

Agata MAZURCZYK

Zakład Zasobów Wodnych, Instytut Geofizyki PAN
Water Resources Department, Institute of Geophysics PAS

Warunki przepływu w rzekach z kieszeniami zalewowymi – badania laboratoryjne

Flow conditions in rivers with floodplain-pockets – laboratory research

Słowa kluczowe: koryto o złożonym przekroju poprzecznym, roślinność na tarasach zalewowych, kieszeń zalewowa, pomiary prędkości chwilowych

Key words: compound channel, vegetation on floodplains, floodplain-pocket, measurements of instantaneous velocities

Wprowadzenie

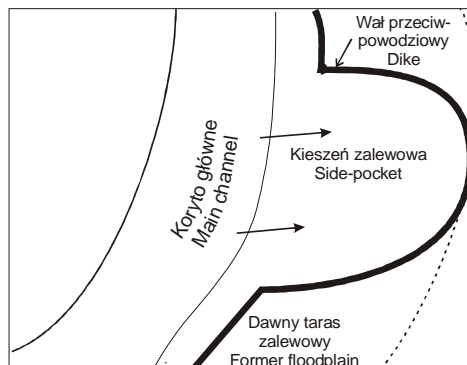
Współczesne wymagania dotyczące zabudowy i utrzymania koryt rzecznych regulowane w Europie dyrektywą wodną Unii Europejskiej są ściśle związane z zapewnieniem odpowiedniej kondycji ekosystemu wodno-łądowego, obejmującego zbiornik wodny lub ciek wraz z jego doliną (Kubrak i Nachlik 2003). Roślinność występująca w obrębie doliny rzecznej oraz w samym korycie jest źródłem dodatkowych oporów ruchu obniżających przepustowość kanałów. Mimo to obecne zasady regulacji rzek zalecają pozostawienie lub wprowadzenie zabudowy roślinnej ze względu na jej duże znaczenie przyrodnicze, krajo-

brazowe oraz stabilizujące (Poppek i Żelazo 1995), jednak konieczność ze świadomością jej wpływu również na hydrauliczne warunki przepływu wody w korycie. Po latach utrzymywania cieków z prostą geometrią koryta oraz wolnych od wszelkiego rodzaju przeszkód opóźniających odprowadzanie wód powodziowych, takich jak roślinność na tarasie zalewowym, pojawiła się tendencja powrotu do naturalnego kształtowania dolin rzecznych. Bliskie naturze projektowanie cieku oraz wynikające z tego znacznie bardziej skomplikowane warunki przepływu stawiają przed naukowcami i inżynierami nowe wyzwania w hydraulice. Roślinność – obecnie coraz częściej pożądanym elementem ekosystemu dolin rzecznych – w połączeniu ze skomplikowaną geometrią poprzeczną i podłużną kanału pozostawia wciąż wiele niewiadomych w zakresie parametrów przepływu w rzekach i potokach. Zagadnienie oceny przepustowości koryt rzecznych przy określonej geometrii i zabudowie ro-

ślinnej jest niezmiernie ważne dla bezpiecznego odprowadzenia wód wielkich.

Katastrofalne powodzie w 1997 oraz 2002 roku w Polsce i Europie pokazały jak ważna jest ochrona przeciwpowodziowa oraz właściwe zrozumienie procesów fizycznych zachodzących w rzekach. Ochrona przeciwpowodziowa nie sprowadza się obecnie wyłącznie do stosowania środków technicznych umożliwiających przeprowadzenie wód wielkich, ale wymaga poszukiwania nowych, środowiskowych rozwiązań zgodnych z koncepcją zrównoważonego rozwoju dolin rzecznych. Wiele rzek w Polsce i Europie poprzez zbyt dużą zabudowę techniczną oraz niewłaściwą strukturę ekosystemu doliny nie spełnia kryteriów naturalnej regulacji cieków zalecanych w dyrektywie wodnej UE. Jednak procesy renaturyzacyjne na całej długości cieków są najczęściej niemożliwe ze względu na istniejącą zabudowę czy problemy administracyjno-prawne z wykupem gruntów. Stąd pojawiła się koncepcja „oddawania rzekom przestrzeni” na pewnych fragmentach, gdzie otwarcie koryta głównego na fragment tarasu zalewowego poprzez odsunięcie wałów przeciwpowodziowych jest możliwe (rys. 1). Utworzona w ten sposób tzw. kieszeń zalewowa mogłaby być zalesiona, użytkowana turystycznie lub jako gospodarstwo leśne bądź użytek ekologiczny, a w czasie wezbrań łatwo zalewana.

