

Zbigniew POPEK

Katedra Budownictwa Wodnego SGGW
Department of Hydraulic Structures WAU

Stanowisko do pomiaru transportu rumowiska wlezonego **Bedload transport measurements station**

Wprowadzenie

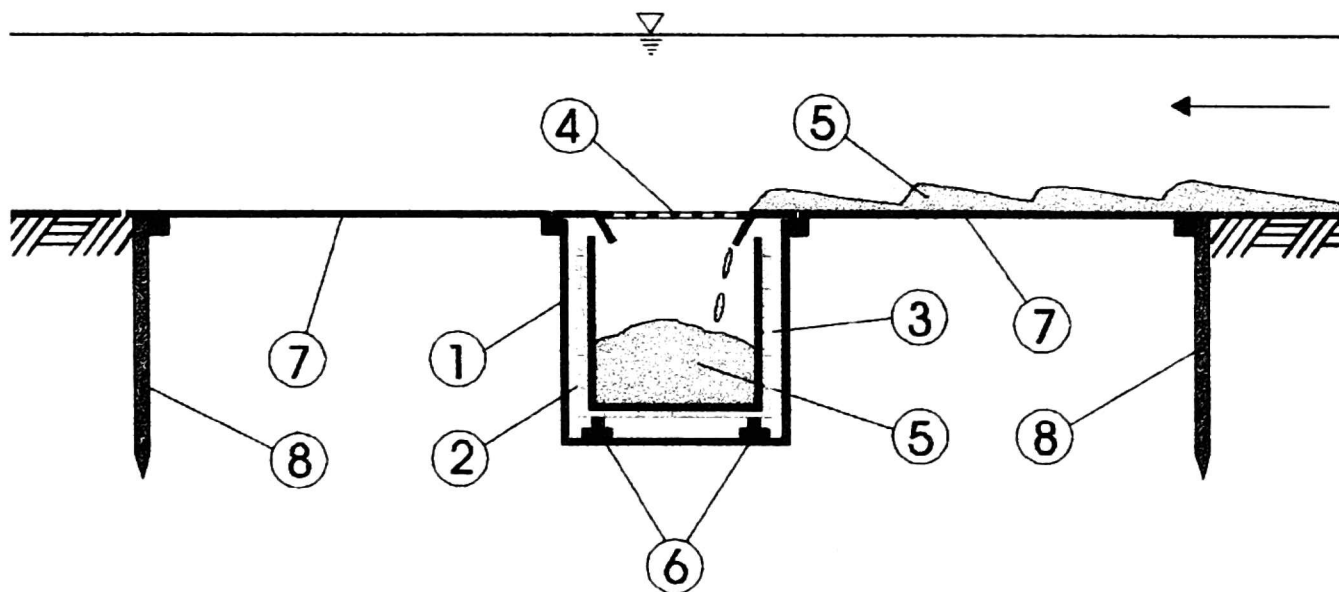
Najczęściej stosowanym w praktyce hydrometrycznej przyrządem do pomiaru natężenia ruchu rumowiska wlezonego po dnie cieków są łapaczki. Po opuszczeniu łapaczki na dno cieków do jej wnętrza dostaje się tylko pewna ilość rumowiska, zależna od współczynnika sprawności łapaczki. Łapaczka umieszczona na dnie cieków powoduje zaburzenia strumienia wody przy dnie i powstawanie zawirów w wyniku czego część rumowiska wlezonego omija otwór wlotowy łapaczki. Wartość współczynnika sprawności łapaczek wynosi na ogół 0,40–0,60 i zależy od konstrukcji i wielkości przyrządu. Błędy pomiaru wynikają również z charakteru ruchu rumowiska wlezonego. Materiał piaszczysty poruszający się w postaci form dennych wykazuje zmienne natężenie ruchu w poszczególnych punktach dna i w czasie nawet wtedy, gdy warunki hydrauliczne w korycie są ustalone.

Omówione poniżej stanowisko pomiarowe pozwala na wyeliminowanie błędów pomiaru wykonywanego za po-

mocą łapaczki. Pomiar może odbywać się w sposób ciągły przez kilka, kilkanaście dni, jednocześnie na prawie całej szerokości dna lub w wybranych pionach pomiarowych.

