

## **ANALIZA WYBRANYCH PROCESÓW I ZJAWISK PODCZAS POWSTAWANIA I DYSSYPACJI WYDM ŻWIROWO-PIASKOWYCH NA DNIE RZEKI PODGÓRSKIEJ**

Jacek Florek, Artur Radecki-Pawlik, Karol Plesiński

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań zmian morfologicznych oraz składu granulometrycznego materiału dennego w ujściowym odcinku rzeki podgórskiej. Znaczna intensywność procesów kształtujących koryto rzeki Raby ma w tym miejscu kluczowe znaczenie dla zachowania ciągłości dynamicznej cieku i utrzymania stopnia jej naturalności, szczególnie wobec zagrożeń wynikających z jej gospodarczego wykorzystania oraz przeprowadzonych regulacji zarówno samej Raby, jak i rzeki Wisły.

W terenie przeprowadzono obserwacje i pomiary przegłębień i wypłyceń, erozji bocznej oraz zróżnicowania form dennych i łąch, których dynamika przeobrażeń świadczy o intensywnym transporcie rumowiska dennego na badanym odcinku.

Badania polegały na analizie prób warstwowych metodą mrożenia wgłębnego i pomiarach ogólnych parametrów geodezyjnych odcinka ujściowego. Znaczna dynamika przepływów wezbraniowych spowodowała na badanym odcinku lokalne obniżenia dna, podniesienia na skutek nagromadzenia materiału oraz zmiany przebiegu linii nurtu, prowadzące nawet do przemieszczenia jej pomiędzy brzegami.

Analiza składu granulometrycznego badanych próbek pozwoliła na określenie mechanizmów zmian wywołanych przejściem wezbrania, a także wyodrębnienie głównych procesów determinujących uwarstwienie, tworzenie się i przemieszczanie badanych form dennych. Określenie granicznych wartości sił oddziałujących na materiał piaszczysto-żwirowy umożliwiło podanie interpretacji mechanizmów przemieszczania się badanych form dennych.

Obliczenia dowiodły, że wartości napelnienia granicznego początku ruchu w obszarze formy dennej wynosiły 15 cm, podczas gdy napelnienia w obszarze formy wyniosły od 10 cm do 23 cm, co wskazuje na wymiary formy jako czynnik wpływający na uruchomienie zarówno procesu transportu, jak i sedymentacji.

**Słowa kluczowe:** rzeka podgórska, formy denne, skład granulometryczny

---

Adres do korespondencji – Corresponding authors: dr inż. Jacek Florek, prof. dr hab. inż. Artur Radecki-Pawlik, dr inż. Karol Plesiński, Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. A. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, e-mail: [rmflorek@cyf-kr.edu.pl](mailto:rmflorek@cyf-kr.edu.pl), [rmradec@cyf-kr.edu.pl](mailto:rmradec@cyf-kr.edu.pl), [k.plesinski@ur.krakow.pl](mailto:k.plesinski@ur.krakow.pl).

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków 2015

## WSTĘP

W budowie morfologicznej dna rzek i potoków górskich oraz podgórskich najbardziej znanymi i opisanymi w literaturze są formacje denne określane jako łachy korytowe. Formy te są zazwyczaj w większości zbudowane ze żwirów, a tworzą się na zakolach rzecznych oraz w części środkowej koryt, budując agradacyjne struktury utrwalające morfologię dna cieków. Z kolei występowanie utworów dennych o budowie piaszkowo-żwirowej w postaci wydm na dnie rzeki o charakterze podgórskim jest w chwili obecnej zagadnieniem słabo poznanym. Spowodowane jest to wieloma czynnikami, przede wszystkim specyficznymi warunkami, w jakich te formy mogą się w ogóle tworzyć, nie wspominając o trudności w przeprowadzaniu badań terenowych. Dotychczas badania tego rodzaju form w rzece o podłożu żwirowo-piaszczystym nie były prowadzone w naszym kraju, a w zagranicznych ośrodkach badawczych dopiero zaczyna się je wykonywać [Carling i in. 2005, 2006]. W literaturze znane są obecnie dość dobrze prace dotyczące form dennych w rzekach o dnie piaszkowym: Gładki [1976], Pruszek [1998], Dąbkowski [1989], Simons i Richardson [1966], Allen [1968], Ashley [1990] oraz Carling [1999], Carling i in. [2000]. Zaznacza się więc niedosyt opracowań dotyczących tematyki żwirowych form dennych powstałych na dnie zbudowanym z mieszaniny piasku i żwiru (gdzie średnica ziaren materiału przekracza wielkości 2 mm), a procesy, w wyniku których powstają są nadal słabo poznane. W Polsce badania terenowe obejmujące formy żwirowo-piaszczyste podjęto w roku 2002 [Radecki-Pawlik i in. 2005, 2006, Słowik-Opoka i Radecki-Pawlik 2007]. Objęły one ujściowy odcinek rzeki Raby w rejonie miejscowości Uście Solne. Te właśnie struktury stały się przedmiotem opisu w niniejszej pracy.