Pomysłu budowy kieszeni zalewowych nie należy traktować jako koncepcji stricte przeciwpowodziowej. Jest to forma możliwie bliskiego naturze kształtowania cieków, zgodna z koncepcją rozwoju zrównoważonego dla dolin



RYSUNEK 1. Schemat kieszeni zalewowej
FIGURE 1. The scheme of a floodplain-pocket

rzecznych. Wprawdzie kieszeń zalewowa może być przestrzenią retencyjną, która gromadzi część fali powodziowej, ale jednocześnie poprzez skomplikowaną geometrię i występowanie roślinności powoduje wzrost oporów ruchu i miejscowe spiętrzenie wody.

Kieszenie zalewowe występują już w kilku miejscach w Europie – w dolinie Łaby w Niemczech, w dolinie Renu w Holandii. Dodatkowo są projektowane w dolinie Renu na terytorium Niemiec w ramach zintegrowanego programu dla Renu (Integriertes Rheinprogramm). Wspomina się o podobnych rozwiązaniach także w planach ochrony przeciwpowodziowej w dolinie Odry. Jednak ich wpływ na warunki przepływu oraz charakter ruchu i transport rzeczny jest wciąż niewystarczająco zbadany. Nie prowadzono do tej pory badań dotyczących wpływu kieszeni zalewowych na pola prędkości i poziom wody w warunkach laboratoryjnych. Jedyne analizy opierają się na symulacjach komputerowych. Jednak przy tak skomplikowanej geometrii oraz występowaniu roślinności modelowanie nu-

meryczne musi być poprzedzone badaniami terenowymi lub laboratoryjnymi.

Cel badań

Podstawowym celem pracy jest poznanie procesów fizycznych zachodzących w korytach z drzewami na tarasie zalewowym. Praktycznym celem jest próba odpowiedzi na pytania o oddziaływanie roślinności oraz kieszeni zalewowej z roślinnością na charakterystyki przepływów, a co za tym idzie – zasadność budowania takich kieszeni. Jest on realizowany poprzez analizę zmian prędkości średnich w przekrojach, wpływ występowania kieszeni zalewowej z drzewami na poziome rozkłady prędkości i wielkość prądów wstecznych na tarasie zalewowym oraz na poziom wody w kanale laboratoryjnym. Te informacje pozwalają na analizę kluczowego dla inżynierów pytania o przepustowość koryta rzecznego z kieszenią zalewową.

Rozpoznanie hydraulicznych warunków przepływu przy przeprowadzaniu wód powodziowych pochodzi głównie z badań laboratoryjnych na modelach koryt w różnej skali (Kubrak i Kubrak 2000). Badania terenowe są najczęściej zbyt czasochłonne i kosztowne, a do tego trudne i niewygodne w przeprowadzeniu. Dodatkowo przewagą badań eksperymentalnych jest ich powtarzalność i stosunkowo duża łatwość pomiaru. Mimo rozwoju nowoczesnych technik obliczeniowych i możliwości komputerowego modelowania przepływów, badania laboratoryjne pozostają wciąż bardzo ważną i często stosowaną metodą poznania zjawisk fizycznych występujących w korytach

rzecznych. Synergiczne podejście do badań hydraulicznych uznaje ten rodzaj badań za niezastąpiony (van Os i in. 2004).

Metodyka badań

Dane pomiarowe do analizy zostały zebrane w prostoliniowym modelu odcinka koryta rzeki długości 30 m, szerokości 2 m i głębokości 80 cm z jednym tarasem zalewowym (rys. 2) w Laboratorium Instytutu Budowli Wodnych Uniwersytetu w Braunschweigu w Niemczech (Leichtweiss-Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig).

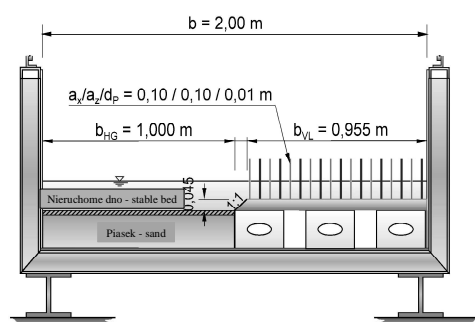


RYSUNEK 2. Kanał laboratoryjny, w którym wykonano pomiary

FIGURE 2. The laboratory channel, where measurements were conducted

Na tarasie wybudowano kieszeń zalewową długości 9 m, o kącie otwarcia i zamknięcia 45°. Spadek podłużny dna koryta był stały dla wszystkich wariantów eksperymentu i wynosił 0,9‰. Koryto główne i taras zalewowy były poziome w przekroju. Do gładkiego dna

koryta przyklejono w dość dużych odstępach i przypadkowym rozkładzie fragmenty pokruszonego żwiru wielkości około 3–6 mm. Schemat przekroju poprzecznego kanału pokazano na rysunku 3 (Specht 2002).



