem większej dostawy rumowiska do rzeki wskutek prowadzonych prac wykonawczych wyżej położonego progów Oziemkówka. Na progach Łętów tak dużego oddziaływania tych prac na procesy erozyjno-akumulacyjne nie stwierdzono.

Z przeprowadzonych badań i analiz wynika, że:

- rzeczne konstrukcje siatkowo-kamiennie dobrze komponują się w środowisku,
- budowane na rzece Wildze progi stabilizują dno i przeciwdziałają procesom erozyjnym,
- wprowadzone w konstrukcję przelewów szczelne progi utrzymują wymagane głębokości wody w okresach niżówek, zaburzają jednak ciąg ekologiczny, jakim jest rzeka,
- z biegiem okresu eksploatacji budowli nasila się deformacja korpusu siatkowo-kamiennego, nie powoduje to jednak zmian warunków działania budowli,
- deformujący się korpus przelewu powoduje zróżnicowanie form przepływu na długości sekcji przelewowych.

## Literatura

BAJKOWSKI S. 2001: Współczynniki filtracji turbulentnej jazów przepuszczalnych. Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Gabiony

w kształtowaniu i ochronie środowiska naturalnego”. Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW, 22 maja 2001 rok, Warszawa: 39–55.

BAJKOWSKI S. 2006: Rozdział przepływu na przelewie gabionowy. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska SGGW* 2 (34): 113–120.

DĄBKOWSKI L., SKIBIŃSKI J., ŻBIKOWSKI A. 1982: Hydrauliczne podstawy projektów wodnomelioracyjnych. PWRiL, Warszawa.

JĘDRYKA E. 2007a: Analiza przepływu wody przez gabiony. *ACTA Scientiarum Polonorum, Architectura* 6 (2): 13–25.

JĘDRYKA E. 2007b: Budowle wodne z naturalnych materiałów. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie* 7, 2b (21): 55–74.

PACHUTA K. 2001: Wpływ konstrukcji gabionowych na środowisko naturalne. Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Gabiony w kształtowaniu i ochronie środowiska naturalnego”. Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW, 22 maja 2001 rok, Warszawa: 155–167.

## Summary

**Measurements of river bed and water profile on permeable stone falls.** The article describes researches of deformation in overflow sections of stone weirs and erosion-accumulation phenomenon in tail water. The researches were performed on stone falls in Kamionka and Łętów on Wilga River. A huge impact on bed profile changes had a construction situated higher, in Oziemkówka. Factors which stabilized river bed in tail waters of researched falls was strengthening of river fords placed lower. Researches have shown that over lifetime increases deformation process of stone construction corps. However it's not changing constructions functioning conditions but it impacts on overflow diversity forms. The solid inlet sill situated on sheet piling characterizes with stable conditions of flow. On filtration section water surface profile depends largely on deformation of lower stone part of the weir.



**Author's address:**

Sławomir Bajkowski  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska  
ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa  
Poland  
e-mail: slawomir\_bajkowski@sggw.pl