## CEL I ZAKRES PRACY

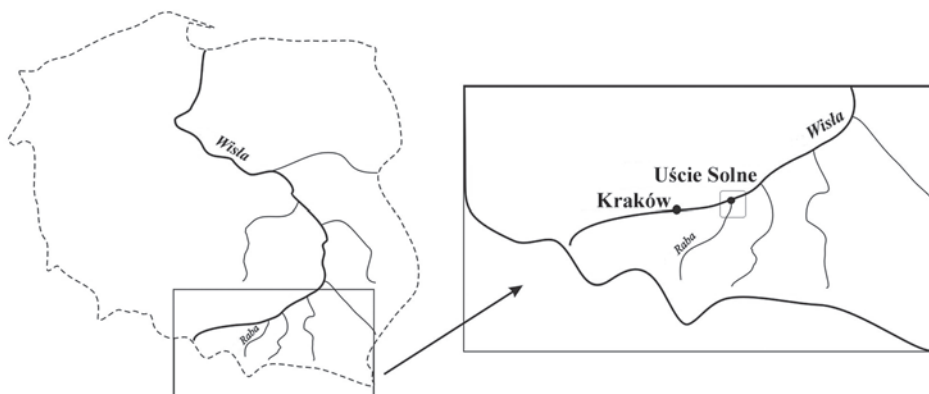
W opracowaniu przedstawiono opis zjawisk towarzyszących tworzeniu się i przemieszczaniu żwirowych form dennych. Obserwacja tych procesów, ich badanie i analiza mają za zadanie określenie warunków transportowanego rumowiska, z którego formy denne są zbudowane. Istotne jest również zagadnienie charakteru występującego ruchu, dlatego artykuł przedstawia także podstawy zjawisk fizycznych towarzyszących transportowi rumowiska wleczonego w dnie cieków. W związku ze znacznym zróżnicowaniem w budowie form dennych należy spodziewać się różnych procesów związanych z ich tworzeniem i przemieszczaniem. W formach tego typu obserwuje się zarówno zróżnicowaną budowę uwarstwową, jak i takie rozkłady uziarnienia dennego, w których te warstwy nie zostały jednoznacznie wyodrębnione. W badaniach wykorzystano metodę mrożenia wglębnego próbek materiału dennego, która umożliwia pobór prób w stanie nienaruszonym, co zapewnia reprezentacyjność i możliwość porównywania wyników pomiarów. Przedstawiono również parametry graniczne obserwowanego uziarnienia form dennych reprezentowane przez krzywe uziarnienia w różnych warunkach oraz z uwzględnieniem ich zmian w układzie uwarstwowym.

Badania zjawisk związanych z przemieszczaniem się piaszczysto-żwirowych form dennych mają fundamentalne znaczenie dla określenia warunków stabilności koryta, zmian w układzie podłużnym i poprzecznym oraz jego morfologicznej budowy jako całości.

## OPIS ODCINKA BADAWCZEGO

Odcinek rzeki, na którym przeprowadzono pomiary terenowe formacji dennych żwirowo-piaszczystych o różnej postaci, położony jest w ujściowej części rzeki Raby, w miejscu jej połączenia z rzeką Wisłą, na wysokości 180 m n.p.m. i rozciąga się na długości 200 m. Średni spadek badanego odcinka rzeki wynosi 1,98%. Koryto rzeki ma średnią szerokość 45 m. W okresie przeprowadzania pomiarów terenowych średnie napętnienie wodą w korycie wynosiło 0,5 m. Przepływ średni roczny obliczony według wzoru Krzanowskiego [1972] wynosi  $20,86 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , a przepływ średni niski  $2,71 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Obszar badań położony jest w obrębie dorzecza, które w tym miejscu jest wyjątkowo wąskie (o średniej szerokości nie przekraczającej 3 km). Na całym odcinku objętym badaniami zaznacza się zróżnicowanie w budowie granulometrycznej dna. Występują tu zarówno żwiry, jak i piaski (ryc. 1).



Ryc. 1. Położenie odcinka badawczego – rzeka Raba

Fig. 1. Research region – the Raba River

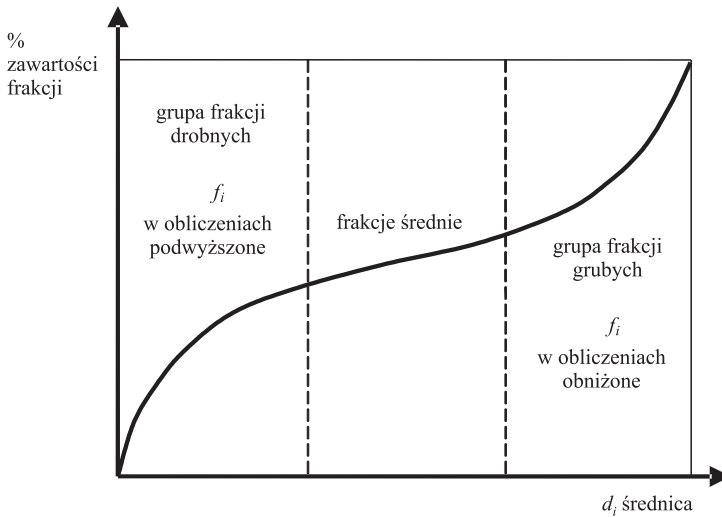
Na badanym odcinku nurt główny położony był naprzemienne wzdłuż lewego i prawego brzegu, występowały łachy, przegłębienia, płycizny oraz można było wyróżnić sekwencje bystrze-płoso, brzegi wysokie (4–6 m), strome, porośnięte krzewami i trawą. Na odcinkach bez roślinności zauważono obrywanie się brzegów. W dnie koryta Raby nie zauważono występowania roślinności. W korycie widoczne są łachy i odsypiska materiału dennego, których wysokość dochodzi do 1,1 m [Florek i in. 2007].