Opis stanowiska pomiarowego

Stanowisko pomiarowe zostało zainstalowane jesienią 1998 roku w korycie rzeki Zagożdżonki w miejscowości Czarna, w zlewni badawczej Katedry Budownictwa Wodnego. Przekrój pomiarowy zlokalizowany jest na prostoliniowym, naturalnym odcinku rzeki w odległości ok. 200 m powyżej profilu wodowskazowego, który zamyka zlewnię o powierzchni 23,4 km². Stanowisko pomiarowe zostało wykonane w postaci tzw. łapacza rumowiska składającego się z dwóch otwartych od góry zbiorników umieszczonych w dnie koryta. Na rysunku 1 pokazano schematyczny przekrój podłużny stanowiska pomiarowego. W zbiorniku osłonowym (1) znajduje się rama w formie kratownicy (2), stanowiąca element nośny dla dwóch ustawionych



RYSUNEK 1. Schemat urządzenia pomiarowego: 1 – zbiornik osłonowy, 2 – rama nośna, 3 – zbiornik na rumowisko, 4 – pokrywa zbiornika (otwór wlotowy zabezpieczony siatką), 5 – rumowisko wleczone, 6 – czujniki wagowe, 7 – podłoga drewniana, 8 – palisada drewniana

FIG. 1. Scheme of measurement device: 1 – protecting box, 2 – bearing frame, 3 – tank for sediment, 4 – tanks cover with steel net, 5 – sediment, 6 – weight sensors, 7 – wooden floor, 8 – wooden palisade

obok siebie zbiorników na rumowisko (3). Zbiorniki mają jednakowe wymiary: $0,75 \times 0,75$ m i wysokość $0,63$ m; całkowita pojemność obu zbiorników wynosi $0,709$ m³. Od góry zbiorniki przykryte są pokrywą (4) z dwoma otworami wlotowymi o wymiarach $0,7 \times 0,7$ m, zabezpieczonymi siatką stalową o wymiarach oczek 5×5 cm. Łączna szerokość otworów wlotowych ($B_o = 1,4$ m) stanowi około 80% szerokości dna koryta ($b_d = 1,8$ m) w przekroju pomiarowym. Szerokość wlotu do zbiorników może być zmniejszana, można również za pomocą blach osłonowych sytuować otwór wlotowy w dowolnym miejscu na szerokości każdego zbiornika pomiarowego. Po całkowitym wypełnieniu się zbiorników rumowiskiem (5) są one opróżniane przy pomocy zatapialnej pompy odśrodkowej.

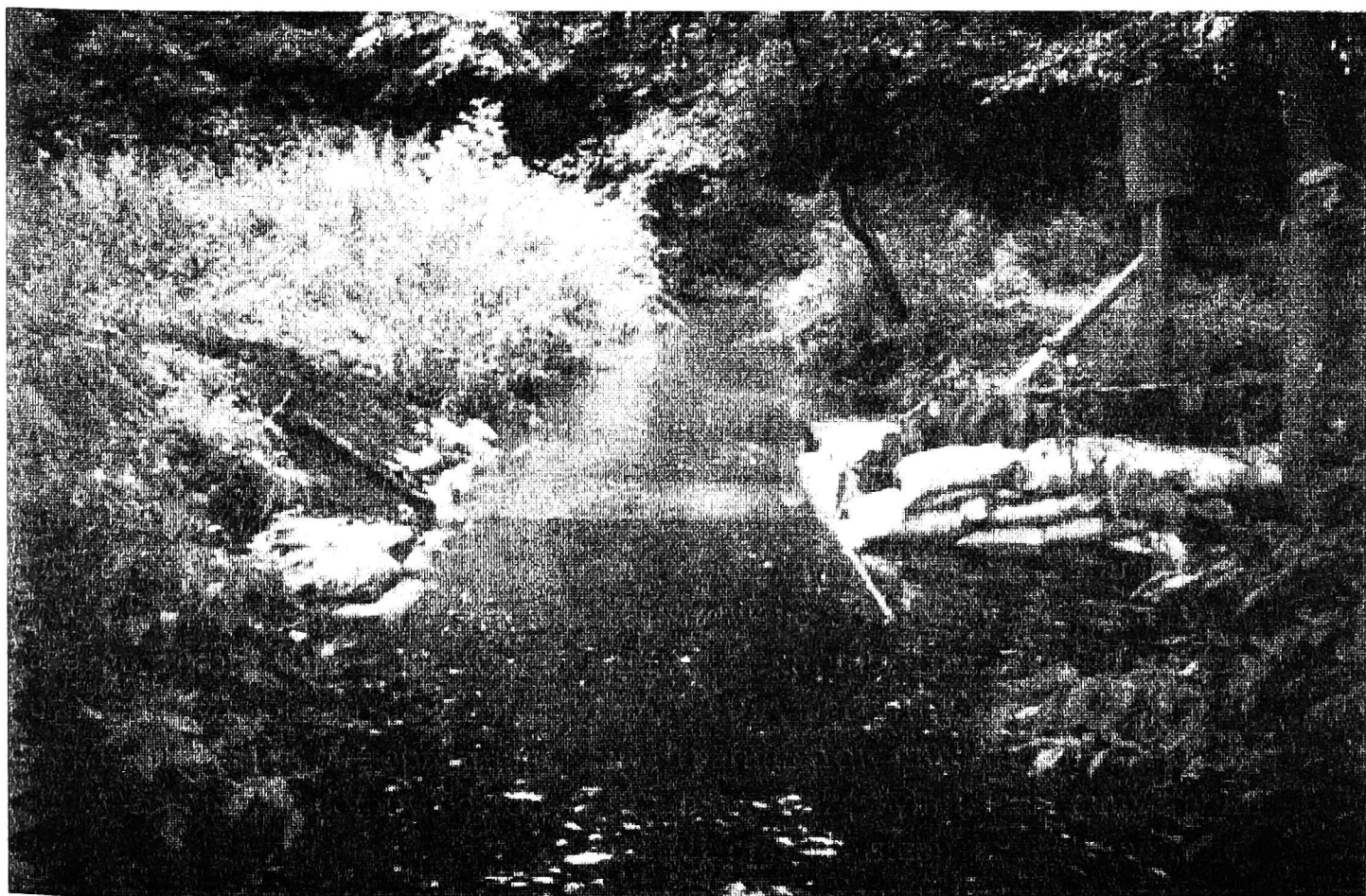
Pomiar natężenia ruchu rumowiska wleczonego odbywa się przez rejestrację zmian ciężaru rumowiska (5) zgroma-

