

Katarzyna Pikul, Marian Mokwa

BADANIA MODELOWE WPŁYWU ZMIAN KONCENTRACJI MATERIAŁU UNOSZONEGO W WODACH PŁYNĄCYCH

Streszczenie

Podstawowym celem niniejszego artykułu jest zaprezentowanie wpływu stref roślinnych na koncentrację rumowiska unoszonego w płynącej wodzie.

Nowe zasady regulacji rzek, które prowadzone są w zgodzie z naturą, przypisują ogromne znaczenie roślinności. Jest ona traktowana nie tylko jako czynnik przyrodniczy, ale także jako element oddziaływania technicznego, który wyraźnie kształtuje warunki hydrauliczne i hydrologiczne. Do niedawna panował pogląd, że roślinność jest jedynie czynnikiem utrudniającym eksploatację urządzeń wodnych oraz niekorzystnie wpływającym na funkcjonowanie budowli. Obecnie zaczęto jednak doceniać roślinność jako nowy element we współczesnej gospodarce wodnej, który może korzystnie wpływać na warunki hydrauliczne. Roślinność może bowiem powodować zmiany szorstkości koryta, konfiguracji dna, spadku zwierciadła wody, może zwiększyć odporność koryta na erozję, a także powodować kontrolowane przez człowieka zatrzymanie znacznej części transportowanego przez ciek rumowiska.

Istnienie stref wegetacji w rzekach i w płytkich zbiornikach przepływowych (np. zbiorniki wstępne) istotnie wpływa na procesy fluwialne. Zarówno stopień porostu, jego wymiar poziomy i pionowy, jak i dynamika jego zmian wpływają na podłużny i poprzeczny ruch rumowiska.

Badania ruchu rumowiska w strefach roślinnych przeprowadzono w Instytucie Inżynierii Środowiska na modelu fizycznym w skali 1:1. Celem badań było wyznaczenie charakterystyk hydraulicznych przepływu w strefie występowania porostu roślinnego oraz analiza wzajemnego oddziaływania roślin i rumowiska na procesy sedymentacyjne.

Słowa kluczowe: roślinność, rumowisko unoszone, badania modelowe, rzeka, zbiornik wstępny

WSTĘP

Transport cząstek stałych zwanych inaczej rumowiskiem rzeczonym, poprzez strumień wody w korycie rzeczonym jest niezwykle istotnym elementem reżimu rzecznoego, wpływającym na wiele zagadnień z zakresu gospodarki wodnej, m.in. na stabilność i przepustowość koryt rzecznych i kanałów oraz na funkcjonowanie budowli wodnych i wszelkich urządzeń hydrotechnicznych.

Znajomość ilości rumowiska transportowanego przez rzekę jest niezmiernie istotna przy planowaniu budowy zbiorników retencyjnych, ponieważ ma ona wpływ na proces zamulania oraz jego intensywność. Osiadanie cząstek na dnie prowadzi do utraty pojemności użytkowej zbiorników, a więc do zwiększenia pojemności martwych. Określenie ilości transportu rumowiska pozwala na ocenę czasu, w jakim proces utraty pojemności będzie przebiegał i skali tego zjawiska.

Ograniczenie procesu zamulania zbiorników retencyjnych może się odbywać poprzez stosowanie tzw. osadników wstępnych. Koncepcję taką wykorzystano przy konstrukcji zbiornika w Mściwojowie, który jest obiektem doświadczalnym Akademii Rolniczej we Wrocławiu [Koszewicz 2001; Pikul 2003]. Zanim woda wpłynie do zbiornika właściwego przechodzi przez porośnięte makrofitami komory osadnika i zbiornik wstępny, gdzie następuje proces osadzania się zanieczyszczeń i cząstek stałych, co znacznie poprawia jakość wody i spowalnia proces zamulania zbiornika właściwego. Skuteczność takiego rozwiązania jest przedmiotem badań.