Opisane w pracy zgrupowania wydm żwirowo-piaszczystych zaobserwowane zostały na dnie ujściowego odcinka rzeki Raby [Radecki-Pawlik i in. 2005].

## ZJAWISKO RUCHU RUMOWISKA DENNEGO

Materiał różnoziarnisty występujący w dnie rzek i potoków górskich oraz pogórzka podlega siłom wywołującym jego ruch w warstwie przydennej. Siły oddziałujące na ziarno w dnie zależą od jego rozmiaru i rosną liniowo ze wzrostem powierzchni

kamienia, natomiast siły tarcia utrzymujące materiał na dnie, czyli przeciwdziałające jego wchodzeniu do transportu, zależą od masy ziarna, to jest od rozmiaru kamienia w trzeciej potęgze oraz liniowo od ciężaru objętościowego [Bartnik i in. 2009]. Przy założeniu, że ciężar objętościowy ziarna w dnie przyjmuje wartości zbliżone do siebie, dominującym czynnikiem określającym czy dany kamień zostanie uruchomiony, czy pozostanie na dnie, jest zależność stosunku powierzchni do ciężaru ziarna zanurzonego. Ponieważ wartość ta maleje wraz ze wzrostem rozmiaru ziarna, to im większa średnica ziarna, tym później zostanie ono uruchomione. Jest to niepełny opis zjawiska, ponieważ materiał w dnie nie jest jednorodny. Wyniki pomiarów w terenie wskazują odchylenia od opisanego mechanizmu transportu rumowiska. Okazuje się, że w rzeczywistości materiał różnoziarnisty na dnie wykazuje tendencję do selektywnego wchodzenia do ruchu, co powoduje wytworzenie się krzywej uziarnienia obrazującej masowe procentowe zawartości frakcji z nadmierną ilością drobnych frakcji i znacznym ubytkiem frakcji o średnich rozmiarach (ryc. 2).



Ryc. 2. Krzywa granulometryczna – schemat

Fig. 2. Granulometric curve – scheme

Przyczyną takiego składu uziarnienia w dnie jest zjawisko pozostawiania właśnie tych najdrobniejszych frakcji, które jako pierwsze, wedle przyjętych wcześniej rozważań, powinny zostać uruchomione. Drobne frakcje, będące częścią składową uziarnienia dennego, gdzie występują również znacznie grubsze kamienie, pozostają w dnie, ponieważ znajdują się w takim położeniu, że aby mogły zostać uruchomione największe ziarna, musiałyby również zostać wprowadzone w ruch. Jak długo naprężenia graniczne dla tych grubszych frakcji nie zostaną przekroczone w dnie, pozostaje również pewna część frakcji drobnych. Frakcje średnie, których naprężenia graniczne zostały przekroczone, mogą zostać uruchomione, a to, czy tak się stanie, zależy tylko od ich ekspozycji w dnie. W każdym konkretnym przypadku nie można więc mówić o ściśle określonej

zależności pomiędzy rozmiarem i masą ziarna czy też masową zawartością w całej krzywej uziarnienia, a jedynie o pewnym określonym prawdopodobieństwie uruchomienia bądź nie ruszenia się ziarna. Przydatne parametry opisujące ziarno w dnie to średnice charakterystyczne o określonej zawartości wraz z mniejszymi  $d_i$ , maksymalna średnica ziarna  $d_{\max}$ , średnica miarodajna  $d_m$ . Znacznie dokładniejszy opis mechanizmu transportu rumowiska wlezonego uwzględnia więc zarówno rozmiary frakcji, jak i ich zawartość procentową w próbie, oraz wartości bezwymiarowych naprężeń ścinających grupy frakcji drobnych  $f_1$  i grubych  $f_2$  ustalane również na podstawie ich zawartości w całej krzywej.

Podstawowa formuła określająca transport rumowiska wlezonego MPM z wprowadzeniem zmiennych naprężeń granicznych według Wanga w funkcji odchylenia standardowego krzywej przesiewu i skorygowana o poprawki dla warunków Podkarpacia poprzez badania radioznacznikowe przybiera postać [Bartnik 1992; Bartnik i in. 2009]:

$$g_i = \left( \frac{gh_i I - f_i g \Delta \rho_s d_i}{0,25 \rho^{0,33}} \right)^{1,5} \Delta p_i b_i \quad (1)$$

gdzie:

- $\rho$  – gęstość rumowiska,  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,
- $g$  – przyspieszenie ziemskie,  $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ,
- $h_i$  – napelnienie, m,
- $I$  – spadek hydrauliczny, –,
- $f_i$  – bezwymiarowe naprężenia ścinające frakcji i, –,
- $d_i$  – średnica i-tej frakcji, m,
- $p_i$  – prawdopodobieństwo nie ruszenia się frakcji,
- $b_i$  – szerokość pasa wleczenia, m.