zonego w zbiornikach pomiarowych. Ciężar ten jest mierzony przez trzy czujniki tensometryczne (6) przymocowane do spodu rama (2) i oparte na dnie zbiornika osłonowego (1). Układ pomiarowy mierzy ciężar rumowiska z uwzględnieniem wyporu. Czujniki obciążenia współpracują z miernikiem cyfrowym i miernikiem napięciowym z sygnałem wyjściowym 1–5 V. Ciężar rumowiska określany jest na podstawie zależności ustalonej metodą tarowania układu pomiarowego pomiędzy napięciowym sygnałem elektrycznym a odpowiadającym mu obciążeniem. Wyniki pomiarów są rejestrowane z krokiem czasowym 10 minut w elektronicznym rejestratorze danych, który służy również do zapisu innych parametrów mierzonych w przekroju wodowskazowym (stan i temperatura wody) oraz na stacji meteorologicznej. Dane przechowywane są w wewnętrznej pamięci rejestratora, o pojemności 128 kB, a ich transfer do komputera typu

laptop klasy IBM PC odbywa się przez złącze szeregowe.

Koryto rzeki w rejonie stanowiska pomiarowego zostało zabezpieczone przed rozmyciem. Na dnie koryta, w górę i w dół rzeki wykonano podłogę (7) z desek drewnianych, zamocowaną z jednej strony do zbiornika osłonowego (1) a z drugiej – do palisady drewnianej (8). Dodatkowo grunt dna chroniony jest przed rozmyciem za pomocą włókniny umieszczonej pod podłogą. Od strony wody górnej, w linii ściany zbiornika osłonowego wykonano na dnie i skarpach koryta drewnianą ściankę szczelną. Skarpy koryta ubezpieczono za pomocą worków z piaskiem. Na rysunku 2 pokazano widok stanowiska od strony wody górnej.

Opisane wyżej stanowisko pomiarowe jest pierwszym tego typu w Polsce. Na podstawie dostępnej literatury można stwierdzić, że jest to również stanowisko unikatowe w świecie ze względu na charakter rzeki, w jakiej zostało zainstalowane. Konstrukcja urządzenia pomiarowego została zaprojektowana na podstawie analizy podobnych instalacji (Popek i Gładcki 1995). Jak podaje Habersack (1994) na świecie podobne instalacje pomiarowe były stosowane w 6 przypadkach, w korytach rzek i potoków górskich i podgórskich. W badaniach Habersacka (1994), prowadzonych na rzece Drawie w Austrii, zbiornik gromadzący rumowisko wleczone był ustawiony na poduszce ciśnieniowej podłączonej do manometru. Wzrost ciężaru rumowiska w zbiorniku



RYSUNEK 2. Widok stanowiska pomiarowego od strony wody górnej

FIG. 2. Downstream view of measurement station

powodował zmianę wskazań manometru i na tej podstawie określano natężenie transportu rumowiska. Podobny układ był wcześniej stosowany w pomiarach na rzece Nahal Yatir w Izraelu (Laronne i in. 1992). Natomiast pomiary prowadzone w USA na potoku Caspar Creek w północnej Kalifornii wykazały dużą zawodność systemu pomiarowego opartego na poduszce ciśnieniowej (Lewis 1991). W czasie pomiarów często dochodziło do przebieg poduszki oraz do zapowietrzania się układu ciśnieniowego. Dlatego też zmieniono układ pomiarowy i zastosowano czujniki tensometryczne, a więc podobnie jak w stanowisku pomiarowym w Czarnej.