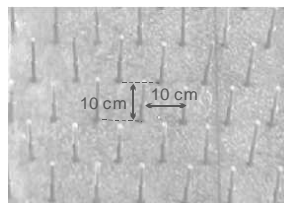
RYSUNEK 3. Przekrój poprzeczny kanału (za Spechtem 2002)

FIGURE 3. Cross-section of the channel (by Specht 2002)

Model koryta ma zamknięty obieg wody zasilany pompą o wydajności 300 l/s. Kanał rozpoczyna się głębokim basenem, który zmniejsza ewentualny efekt pulsacyjny pompy. Na końcu kanału zamontowano uchylną klapę, która pozwala na regulowanie poziomu wody w korycie.

Badania prowadzono w warunkach stacjonarnego przepływu przy stałym wydatku 100 l/s. Na tarasie zalewowym umieszczono plastikowe, sztywne pręty o okrągłym przekroju i średnicy 1 cm, symulujące pnie drzew (Mazurczyk 2004). Pręty umieszczono w przesuniętych względem siebie rzędach odległych o 10 cm, w odstępach 10 cm ($a_x/a_z = 10/10$ cm – rys. 4).

Jako pierwsze wykonano badanie referencyjne bez kieszeni zalewowej. Woda płynęła wyłącznie głównym korytem, a położenie kłapy regulacyjnej



RYSUNEK 4. Rozmieszczenie prętów symulujących pnie drzew w wariancie z 95 drzewami/m²

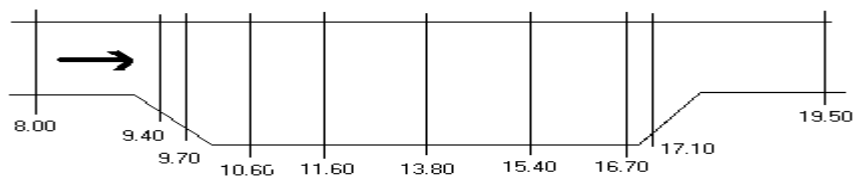
FIGURE 4. Location of the sticks simulating trunks of riparian trees in case of 95 trees/m²

na końcu kanału zostało tak dobrane, aby ruch był quasi-jednostajny. Przy takim położeniu kłapy wykonano następnie trzy serie badań z kieszenią zalewową dla różnych wariantów rozmieszczenia roślinności (95, 45 oraz 0 drzew/m²).

Przyrządy pomiarowe

Chwilowe składowe prędkości przepływu zmierzono w wybranych punktach trójwymiarowym Dopplerowskim prędkościomierzem akustycznym (3D ADV), a poziomy wody za pomocą wodowskazów szpilkowych i rurek Pitota rozmieszczonych w kanale co 1,5 metra. Pomiary prędkości wykonano w 10 przekrojach poprzecznych – jednym przed, jednym za i ośmiu wewnątrz kieszeni zalewowej (rys. 5) w pięciu profilach pionowych w głównym korycie oraz w pięciu profilach na tarasie zalewowym w punktach co 1 lub 2 cm.

Długości ciągów pomiarowych (w korycie głównym 3000 oraz 6000 przy dnie i 7500 wartości na tarasie zalewowym zmierzonych z częstotliwością 25 Hz) dają szansę analizy nie tylko prędkości średnich, ale również charakterystyk turbulencji.