Wartość naprężeń bezwymiarowych i prawdopodobieństwa ich nieruszenia się w dnie może być ustalana z uwzględnieniem stosunku ich rozmiaru do rozmiaru średnicy miarodajnej:

$$\text{dla } d_i / d_m < 0,6 : \varepsilon_i = 0,0398^{0,26} / f_i = 1,786 (d_i / d_m)^{0,95}$$

$$\text{dla } d_i / d_m > 0,6 : \varepsilon_i = 0,0288^{0,26} / f_i = (d_i / d_m)^{0,314}$$

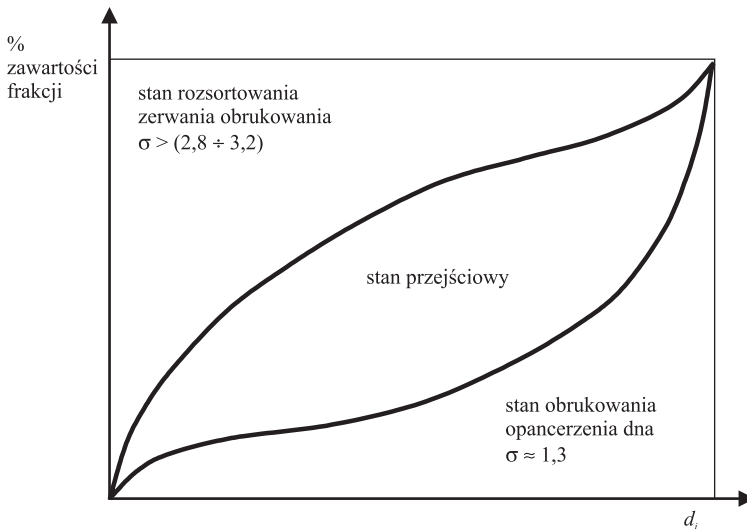
W przedstawionym opracowaniu konieczne więc będzie określenie aktualnego stanu, w jakim znajduje się uziarnienie opisywanych form dennych z uwzględnieniem ich zmian w uwarstwieniu, by móc odtworzyć przebieg procesów, jakim były poddane:

Odchylenie standardowe krzywej przesiewu można liczyć:

$$\sigma = \sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}} \quad (2)$$

W zasadzie każda z metod określania odchylenia standardowego krzywej uziarnienia może być przydatna do analizy, ważne jest jedynie, by przyjęta formuła uwzględ-

niała zróżnicowanie w obszarze obejmującym frakcje drobne i grube zgodnie z wcześniejszym opisem zjawiska (ryc. 3). Można ustalić więcej niż dwie średnice charakterystyczne, a następnie podjąć próbę głębszej analizy zjawiska tworzenia się stanu istniejącego, jednak im większy stopień komplikacji analizy, tym większa potrzebna ilość próbek pomiarowych i tym mniej wiarygodny opis zjawisk prowadzących do powstania istniejącego stanu uziarnienia. Przyjęcie granicy pomiędzy stanem obrukowania i rozsortowania materiału dennego pozwala na interpretację zmian krzywych uziarnienia na następujących zasadach: jeśli odchylenie standardowe wynosi około 2,8–3,2, możemy mówić o rozsortowaniu, to jest wymieszaniu materiału grubszego z pokrywy dna z materiałem drobniejszym z podłoża, jeśli odchylenie standardowe wynosi około 1,3, można stwierdzić, że materiał denny osiągnął stan pełnego obrukowania, co oznacza również, że w procesie transportu materiału wleczonego drobne i średnie frakcje uległy przemieszczeniu, a pozostały prawie wyłącznie najgrubsze frakcje. Oczywiście są to założenia teoretyczne i w praktyce może się zdarzyć tak, że jedynie zmiany polegające na silniejszym wymyciu – wypłukaniu drobniejszych frakcji lub odwrotnie, to jest przyrost ilości drobnych i średnich frakcji – będą jedynym wskaźnikiem zachodzących zjawisk, jednakże bez osiągnięcia ewidentnie rozpoznawalnego stanu końcowego.



Ryc. 3. Krzywa uziarnienia jako forma graficznej prezentacji stanu obrukowania dna  
Fig. 3. Grain-size distribution curves – graphic presentation of armoured layer

## METODYKA

Oprócz pomiarów geometrycznych koryta ciekłu i obserwowanych form dennych wykonano badania związane z określeniem składu granulometrycznego metodą poboru próby w stanie nienaruszonym.

## Pobór rumowiska

Klasyczne podejście do badania materiału dennego z koryta rzeki polega na pobraniu próby uziarnienia dennego z warstwy o miąższości reprezentatywnej, charakterystycznej dla badanego koryta i zależnej zwykle od zasięgu oddziaływania procesów transportu rumowiska dennego, wyrażonej poprzez średnicę charakterystyczną z pobranej próby, zwykle  $d_{max}$ ,  $d_m$ , czy  $d_{50}$ . W odniesieniu do materiału piaszczysto-żwirowego istotne znaczenie mają parametry utworzonej jednolitej warstwy materiału, która powstała pod wpływem dominujących warunków ruchu wody. Tak pobrana próba podzielona na frakcje, ważona, pozwala na uzyskanie wyników masowej objętościowej względnej zawartości frakcji wyrażonej krzywą sumową. Jednakże w odniesieniu do materiału tworzącego formy korytowe istotną przeszkodą w poborze reprezentatywnej próby jest brak spistości materiału i ciągły ruch wody uniemożliwiający praktycznie pobranie materiału o parametrach odpowiadających warunkom, w których próba uległa utworzeniu. Aby uzyskać wartościowe wyniki pomiarów i analizy przesiewu, należy w tym przypadku zastosować metodę *in-situ*, polegającą na mrożeniu materiału przed jego pobraniem. W tym celu sonda zostaje wprowadzona na głębokość około 50 cm w dno, po czym przy użyciu wprowadzonego w nią płynnego azotu szybko schłodzona, w wyniku czego dochodzi do przymarznięcia wody i rumowiska, które po wydobyciu zachowuje naturalny układ uwarstwienia. Przy użyciu skrzynki z przegrodami odmarzający materiał zostaje podzielony na warstwy, co umożliwia jego późniejszą analizę z uwzględnieniem warunków powstawania (ryc. 4).