Występowanie porostu roślinnego w rzekach wpływa na poprzeczny i podłużny ruch rumowiska. W ciekach o zarośniętych brzegach przepływ koncentruje się w środkowej strefie strumienia i tam też jest zwykle największa intensywność transportu rumowiska. Roślinność stwarza skomplikowane warunki brzegowe przepływu wody pod względem geometrycznym. Ocena pola prędkości w przypadku przepływu przez strefy roślinne jest zagadnieniem skomplikowanym i stanowi w tej chwili jedno z ważniejszych zagadnień badawczych zarówno eksperymentalnych, jak i analitycznych [Mokwa 2002].

Złożoność procesu transportu rumowiska powoduje, że mimo licznych badań, ciągle jest wiele niewiadomych i jego skomplikowana natura jest nie do końca rozpoznana [Banasiak 1999], szczególnie w odniesieniu do ruchu rumowiska w strefach roślinnych [Tsujimoto 1999]. Dlatego też konieczne jest prowadzenie badań mających na

celu lepsze poznanie wzajemnych relacji między charakterystykami zbiorowisk roślinnych i różnymi charakterystykami hydraulicznymi koryt zarastających. Badania tego zjawiska prowadzone w naturze stwarzają często duże problemy, ze względu na bardzo małe prędkości przepływu, a co za tym idzie niewielki transport rumowiska. Jedną z lepszych metod pozwalających na poznanie zjawiska transportu rumowiska w korytach z roślinnością wydaje się przeprowadzenie eksperymentu w warunkach laboratoryjnych, najlepiej z zachowaniem skali 1:1.

CEL I ZAKRES

Celem pracy jest analiza wpływu porostu roślinnego na ruch rumowiska w płynącej wodzie. Przeprowadzone badania mają charakter laboratoryjny i pozwoliły na ocenę koncentracji rumowiska w przekroju przed i za strefą roślinną. W pracy posłużono się roślinnością naturalną i zastępczą. Badania mają odniesienie do problematyki zamulania się zbiorników wodnych oraz do analizy skuteczności działania osadnika wstępnego na zbiorniku Mściwojów, który poprzez nasadzoną w nim trzcinę pospolitą (*Phragmites australis*) przyspiesza proces sedymentacji cząstek rumowiska i ogranicza ich przedostanie się do zbiornika głównego, a tym samym spowalnia proces jego zamulania. Badania przeprowadzono na modelu wycinkowym II komory osadnika wstępnego zbiornika Mściwojów, odwzorowanym w skali 1:1. Materiał do badań został pozyskany ze zbiornika Mściwojów, z komory II osadnika wstępnego.

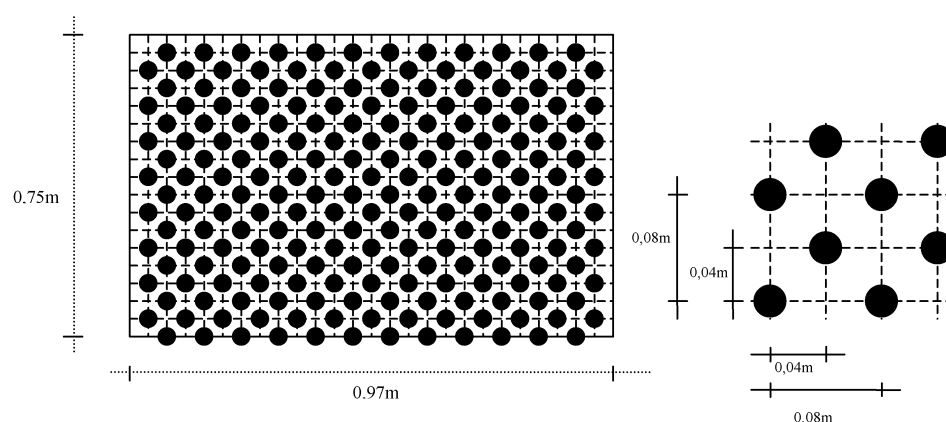
METODYKA

Badania modelowe ruchu rumowiska w strefach porostu roślinnego przeprowadzono w Laboratorium Wodnym Instytutu Inżynierii Środowiska Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Laboratorium posiada podest do instalowania modeli doświadczalnych wraz z układem zbiornikowo – pompowym do zapewnienia przepływu wody oraz pomiaru wydatku.