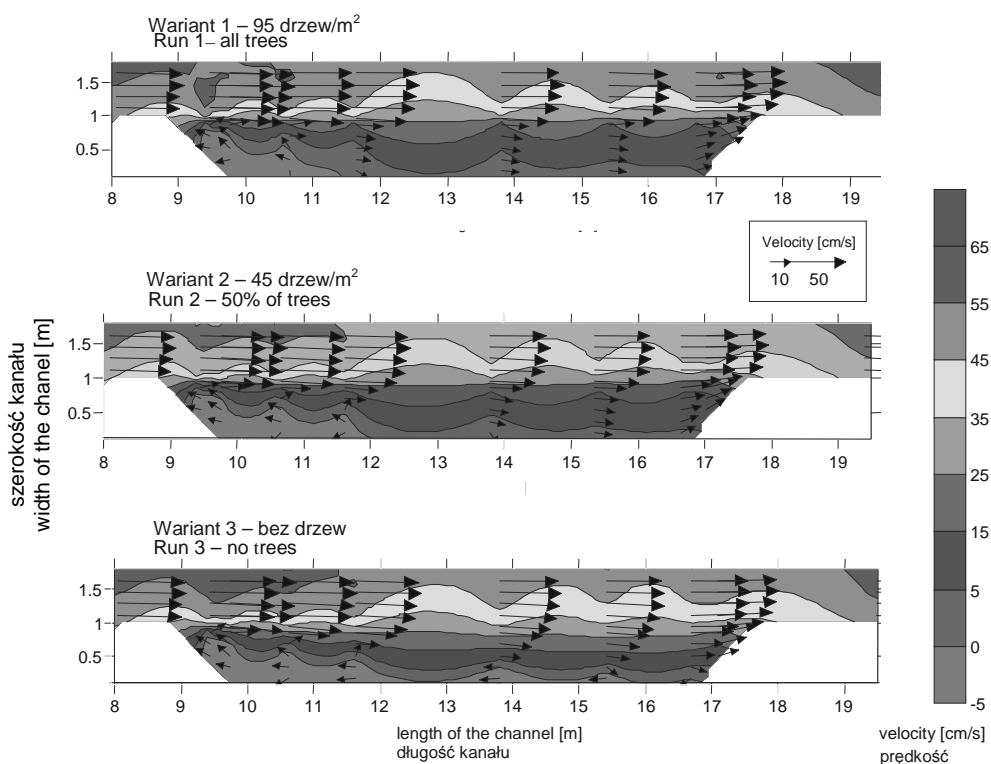


RYSUNEK 5. Rozmieszczenie przekrojów pomiarowych w kanale
 FIGURE 5. Location of measuring cross-sections

Wstępne wyniki badań

Rozkłady prędkości w korycie głównym są podobne we wszystkich analizowanych przypadkach. Na rysunku 6 przedstawiono konturowe i wektorowe

rowe rozkłady uśrednionych w czasie prędkości przepływu na głębokości $0,6h$, gdzie h – całkowita głębokość wody w korycie głównym. Między prędkościami w korycie głównym a na tarasie zalewowym występują duże różnice (rys. 6).



RYSUNEK 6. Konturowe i wektorowe mapy rozkładów prędkości – rzut z góry
 FIGURE 6. Contour and vector maps of velocity distributions – plan view

W kieszeni zalewowej w przypadkach z roślinnością poprzeczne zróżnicowanie wartości prędkości podłużnych jest niewielkie. Gdy w kieszeni zalewowej występuje gęsta roślinność (95 drzew/m²) działa ona jak ściana podziałowa i utrudnia mieszanie wody z tarasu zalewowego i koryta głównego. Rozkłady poprzeczne prędkości w kieszeni zalewowej różnią się wtedy minimalnie (rys. 7).

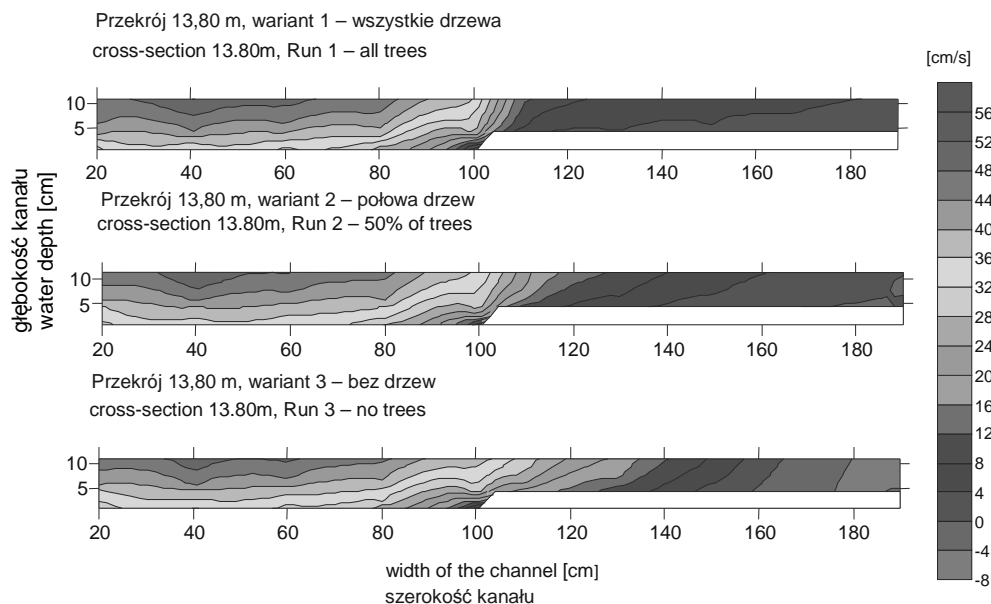
Gdy roślinność jest mniej gęsta oraz przy jej braku obserwuje się wyraźny wzrost zróżnicowania prędkości podłużnych w kieszeni zalewowej oraz intensyfikację procesu mieszania wody między korytem a tarasem (rys. 6).