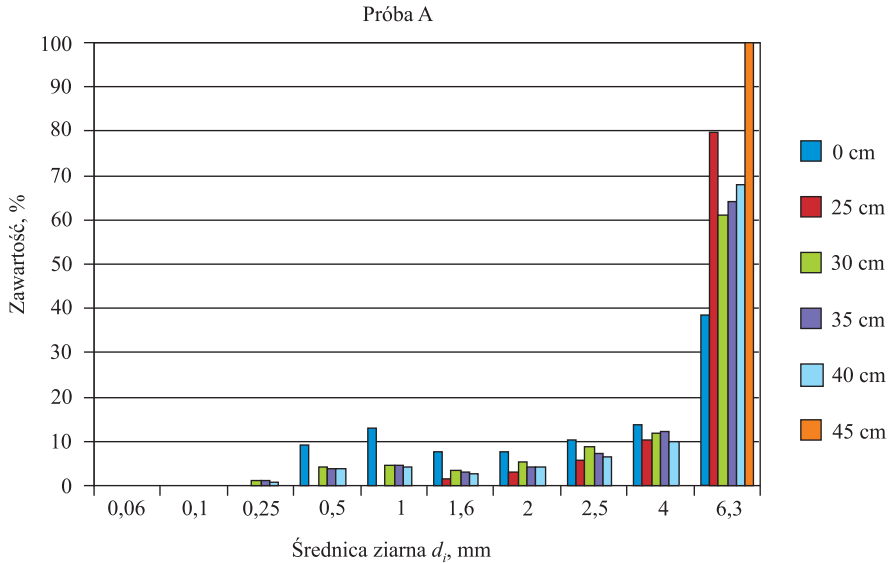
Ryc. 4. Zamrożona próba rumowiska, rzeka Raba, km 0+560, lipiec 2005 [Florek i in. 2007]

Fig. 4. Freezed sample of the bed material, Raba River, km 0+560, July 2005 [Florek i in. 2007]

## WYNIKI WRAZ Z DYSKUSJA

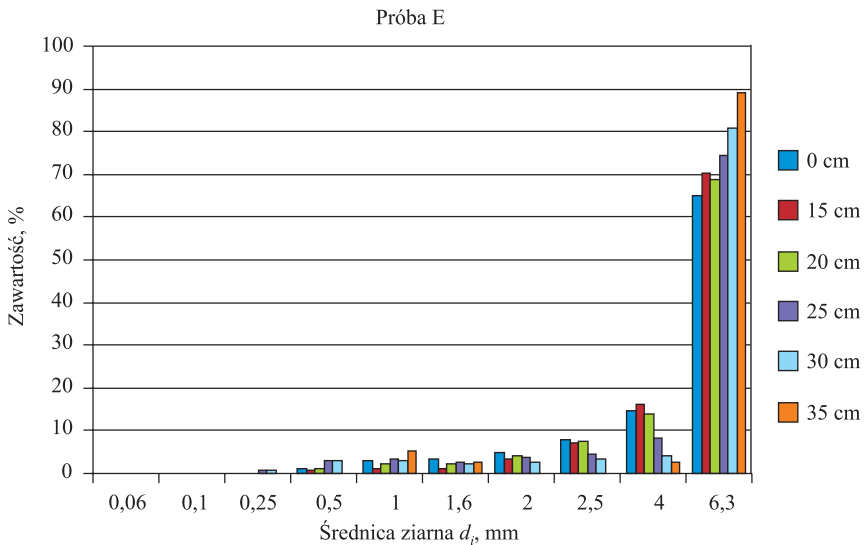
Typowa forma denną żwirowa na badanym odcinku Raby zbudowana jest z materiału wizualnie zbliżonego do reszty pokrywy dna, a jej kształt przypomina półksiężyc wklęsłą częścią ustawiony pod prąd ciekłu. Wysokość formy tego typu może sięgać od kilkunastu do

kilkudziesięciu cm, w związku z czym można spodziewać się jej lokalnego oddziaływania na przepływ; mniejsze formy nie są zwykle rozpoznawalne. Jeśli przyjrzeć się materiałowi dennemu poszczególnych prób, można zauważyć, że nie ma istotnych, różnicujących się cech w składzie granulometrycznym dla poszczególnych punktów poboru prób.