Badania przeprowadzono w korycie hydraulicznym o długości 15,0 m i szerokości 1,0 m ze stałym spadkiem dna $I = 0,5 ‰$. Roślinność zamodelowana na planie trójkąta o wymiarach $0,97 \times 0,75$ m i umieszczona w centralnej części koryta. Badania przeprowadzono z roślinnością zastępczą i naturalną [Kapuściński 2005; Piędel 2005].

Roślinność zastępcza w warunkach laboratoryjnych została wy-modelowana metalowymi prętami. Każdy z nich miał długość 0,55 m, a średnica kołowego przekroju była równa 5,2 mm. Pręty rozstawione były w odległościach co 0,08 m.

Roślinność naturalna (trzcina pospolita) umieszczona została w miejscu roślinności zastępczej na zainstalowanej płycie stalowej o wymiarach 0,97 m × 0,75 m. Łodygi roślin zostały przymocowane w dnie modelu do bolców stalowych o wysokości 0,1 m, rozmieszczonych w identyczny sposób jak pręty (rys. 1).

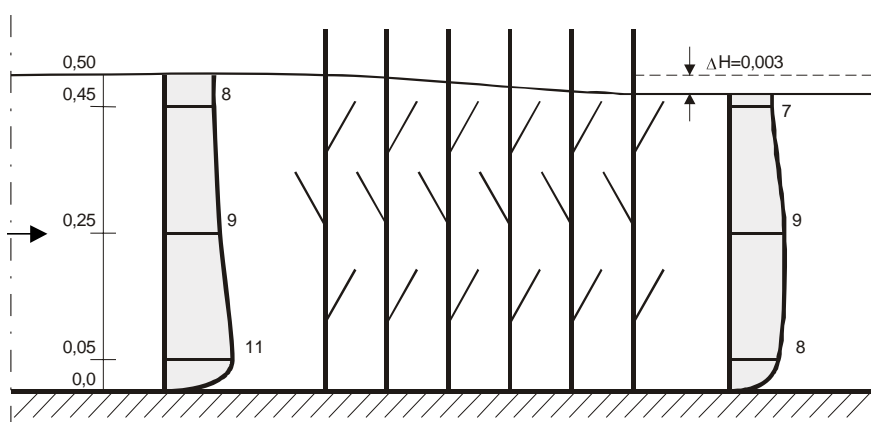


Rysunek 1. Schemat rozmieszczenia roślin i prętów
Figure 1. Disposition scheme of plants and bars

Model wyposażony był w oprzyrządowanie, z którego na uwagę zasługuje urządzenie do dozowania rumowiska oraz urządzenie do pomiaru koncentracji rumowiska unoszonego. Urządzenie do dozowania rumowiska (dozownik) składało się ze zbiornika o wymiarach 0,42 m × 0,42 m × 0,43 m wyposażonego w mieszadło z silnikiem elektrycznym i regulowaną szybkością obrotów. Praca mieszadła eliminowała proces sedymentacji cząstek wewnątrz zbiornika podczas dozowania materiału badawczego. W dnie zbiornika znajdował się otwór, przez który następował przepływ rumowiska do przewodu, skąd było ono dozowane do modelu. Przewód dozujący o \varnothing 0,01 m był wykonany z PCV. Podczas badań przewód był zorientowany poziomo (i zamocowany w poprzek koryta badawczego), a dozowanie materiału odbywało się przez 7 otworów o \varnothing 0,002 m. Wylot otworów dozujących podczas badań umieszczony był na wysokości 0,25 m nad dnem koryta

badawczego. Podczas wszystkich prób w korycie panowało stałe napełnienie wynoszące 0,50 m (odzworowujące napełnienie panujące w II komórce osadnika wstępnego).