Wstępne wyniki badań

Pierwszy pomiar natężenia ruchu rumowiska wlezonego wykonano w ciągu 19 dób, od 12 listopada do 1 grudnia 1998 roku. Pomiar wykonano przy ograniczonej szerokości otworu wlotowego do zbiorników $b_o = 0,14$ m (2 otwory po 7 cm). Osie szczelin otworów wlotowych były usytuowane symetrycznie, w odległości 0,3 m od środka przekroju pomiarowego i w odległości 0,6 m od dolnej krawędzi obu skarp. Niestety, na początku pomiaru nastąpiła awaria urządzenia pomiarowego, dlatego też nie jest znany czasowy przebieg zmian ciężaru rumowiska zgromadzonego w zbiornikach. Wiadomo tylko, że w po 19 dobach ciężar rumowiska w zbiornikach z uwzględnieniem wyporu wyniósł $G = 6,38$ kN, co odpowiada objętości $V_p = 0,563$ m³. Jeżeli przyjmiemy założenie, że tak określona objętość rumowiska, która prze-

mieściła się na szerokości $b_o = 0,14$ m, jest miarodajna dla całej szerokości dna, wówczas można obliczyć całkowitą objętość rumowiska, jaka została przetransportowana w ciągu 19 dób:

$$V_c = V_p \frac{b_d}{b_o} = 0,563 \frac{1,8}{0,14} = 7,24 \text{ m}^3$$

tj. $V_d = 0,381$ m³/dobę

i $Q_r = 4,41 \cdot 10^{-6}$ m³/s.

Obliczenia porównawcze

Dla warunków hydraulicznych występujących w przekroju leżącym w odległości 25 m powyżej stanowiska pomiarowego wykonano obliczenia wielkości transportu rumowiska wlezonego według wzorów empirycznych, stosowanych w korytach z dnem piaszczystym. Do obliczeń zastosowano znane wzory: Skibińskiego, Meyer-Petera i Müllera, Van Rijna oraz Engelunda i Hansena.

Wzór Skibińskiego (1981), wyprowadzony na podstawie pomiarów wykonanych w nizinnych rzekach środkowej Polski, po dokonaniu przekształceń przyjmuje postać:

$$q_r = 6,18 \cdot 10^{-5} \cdot C_d^{0,134} \cdot h^{-0,223} \cdot v_s^{3,40} \quad (1)$$

gdzie:

q_r – intensywność transportu rumowiska [m³ · s⁻¹ · m⁻¹],

C_d – cecha dominacji materiału dennego [-],

h – głębokość wody w pionie [m],

v_s – średnia prędkość przepływu wody w pionie (m · s⁻¹)

Cechę dominacji C_d oblicza się ze wzoru:

$$C_d = \frac{d_{90} \cdot d_{10}}{d_{50}^2} \quad (2)$$

gdzie:

d_{10} , d_{50} , d_{90} – średnice ziarn materiału dennego, których zawartości w próbie wraz z mniejszymi wynoszą wagowo: 10, 50 i 90%.

Wzór Meyer-Petera i Müllera, przekształcony względem intensywności wleczenia, przyjmuje postać (Ciepielowski 1995):

$$q_r = \frac{25,1}{(1-p) \cdot (s-1)} \left[\left(\frac{k_s}{k_r} \right)^{1,5} \cdot R_s \cdot J - 0,047 \cdot (s-1) \cdot d_m \right]^{1,5} \quad (3)$$

gdzie:

q_r – intensywność transportu rumowiska [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$],

p – współczynnik porowatości materiału wleczonego w odkładzie [-],

s – względny ciężar rumowiska wleczonego [-]; ($s = \gamma_r / \gamma_w$; γ_r – ciężar właściwy rumowiska, γ_w – ciężar właściwy wody),

k_s – współczynnik szorstkości dna [$\text{m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$],

k_r – współczynnik szorstkości ziarn materiału rumowiska [$\text{m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$],

R_s – promień hydrauliczny tej części przekroju poprzecznego, w którym przepływ wody oddziałuje na dno i wpływa na intensywność wleczenia [m],

J – spadek hydrauliczny [-],

d_m – średnica miarodajna ziarn rumowiska [m].