Ryc. 5. Skład granulometryczny z próby *in-situ* w próbie A

Fig. 5. Granulometric composition obtained from the freezed sample in probe A

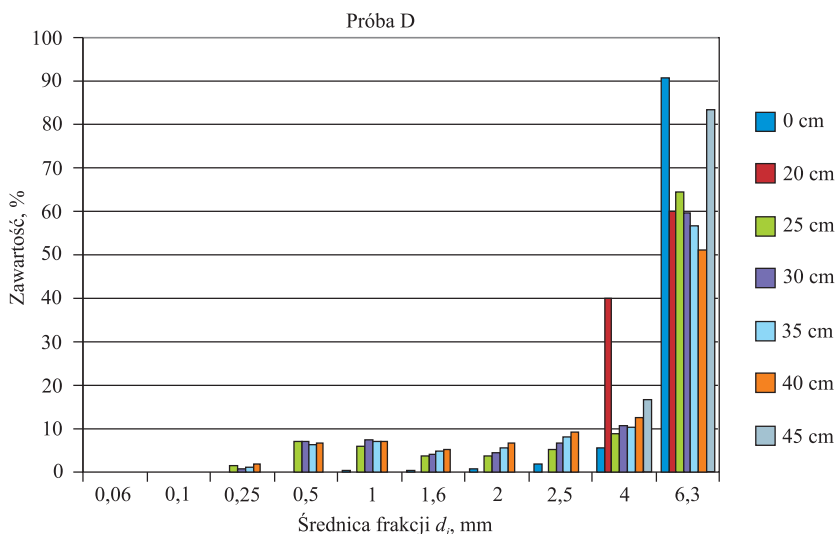


Ryc. 6. Skład granulometryczny z próby *in-situ* w próbie E

Fig. 6. Granulometric composition obtained from the freezed sample in probe E

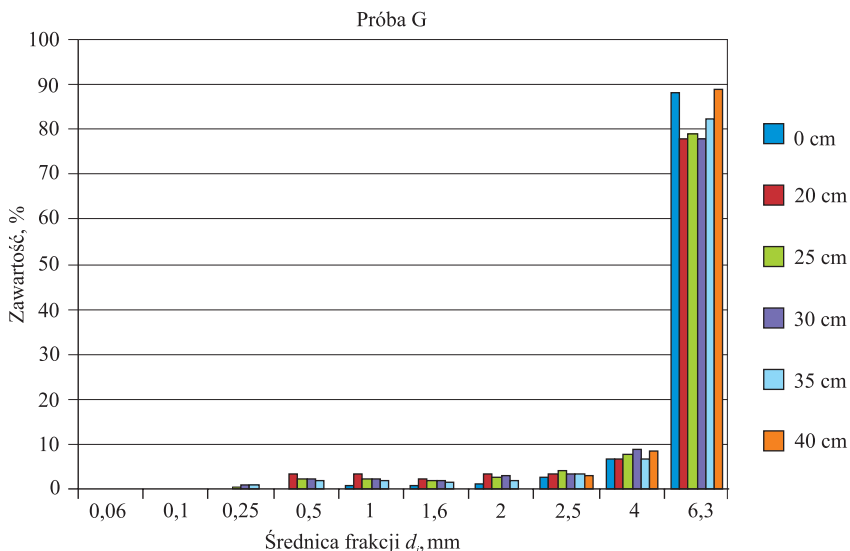


Próbki A i E (ryc. 5 i 6) przedstawiają warunki panujące przed przemieszczeniem się po dnie formy dennej. Są to więc próbki odzwierciedlające skład podłoża, po którym przemieszczać się będzie forma. Również lokalizacje po przejściu formy (D i G) (ryc. 7 i 8) nie odznaczają się szczególnymi cechami wyróżniającymi je od innych miejsc poboru prób. Nie można więc powiedzieć, że w tym konkretnym przypadku przejście formy zaowocowało zmianą składu granulometrycznego podłoża (ryc. 7 i 8)



Ryc. 7. Skład granulometryczny z próby *in-situ* w próbce D

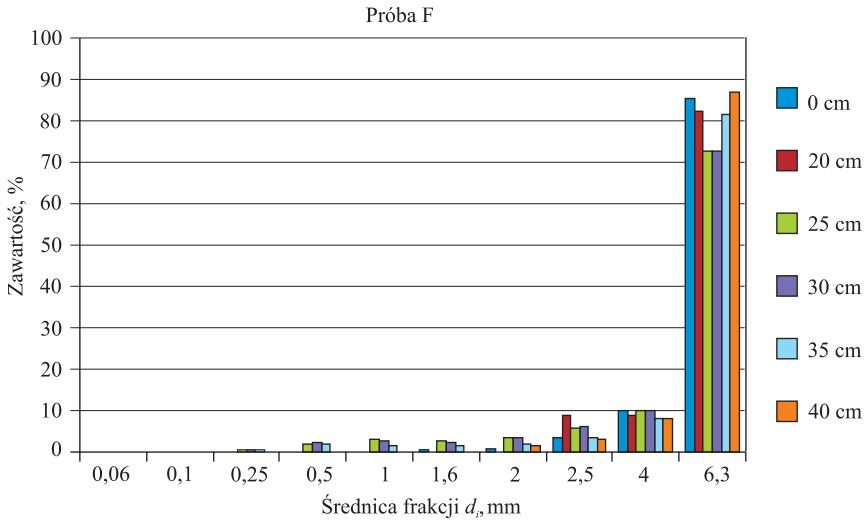
Fig. 7. Granulometric composition obtained from the frozen sample in probe D



Ryc. 8. Skład granulometryczny z próby *in-situ* w próbce G

Fig. 8. Granulometric composition obtained from the frozen sample in probe G

Również skład granulometryczny pobrany z próby położonej dokładnie w centralnej części migrującej formy dennej (F) nie wykazuje ważnych różnic (ryc. 9).