Koncentracja rumowiska w pionach pomiarowych mierzona była metodą odpompowania mieszaniny z różnych głębokości (rys. 2). Do tego celu użyto specjalnie skonstruowanego urządzenia składającego się z pompy z przewodem o \varnothing 0,01 m z możliwością regulacji prędkości poboru wody odpowiadającą prędkości przepływu strumienia wody w korycie badawczym.



Rysunek 2. Rozmieszczenie punktów pomiarowych oraz rozkład prędkości w korycie

Figure 2. Disposition of measurement points and velocity distribution in riverbed

Dozowanie rumowiska odbywało się w sposób ciągły, na wysokości 0,25 m nad dnem koryta, na całej jego szerokości. Odpompowaną mieszaninę przelewano przez sito o wymiarach oczek 0,05 mm co pozwoliło na wyselekcjonowanie cząstek stałych o określonych średnicach. Jako że materiał badawczy przed użyciem do badań modelowych był przecierany przez sito o wymiarze oczka 1 mm, na sicie pomiarowym pozostawały ostatecznie cząstki o uziarnieniu z zakresu 0,05–1 mm. Pozyskany na sicie materiał suszono przez 24 h w temperaturze 105°C, a następnie ważono na wadze z dokładnością do 0,01 g oraz obliczono koncentracje dla poszczególnych punktów pomiarowych.

WYNIKI

Wprowadzenie do koryta roślinności spowodowało zmiany parametrów hydraulicznych przepływu. Metalowe pręty oraz roślinność wpływają na deformację tachoid prędkości wody, co odbija się na charakterze ruchu rumowiska unoszonego (rys. 2).

Przeprowadzone badania na trzcinie i prętach wykazały skuteczniejsze oddziaływanie roślinności naturalnej na ruch rumowiska unoszonego. Wartości koncentracji rumowiska unoszonego były zarówno mniejsze za roślinnością, jak i za metalowymi prętami. Wyniki obliczonej koncentracji zestawiono i porównano z sobą w tabeli 1 i 2. Dodatkowo obliczono jaka część rumowiska została zatrzymana przez strefę roślinności sztucznej i naturalnej.

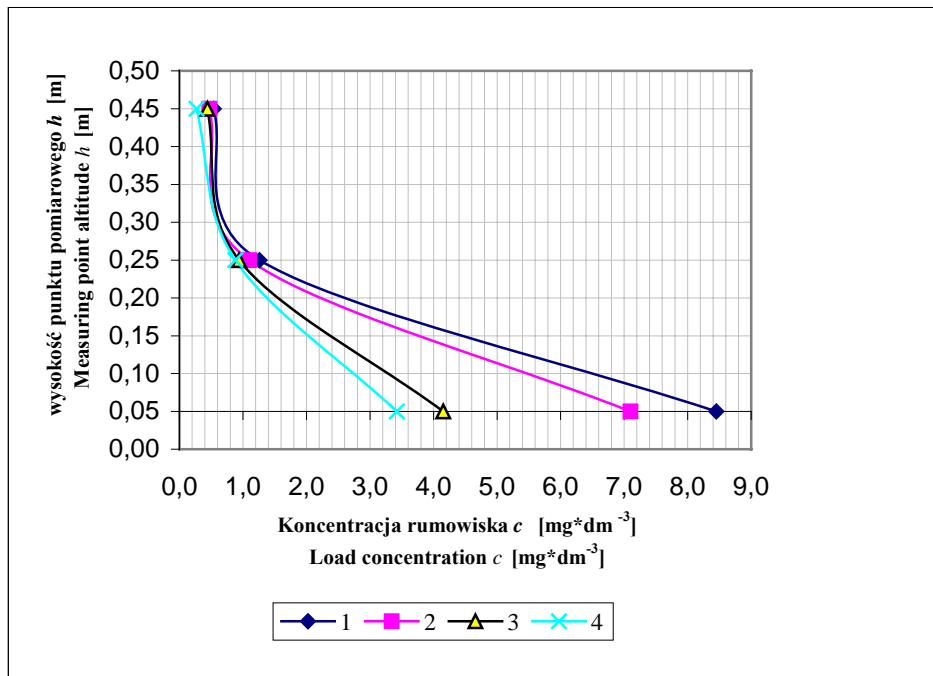
Tabela 1. Wyniki pomiarów – roślinność sztuczna
Table 1. Measurement results – artificial vegetation