Wartości współczynników k_s i k_r oblicza się z zależności:

$$k_s = \frac{1}{n} = \frac{V_s}{R_s^{2/3} \cdot J^{1/2}}$$

$$k_r = \frac{26}{d_{90}^{1/6}}$$

gdzie:

n – współczynnik szorstkości Manninga [$\text{m}^{-1/3} \cdot \text{s}$],

V_s – średnia prędkość przepływu wody w części przekroju oddziałującej na dno [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$], oznaczenia pozostałych parametrów jak do wzorów (1) i (3).

Równanie Van Rijna (za Fisher 1995), stosowane dla ziarn materiału dennego o średnicach 0,2–2 mm, wyraża koncentrację rumowiska wleczonego C_r w jednostkach ppm (czyli stosunek wagowy ilości cząstek rumowiska na milion cząstek wody):

$$C_r = \frac{5,25 T_r^{2,1}}{V \cdot h \cdot D_r^{0,3}} \sqrt{s-1} \cdot d_{50}^{1,5} \quad (4)$$

gdzie:

C_r – koncentracja rumowiska wleczonego [ppm],

V – średnia prędkość przepływu wody [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

h – głębokość wody [m],

D_r – bezwymiarowy parametr wielkości ziarn rumowiska, obliczany ze wzoru:

$$D_r = d_{50} \left[\frac{(s-1) \cdot g}{\nu^2} \right]^{1/3} \quad (5)$$

gdzie:

g – przyspieszenie ziemskie [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],
 ν – współczynnik lepkości kinematycznej wody [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$],

d_{50} , s – jak we wzorach (2) i (3),

T_r – parametr transportu rumowiska, wyrażony wzorem:

$$T_r = \frac{V_*^2 - V_{*kr}^2}{V_{*kr}^2}$$

gdzie:

V_* – prędkość dynamiczna [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],
 V_{*kr} – krytyczna prędkość dynamiczna [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$].

Prędkość dynamiczna V_* jest określana z zależności:

$$V_* = \frac{\sqrt{g} V}{C'}$$

w której V i g – jak we wzorze (4) i (5), natomiast C' jest współczynnikiem prędkości Chezy odnoszonym się do ziarn rumowiska o średnicy zastępczej d_{90} , obliczanym ze wzoru:

gdzie R jest promieniem hydraulicznym w przekroju poprzecznym koryta [m].

$$C' = 18 \cdot \log \left(\frac{4 \cdot R}{d_{90}} \right) + 54$$

Wartość krytycznej prędkości dynamicznej V_{*kr} określana jest według równania:

$$V_{*kr} = [0,001 \cdot \theta_{kr} \cdot (s-1) \cdot g \cdot d_{50}]^{0,5}$$

gdzie s , g i d_{50} – jak w poprzednich wzorach, natomiast θ_{kr} jest bezwymiarowym

naprężeniem stycznym, którego wartość obliczamy z następujących wzorów, zależnie od wartości bezwymiarowego parametru wielkości ziarn rumowiska D_r :

$$\begin{array}{ll} D_r < 4 & \theta_{kr} = 0,24 \cdot D_r^{-1} \\ 4 < D_r < 10 & \theta_{kr} = 0,14 \cdot D_r^{-0,64} \\ 10 < D_r < 20 & \theta_{kr} = 0,04 \cdot D_r^{-0,10} \\ 20 < D_r < 150 & \theta_{kr} = 0,013 \cdot D_r^{0,29} \\ D_r > 150 & \theta_{kr} = 0,055 \end{array}$$

Po obliczeniu koncentracji rumowiska wlezonego C_r w ppm (wg wzoru 4) można określić natężenie ruchu rumowiska wlezonego Q_r , wyrażone w $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$:

$$Q_r = C_r \cdot Q \cdot 0,001 \quad (6)$$

lub w $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$:

$$Q_r = C_r Q / (s-1)(1-p) \quad (7)$$

gdzie Q jest natężeniem przepływu wody ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) zaś s i p jak we wzorze (3).

Według Engelunda i Hansena (za Fisher 1995) koncentracja transportu rumowiska wlezonego (w jednostkach ppm) wyrażna jest następującym wzorem:

$$C_r = \frac{5 \cdot J V V_*^3}{h g^2 d_{50} \cdot (s-1)^2} \cdot 10^6 \quad (9)$$

gdzie:

V – średnia prędkość przepływu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

V_* – prędkość dynamiczna obliczana ze wzoru [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]: $V_* = \sqrt{ghJ}$,

h – głębokość wody [m], pozostałe oznaczenia jak w poprzednich wzorach.

Natężenie ruchu rumowiska wlezonego Q_r obliczane jest podobnie jak według Van Rijna, tj. ze wzoru (6) lub (7).