Ryc. 9. Skład granulometryczny z próby *in-situ* w próbie F

Fig. 9. Granulometric composition obtained from the freeze sample in probe F

Tabela 1. Zestawienie krytycznych parametrów ruchu dna

Table 1. Critical parameters listing of riverbed movement

Średnica ziarna Grain diameter	Napełnienie graniczne Critical depth	Napełnienie rzeczywiste Observed depth
$d_{\max} = 33 \text{ mm}$	1,02–0,98 m	0,1–0,7 m
$d_m = 5 \text{ mm}$ liczone bez $d_{\max}$ – calculated without $d_{\max}$	0,15 m	$h = 0,23 \text{ m}$ przed formą – before the form $h = 0,2 \text{ m}$ za formą – after the form $h = 0,1 \text{ m}$ nad formą – over the form
$d_m \text{ min.} - \text{min.}$	0,18 m	
$d_m \text{ maks.} - \text{max.}$	0,3 m	–

## WNIOSKI

Ilości materiału, jaki udało się pobrać wraz z próbą, zależą od intensywności filtracji wody w wolnych przestrzeniach pomiędzy materiałem pobieranym. Zarówno próbki pobrane z obszaru poza formą, jak i w jej obszarze posiadają warstwy o filtracji wystarczająco silnej, by uniemożliwić pobór, stąd w wynikach brakujące warstwy.

Skoro jednak nie ma większych różnic, niezależnie od położenia punktów poboru, i wszędzie obserwujemy podobne wyniki pomiarów próbek, to można wysnuć wniosek, że ruch dennych form zwirowych na odcinku ujściowym Raby nie powoduje sortowania materiału dennego, a więc zmian jego składu granulometrycznego. Dni pomiarów charakteryzowały się niskimi stanami wody. Formy przemieszczają się więc nieustannie. Można zatem powiedzieć, że materiał, z którego zbudowane są formy denne, to jednocześnie ten sam materiał, z którego zbudowane jest dno ciekłu. Jest on nieustannie transportowany, a formy denne są przejawem nieregularności ruchu wody i budowy dna. Charakter ruchu i tempo przemieszczania się form (przechodzą one w ciągu kilku godzin) jest zależny od wielkości przepływu i materiału podłoża. Warunki ruchu, spadek, rozmiary koryta i wynikająca z nich prędkość, znacznie przekraczają wartości, dla których wyznaczyć można początek ruchu.

Największe odnotowane w próbkach frakcje nie przekraczały średnicy 33 mm (tabela 1) i w warunkach panujących na badanym odcinku oznaczałoby to napelnienie, przy którym można spodziewać się ruchu masowego, wynoszącego niemal 1 m. W rzeczywistości dominującą ilością (od 50% do 90%) frakcje są znacznie mniejsze (6,3 mm). Opierając się na średnicy miarodajnej, wynoszącej około 5 mm, ruch rumowiska powinien nastąpić już przy 15 cm napelnienia. Takie zestawienie wartości oznacza, że na ujściowym odcinku Raby, pomimo tworzenia się form dennych, które nieustannie pozostają w ruchu, największe frakcje mogłyby brać udział w ruchu tylko przy wezbraniach, co jest cechą charakterystyczną dla cieków o charakterze górskim z materiałem gruboziarnistym. Gdyby taki był właśnie czynnik ograniczający skład granulometryczny, odnotowane powinny być znacznie większe zawartości najgrubszych frakcji jako tych, które w ruchu nie uczestniczą i pozostają na dnie. Skoro ich ilość jest jednak ograniczona, oznacza to, że ich bezwymiarowe naprężenia graniczne początku ruchu, ze względu na małe ilości wszystkich innych frakcji, są zanizone i ruch frakcji większych jest znacznie ułatwiony. Do wyjaśnienia pozostają mniejsze różnice pomiędzy zawartościami poszczególnych prób, pobranych z różnych miejsc formy, a jej otoczeniem. Przy opisanym składzie granulometrycznym prób należy liczyć się również z zawyżonymi naprężeniami początku ruchu frakcji drobnych. Jednak nawet wówczas, w odniesieniu do średnicy miarodajnej, różnice napelnienia w cieku potrzebne do przemieszczania materiału dają zakres od 18 do 30 cm, co jest wartością mniejszą niż różnice, jakie tworzą się przy przejściu formy dennej. Obserwowana w pomiarach wysokość form przekraczała 13 cm. Jak widać rozmiary form są wystarczające do wywołania odnotowanych zmian w wartościach średnich pobranego uziarnienia, ponieważ zakres ich wymiarów jest wyższy od granicznych wartości napelnienia, wyznaczającego granicę pomiędzy ruchem a spoczynkiem materiału dennego.

## PIŚMIENNICTWO

- Allen, J.R. (1968). Current ripples. Their relation to patterns of water and sediment motion. North-Holland Publ. Co., Amsterdam.
- Ashley, G. (1990). Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at the old problem. *J. Sedim. Petrol.*, 60, 160–172.
- Bartnik, W. (1992). Hydraulika potoków z dnem ruchomym. Początek ruchu rumowiska. *Zesz. Nauk. AR Krak.*, Rozprawa Hab. 171, 61–67.