Geometria kieszeni zalewowej powoduje występowanie prądów wstecznych. Długość strefy kieszeni zalewowej, gdzie prędkości podłużne są ujemne, zależy bardzo mocno od gęstości

roślinności. Przy występowaniu roślinności waha się od 1/3 do połowy długości kieszeni zalewowej, a w przypadku braku drzew prądy wsteczne występują na całej jej długości. Roślinność wyraźnie zmniejsza wpływ geometrii kieszeni zalewowej na rozkłady prędkości. Informacja o rozmiarze prądów wstecznych jest przydatna do analizy ilości materiału sedymentacyjnego (rumowiska), który może zostać zdeponowany w kieszeni zalewowej.

W związku ze skomplikowaną geometrią podłużną kanału przepływ wody nie może być traktowany jednowymiarowo. Zaleca się przy modelowaniu komputerowym przepływu przez kieszeń zalewową użycie modelu co najmniej dwuwymiarowego.

Kluczowym zagadnieniem dla inżynierów jest przepustowość koryta



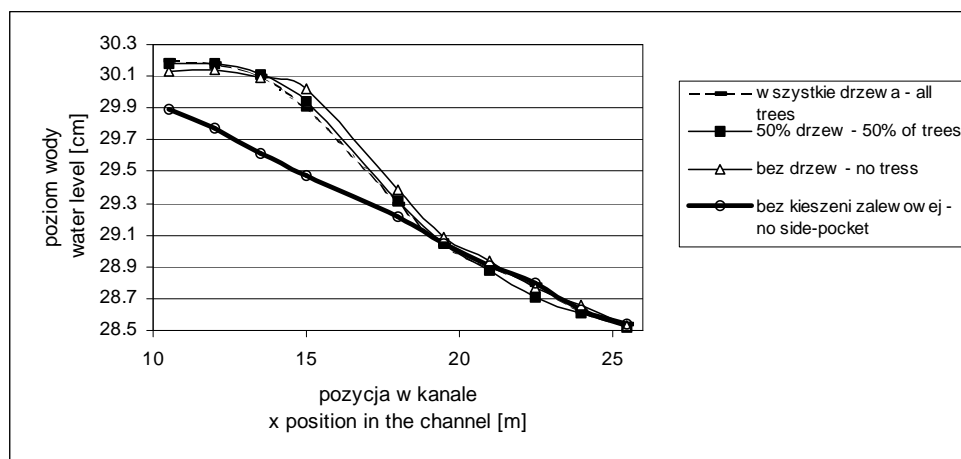
RYSUNEK 7. Rozkłady prędkości podłużnych w przekroju na środku kanału dla trzech wariantów
 FIGURE 7. Distributions of longitudinal velocities in a cross-section in the middle of the channel for 3 cases

rzecznego. Wstępna analiza zmian poziomów wody dla różnych wariantów gęstości roślinności wskazuje, że wyraźny wzrost poziomu wody obserwowany jest powyżej oraz wzdłuż całej kieszeni zalewowej. Poniżej kieszeni poziom wody pozostaje niezmienny niezależnie od występowania roślinności oraz obecności kieszeni zalewowej (rys. 8). Pozwala to wnioskować, że utworzenie kieszeni powoduje spiętrzenie wody (oraz spadek przepustowości kanału), ale tylko na pewnym fragmencie doliny.

wym, ale redukuje również wpływ geometrii kieszeni na rozkłady prędkości.