Obliczenia transportu rumowiska wlezonego omówionymi wyżej wzora-

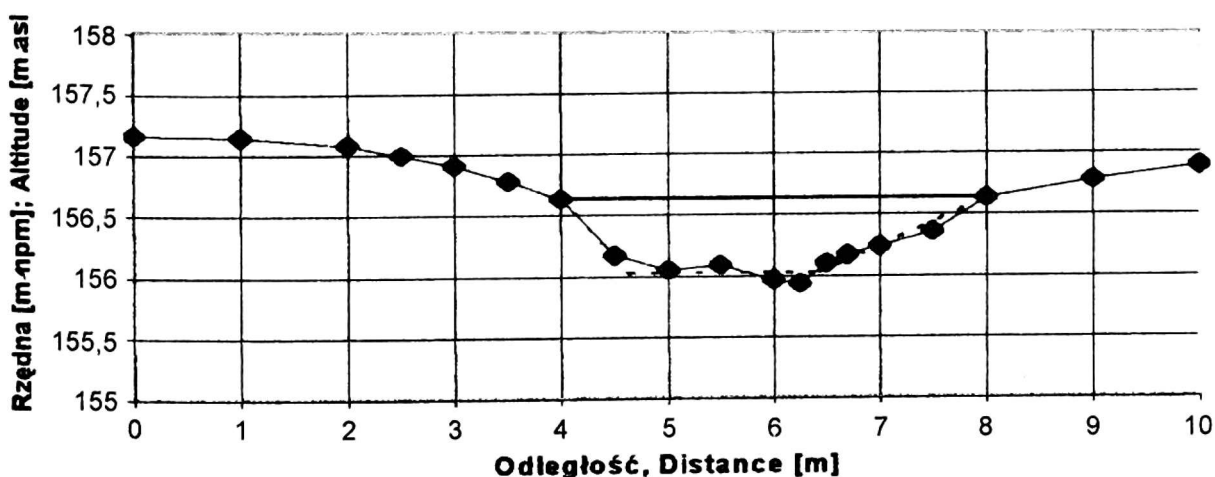
mi empirycznymi wykonano w przekroju pokazanym na rysunku 3. Do obliczeń przyjęto uproszczony kształt przekroju trapezowego szerokości dna $b_d = 1,8$ m i o zróżnicowanym nachyleniu skarp. Dla zmiennych napełnień w przekroju obliczeniowym określano natężenia transportu rumowiska Q_r , co pozwoliło na określenie zależności $Q_r = f(Q)$, gdzie Q jest natężeniem przepływu przy danym napełnieniu koryta. Wykresy zależności $Q_r = f(Q)$ dla poszczególnych wzorów empirycznych pokazano na rysunku 4. W obliczeniach przyjęto stałe wartości spadku $J = 1,5\%$, współczynnika szorstkości koryta $n = 0,040 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ oraz średnic charakterystycznych rumowiska wlezonego: $d_{90} = 0,93$, $d_{50} = 0,44$, $d_{10} = 0,26$ mm. Wartości te przyjęto na podstawie wcześniejszych pomiarów terenowych wykonanych na odcinku koryta w rejonie przekroju obliczeniowego i stanowiska pomiarowego.

W czasie pomiaru transportu rumowiska wlezonego od 12.11 do 1.12.1998 roku (tj. w ciągu 19 dob) w korycie Za-