Wysokość punktu pomiarowego [m] Measuring point altitude [m]	Koncentracja przed strefą roślinną [mg·dm ⁻³] Concentration ahead vegetation zone [mg·dm ⁻³]	Koncentracja za sztuczną roślinnością [mg·dm ⁻³] Concentration behind artificial plants [mg·dm ⁻³]	Koncentracja za strefą roślin – bez przeszkody [mg·dm ⁻³] Concentration behind vegetation zone – without barrier [mg·dm ⁻³]	Zatrzymane rumowisko [%] Retained load [%]
0,05	8,5	4,15	7,1	67,6
0,25	1,26	0,94	1,1	38,1
0,45	0,54	0,31	0,47	55,5

Tabela 2. Wyniki pomiarów – roślinność naturalna
Table 2. Measurement results – natural vegetation

Wysokość punktu pomiarowego [m] (Measuring point altitude) [m]	Koncentracja przed strefą roślinną [mg·dm ⁻³] (Concentration ahead vegetation zone) [mg·dm ⁻³]	Koncentracja za naturalną roślinnością [mg·dm ⁻³] (Concentration behind natural plants) [mg·dm ⁻³]	Koncentracja za strefą roślin bez przeszkody [mg·dm ⁻³] (Concentration behind vegetation zone – without barrier) [mg·dm ⁻³]	Zatrzymane rumowisko [%] (Retained load) [%]
0,05	8,5	3,42	7,1	76,2
0,25	1,26	0,88	1,1	42,8
0,45	0,54	0,27	0,47	63,0

Wyniki badań przedstawiono również na wykresie (rys. 3).



Rysunek 3. Rozkład koncentracji rumowiska unoszonego przed i za strefą roślinną
Figure 3. Concentration distribution of suspended load ahead and behind vegetation zone

Opis wykresu:

1 – koncentracja rumowiska przed strefą roślinną (Load concentration ahead vegetation zone),

2 – koncentracja rumowiska za strefą roślin – bez przeszkody (Load concentration behind vegetation zone – without barrier),

3 – koncentracja rumowiska za strefą roślinności sztucznej (Load concentration behind artificial vegetation zone),

4 – koncentracja rumowiska za strefą roślinności naturalnej (Load concentration behind natural vegetation zone).

Dodatkowo dla badanego materiału roślinnego, który stanowiła trzcina pospolita pobrana z II komory osadnika wstępnego w Mściwojowie obliczono współczynnik oporu z przekształconego równania Bernoulliego:

$$\zeta = \frac{2g(H_g - H_d) + \alpha(v_g - v_d)}{v_d^2} \text{ [-]}$$

gdzie:

H_g – głębokość wody przed przeszkodą [m],

H_d – głębokość wody za przeszkodą [m],

V_g – prędkość średnia przed przeszkodą [m/s],

V_d – prędkość średnia za przeszkodą [m/s],

α – współczynnik St. Venanta.

Obliczony współczynnik oporu przy założonym współczynniku St. Venanta = 1,1 wyniósł $\zeta = 11,15$.

Nadpiętrzenie spowodowane przez strefę roślinności naturalnej $H_g - H_d = 0,003\text{m}$.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Pomiary koncentracji przed i za wymodelowaną roślinnością zastępczą i naturalną, wykazały jej wpływ na zatrzymywanie drobnych cząsteczek gruntu. Największa ilość wytrąconych frakcji rumowiska, odnotowana została przy dnie (rys. 3). Procentowa ilość zatrzymanego rumowiska na wysokości 5 cm nad dnem wynosiła odpowiednio 67,6% w przypadku roślinności sztucznej i ok. 76% w przypadku roślinności naturalnej (tab. 1 i 2). Była to bezwzględna ilość wytrąconego materiału, którą otrzymano po uwzględnieniu ilości osadzonych cząstek na odcinku tej samej długości bez żadnej przeszkody.