W związku z efektem spiętrzenia wody, a co za tym idzie spadku przepustowości kanału powyżej oraz na całej długości kieszeni, zaleca się tworzenie kieszeni powyżej (lub w wystarczającej odległości) miast lub innych obiektów, które podlegają ścisłej ochronie przeciwpowodziowej.

Wkrótce zostanie przeprowadzona bardziej szczegółowa analiza danych z uwzględnieniem struktury turbulencji. Dalsze potencjalne kierunki badań



RYSUNEK 8. Poziom wody w głównym kanale mierzony rurkami Pitota
 FIGURE 8. Water level in the main channel measured with the use of Pitot's tubes

Podsumowanie

Przepływ wody w kanale z kieszenią zalewową jest skomplikowany i nie może być traktowany jako jednowymiarowy. Prędkości podłużne w korycie głównym są wyraźnie większe niż w kieszeni zalewowej. Roślinność ewidentnie zmniejsza prędkości na tarasie zalewo-

z kieszeniami zalewowymi to doświadczenia z roślinnością giętką lub transportem rumowiska.

Literatura

- KUBRAK J., KUBRAK E. 2000: Wyniki hydraulicznych badań współczynników oporów w złożonym przekroju koryta. *Gospodarka Wodna* 8: 296–299.
- KUBRAK J., NACHLIK E. 2003: Hydrauliczne podstawy obliczania przepustowości koryt

rzecznych. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.

- MAZURCZYK A. 2004: Horizontal Velocity Distributions in a Compound Channel with a Vegetated Floodplain. XXIV International School of Hydraulics "Hydraulic Problems in Environmental Engineering". 13–17.09.2004, Jastrzębia Góra, Gdańsk.
- POPEK Z., ŻELAZO J. 1995: Analiza wpływu roślinności brzegowej na warunki przepływu w korycie rzeki. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Konferencje X* (T. 1), 270: 157–165.
- SPECHT F. 2002: Einfluss von Gerinnebreite und Uferbewuchs auf die hydraulisch-sedimentologischen Verhältnisse naturnaher Fließgewässer [rozprawa doktorska]. Technical University of Braunschweig, ISBN 3-89720-606-4.
- van OS A., SOULSBY R., KIRKEGAARD J. 2004: The future role of experimental methods in European hydraulic research: towards a balanced methodology. *Journal of Hydraulic Research* 42, 4: 341–356.

Podziękowania

Badania prowadzono w ramach stypendium naukowego w Instytucie Budowli Wodnych Uniwersytetu w Braunschweigu w Niemczech (Leichtweiss-Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig), fundowanego przez Centrum Doskonałości GEODEV przy Instytucie Geofizyki Polskiej Akademii Nauk. Autorka jest wdzięczna za wszelką pomoc okazaną przez pracowników niemieckiego Instytutu, szczególnie przez dr Katinę Koll.

Specjalne podziękowania autorka kieruje do doc. dr. hab. Pawła Rowińskiego oraz prof. dr. hab. Jarosława Napiórkowskiego za pomoc w uzyskaniu stypendium na wyjazd oraz wszelkie wskazówki naukowe i wsparcie merytoryczne.

Summary

Flow conditions in rivers with floodplain-pockets – laboratory research. Contemporary rules of controlling rivers suggest leaving vegetation on the floodplains for the sake of its environmental functions. After years of constructing channels with simple geometry and free of obstruction, like floodplain vegetation, the trend to promote restoration of river valleys appeared. Due to the problems with natural re-shaping of already canalised rivers along their whole lengths, the idea of building of a side-pocket within a shorter reach of a floodplain by shifting the existing dikes further from the main channel has appeared.

The main aim of the study was the examination of the influence of the occurrence and density of stiff woody vegetation in a floodplain-pocket upon the velocity distributions and flow capacity in a compound channel in a laboratory flume. Vertical and horizontal velocity distributions in a floodplain-pocket and in the main channel and change of water level caused by occurrence of vegetation and the geometry of the pocket by different density of vegetation were investigated.

Water flow in the channel with floodplain-pocket is too complicated to be treated like a one-dimensional process. Velocities in the main channel are visibly higher than in the floodplain-pocket. Vegetation reduces the velocities on the floodplain, but also reduces the effect of geometry of the pocket. The increase in water stages is observed above and within the pocket. Water stages down the channel remain constant independently of the existence of the pocket and the vegetation.

Author's address:

Agata Mazurczyk
Zakład Zasobów Wodnych
Instytut Geofizyki PAN
ul. Księcia Janusza 64, 01-452 Warszawa
Poland