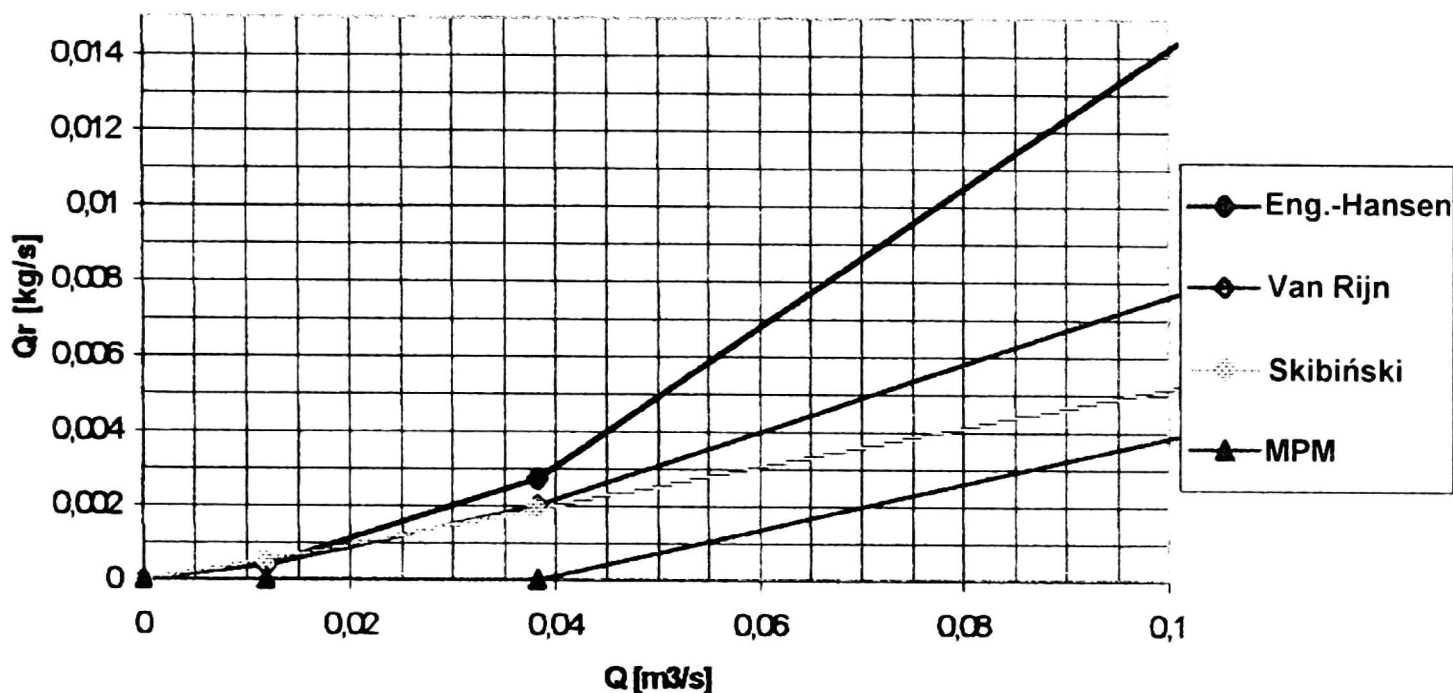
gożdżonki występowały zmienne stany wody w zakresie $H = 164,0\text{--}157,7$ cm, którym odpowiadały natężenia przepływu $Q = 0,10\text{--}0,06 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Do obliczeń transportu rumowiska przyjmowano średnie dobowe przepływy Q_d , określane dla średnich dobowych stanów wody $H_d = H_i / m$, gdzie: H_i – stan wody rejestrowany z krokiem czasowym 10 minut, m – liczba pomiarów stanu wody w ciągu doby ($m = 24 \cdot 6 = 144$). Dla przepływów średnich dobowych Q_d odczytywano następnie z wykresu $Q_r = f(Q)$ (rys. 4) odpowiadające im średnie dobowe natężenia transportu rumowiska wlezonego Q_{rd} . Całkowitą objętość rumowiska wlezonego V_c , które przemieściło się w przekroju obliczeniowym w ciągu 19 dni, wyznaczono ze wzoru:

$$V_c = \sum_{n=1}^{n=19} Q_{rd(n)} 86\,400$$

gdzie $Q_{rd(n)}$ jest średnim natężeniem transportu rumowiska w danej dobie.



RYSUNEK 3. Przekrój obliczeniowy: linia ciągła – punkty pomierzone, linia przerywana – uproszczony kształt przekroju do obliczeń wleczenia
 FIG. 3. Calculate cross-section: continuous line – measured points, dashed line – simplified shape of cross-section for bedload transport calculations



RYSUNEK 4. Zależności natężenia transportu rumowiska wlezonego Q_r od przepływu Q określone dla różnych wzorów empirycznych

FIG. 4. Relations between bedload transport discharge Q_r and discharge Q established for different empirical formulas

TABELA 1. Porównanie obliczonych wielkości wleczenia z wartością pomierzoną

TABLE 1. Comparison quantity of measured and calculated bedload transport

Wielkość określona według: Quantity determined by:	V_c [m ³]	Q_r [m ³ · s ⁻¹]
Pomiaru; Measurement	7,24	$4,41 \cdot 10^{-6}$
Wzoru Skibińskiego Skibiński's formula	2,47	$1,51 \cdot 10^{-6}$
Wzoru Meyer-Petera i Müllera Meyer-Peter and Müller's formula	1,51	$9,21 \cdot 10^{-7}$
Wzoru Van Rijna Van Rijn's formula	7,92	$4,83 \cdot 10^{-6}$
Wzoru Engelunda i Hansena Engelund and Hansen's formula	14,3	$8,71 \cdot 10^{-6}$

W tabeli 1 zestawiono wielkości transportu rumowiska wlezonego uzyskane z pomiaru i określone według wzorów empirycznych. Wynik zbliżony do wartości pomierzonej uzyskano tylko ze wzoru Van Rijna. Według formuły Engelunda i Hansena wielkość wleczenia jest prawie dwukrotnie większa od wielkości

pomierzonej. Wyniki obliczeń według pozostałych wzorów dały mniejsze wielkości wleczenia: ze wzoru Skibińskiego uzyskano prawie 3-krotnie mniejszą, natomiast według wzoru Meyer-Petera i Müllera prawie 5-krotnie mniejszą od wielkości pomierzonej.