Przeprowadzone badania potwierdziły tezę, że wprowadzenie roślinności do zbiorników wstępnych w znacznym stopniu intensyfikuje proces zatrzymania rumowiska unoszonego, ograniczając jego przemieszczanie do zbiornika głównego. Ustalenie zależności empirycznych pomiędzy warunkami hydraulicznymi, transportem rumowiska a roślinnością (rodzaj roślinności, gęstość nasadzenia, długość strefy roślinnej) wymaga przeprowadzenia badań w szerokim zakresie zmienności parametrów.

BIBLIOGRAFIA

- Banasiak R. *Badania transportu rumowiska unoszonego w korytach otwartych*. Rozprawa doktorska. AR Wrocław 1999.
- Dąbkowski. Sz. L., Skibiński J., Żbikowski A. *Hydrauliczne podstawy projektów wodno-melioracyjnych*. PWRiL. Warszawa 1982.
- Kapuściński P. *Badania modelowe wpływu roślinności na ruch rumowiska w korytach rzek (model z roślinnością naturalną)*. Praca magisterska. Instytut Inżynierii Środowiska. AR Wrocław 2005.
- Koszewicz K., *Ocena skuteczności działania zbiornika wstępnego na rzece Wierzbak – zbiornik Mściwojów.*, Praca magisterska. Instytut Inżynierii Środowiska. AR Wrocław 2001.
- Mokwa M.: *Sterowanie procesami fluwialnymi w korytach rzek przekształconych antropogenicznie*, Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu nr 439, rozprawy CLXXXIX Wrocław 2002.
- Piędel Ł. *Badania modelowe ruchu rumowiska w rzekach z porostem roślinnym (roślinność zastępcza wymodelowana przy pomocy prętów)*. Praca magisterska. Instytut Inżynierii Środowiska. AR Wrocław 2005.
- Pikul K., Rackiewicz D. *Zbiornik wstępny Mściwojów jako przykład ochrony retencjonowanej wody*. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu CCCLV, Poznań 2003, s. 183–189.
- Tsujimoto T. *Fluvial processes in streams vegetation*, Journal of hydraulic research, Vol. 37, no 6, 1999, s. 789–803.

Mgr inż. Katarzyna Pikul
Dr hab. inż. Marian Mokwa prof. AR
Instytut Inżynierii Środowiska
Akademia Rolnicza we Wrocławiu

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Wojciech Bartnik

Katarzyna Pikul, Marian Mokwa

MODEL TEST OF CONCENTRATION VARIATION EFFECT OF SUSPENDED LOAD IN RIVERS

SUMMARY

The main aim of the article is to show (present) the influence of vegetation zone on concentration of suspended load. New standards (principles, rules) of river engineering conducted in harmony with nature assign enormous plant significance. It is treated not only as a natural factor but also as a component of hydraulic reaction which clearly shapes hydraulic and hydrologic conditions. Until recently it was generally believed that vegetation is only the faktor which makes exploitation of water facilities difficult and unfavourably influence on structure working. At present vegetation has begun to be appreciated as a new element in contemporary water management which may favourably influence on hydraulic conditions. Vegetation may cause riverbed roughness changes, bed configuration changes, water level slope changes increase of riverbed erosion resistance and also may cause retention of considerable amount of suspended load transported by (in) the river. Existing of vegetation zone in rivers and reservoirs influences on fluvial processes. Vegetation degree and its vertical and horisontal dimension influence on longitudinal and transverse transport of suspended load as well as its variation dynamics. The research of the suspended load transoport in vegetation zone was conducted in Institute of Environmental Engineering on model in scale 1:1. The aim of the research was to estimate hydraulic characteristic of the flow vegetation zone and analyze of interaction of vegetation and suspended load on the sedimentation processes and sorting of suspended load.

Key words: vegetation, suspended load, model test, river, preliminary reservoir