- Bartnik, W., Bonenberg, J., Florek, J. (2009). Wpływ utraty naturalnej retencji zlewni na charakterystykę morfologiczną zlewni i ciek. *Infrastr. Ekol. Ter. Wiejs.*, 2.
- Carling, P.A. (1999). Subaqueous gravel dunes. *J. Sed. Res.*, 69(3), 534–545.
- Carling, P.A., Gölz, E., Orr, H.G., Radecki-Pawlik, A. (2000). The morphodynamics of fluvial sand dunes in the River Rhine near Mainz, Germany. I. Sedimentology and morphology. *Sedimentology*, 47, 227–252.
- Carling, P.A., Radecki-Pawlik, A., Williams, J.J., Rumble, B., Meshkova, L., Bell, P., Breakspear, R. (2005). The morphodynamics and internal structure of intertidal fine-gravel dunes: Hill Flats, Severn Estuary, UK. *Sedimentary Geology*, 21.
- Carling, P.A., Radecki-Pawlik, A., Williams, J.J., Rumble, B., Meshkova, L., Bell, P., Breakspear, R. (2006). The morphodynamics and internal structure of intertidal fine-gravel dunes: Hill Flats, Severn Estuary, UK. *Sedimentary Geology*, 183, 159–179.
- Dąbkowski, L. (1989). Analiza oporów ruchu i kształtowania się średnich głębokości strumieni w korytach rzek o dnie piaszczystym. *Rozprawy Naukowe i Monografie*, 97. Wydawnictwo SGGW–AR, Warszawa.
- Florek, J., Książek, L., Radecki-Pawlik, A., Świdarska, A. (2007). Zmiany morfologiczne oraz granulometryczne w rejonie ujściowego odcinka rzeki Raby. *Infrastr. Ekol. Ter. Wiejs.*, 1, 41–51.
- Gładki, H. (1976). Opory i prędkość przepływu w korytach rzek górskich na przykładzie Karpackich dopływów Wisły. *Zesz. Nauk. AR Krak.*, *Rozprawa Hab.*, 118.
- Krzanowski, S. (1972). Przestrzenna zmienność odpływu średniego (spływu jednostkowego) na obszarze Karpat polskich. *Praca doktorska, maszynopis*.
- Pruszek, Z. (1998). *Dynamika brzegu i dna morskiego*. Instytut Budownictwa Wodnego PAN w Gdańsku, Gdańsk.
- Radecki-Pawlik, A., Carling, P.A., Słowik-Opoka, E., Breakspear, R. (2005). Badania terenowe form zwirowo-piaszczystych w rzece o charakterze podgórskim. *Infrastr. Ekol. Ter. Wiejs.*, 4, 119–133.
- Radecki-Pawlik, A., Carling, P., Słowik-Opoka, E., Książek, L., Breakspear, R. (2006). Field investigations of sand-gravel bed forms within the Raba river, Poland. [W:] *River Flow Monograph*. Ed. R.M.L. Ferreira, E.C.T.L. Alves, J.G.A.B. Leal, A.H. Cardoso. Engineering, Water and Earth Science, AABALKEMA Taylor & Francis Group, Rotterdam, t. 1, 979–985.
- Simons, D.B., Richardson, E.V. (1966). Resistance to flow in alluvial channels. *U.S. Geol. Surv. Profess. Papers* 422-J, 1–61.
- Słowik-Opoka, E., Radecki-Pawlik, A. (2007). Badania morfometryczne wydm piaszczystych o prostej linii szczytu zaobserwowanych na dnie ujściowego odcinka rzeki Raby. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 6(1), 43–54.

## ANALYSIS OF CHOSEN PROCESSES AND PHENOMENONS OF CREATION AND DISSIPATION OF BEDFORMS IN THE SAND-GRAVEL RIVER

**Abstract.** The paper presents investigation results considering morphological changes and sieve curves modifications within the outlet of upland sand-gravel Raba River. Great intensity of the processes forming the bed of Raba River in this place are the key to preserve the natural mechanism of dynamical continuity and natural character in the face of general river training and use of both the Raba and Wisla Rivers.

Field survey consisted from measurement of geometrical parameters for a main channel it's bed forms, granulometry of the surface and sub-pavement, combination of riffles and pools. From this analysis the character of dynamic processes modifying river while the bed-load transport continues can be described.

The samples of riverbed material were taken using *in-situ* method to obtain the layered structure of the dunes and the sub-surfaced granulometric composition. The local dynamic of the Raba channel leads to the erosion and lowering of the bed level and on some of the locations on accumulation and changes in local thalweg moving it between the banks.

The granulometric composition analysis was used to describe the influence of raised water stages on the riverbed and to interpret the main mechanisms determining changes in granulometry and the movement of bedforms. Estimating the dynamic hydraulical values in cross-section was used to list the limitations of the movement of bed forms.

The calculations proved critical depth for the bedload movement in the surroundings of the bed form 15 cm but the water depth over and around the form varying from 10 cm to 23 cm making thereby the form as the key element determining the limits between movement and sedimentation of riverbed material.

**Key words:** upland river, bed forms, granulometry

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 10.06.2015*

Do cytowań – For citation: Florek J., Radecki-Pawlik A., Plesiński K. (2015). Analiza wybranych procesów i zjawisk podczas powstawania i dyssypacji wydm żwirowo-piaskowych na dnie rzeki podgórskiej. Acta Sci. Pol., *Formatio Circumiectus*, 14 (1), 29–41.