Wnioski

Badania wstępne potwierdziły dużą przydatność zainstalowanego stanowiska do pomiaru transportu rumowiska wleczonego. Usunięcie awarii rejestratora umożliwi w przyszłości uzyskanie zapisu zmiennego w czasie natężenia ruchu rumowiska, co pozwoli na określenie zależności intensywności tego ruchu od zmiennych przepływów i innych parametrów hydraulicznych.

Znaczące różnice wyników pomiaru i obliczeń transportu rumowiska wykonane według wzorów empirycznych wskazują na konieczność prowadzenia dalszych prac badawczych. Należy wyjaśnić, czy rzeczywiście rozkład natężenia ruchu rumowiska wleczonego na szerokości dna koryta jest jednakowy. Pozwoli to na dokładne wyznaczenie transportu rumowiska w przekroju pomiarowym, w przypadku gdy szerokość wlotowa do zbiornika pomiarowego będzie mniejsza od szerokości maksymalnej. Ograniczenie szerokości wlotowej do zbiorników związane jest z szybkością ich wypełniania przez rumowisko. Badania wstępne wskazują na stosunkowo dużą intensywność wleczenia w korycie Zagożdżonki. Przy maksymalnie otwartym wlocie do zbiornika będzie on całkowicie wypełniony już po 1–2 dniach.

Uzyskane wyniki obliczeń transportu rumowiska według wzorów empirycznych, wskazują na konieczność ich dalszej weryfikacji i ewentualnie modyfikacji. Ważna jest również bardziej szczegółowa ocena zmienności wielu parametrów hydraulicznych, których właściwe oszacowanie warunkuje dokładność uzyskiwanych wyników obliczeń.

Literatura

- BANASIK K., SKIBIŃSKI J., GÓRSKI D. 1995: *Metody oceny erozji powierzchniowej i akumulacji rumowiska w zbiornikach* rozdz. *Metodyka zagospodarowania zasobów wodnych* red. A. Ciepielowski, Wydaw. SGGW, Warszawa, s. 152.
- FISHER K.R. 1995: *Manual of sediment transport in rivers*. Raport SR 356, HR Wallingford England, s. 61.
- HABERSACK H. 1994: *Development of a measurement technique to monitor continuously sediment transport in a large Austrian gravel bed river: Variability in Stream Erosion and Sediment Transport*. Poster Contribution Canberra, 12–16 Dec.; 39–43.
- LARONNE J., REID I., YITSCHAK Y., FROSTICK L. 1992: *Recording bedload discharge in a semiarid channel Nahal Yatir, Israel*. Erosion and sediment transport monitoring programmes in river basins. Proc. of the Oslo Symposium IAHS Publ. 210; s. 79–86.
- LEWIS J. 1991: *An improved bedload sampler*. Proc. of the Fifth Federal Ineragency Sedimentation Conference, Las Vegas, Nevada, Vol. 1; 6.1–6.8.
- POPEK Z., GŁADECKI J. 1995: *Stanowisko do ciągłego pomiaru rumowiska wleczonego*. Monitorowanie i modelowanie procesów hydrologicznych w zmieniającym się środowisku, mat. konf., Pionki, 4–5 wrzesień; 37–40.
- SKIBIŃSKI J. 1981: *Regional formulae for computation of bedload transport rate*. Advances in sediment transport. Proc. of the Conference Jabłonna (Poland), Nov. 13–18, 1978. Wydaw. PAN, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Warszawa, 351–361.

Summary

Bedload transport measurements station. In the paper has been presented bedload transport measurement device which has been installed in Zagożdżonka river at Czarna gauge station. The measurement device consist of tank collecting

sediment which is placed below bottom level of the river. The weight of sediment is continuously measured by sensors placed under sediments tank. The first investigation has shown good agreement between measured bedload transport and calculated once from Van Rijn formula. The significant differences between results obtained from others empirical for-

mulas: Engelund and Hansen, Skibiński, Meyer-Peter and Müller.

Author's address:

Z. Popek
Warsaw Agricultural University – SGGW
02-787 Warszawa
ul. Nowoursynowska 166
Poland