

# Cechy teksturalne osadów korytowych Wilgi (Polska Południowa) jako odzwierciedlenie zróżnicowania struktury koryta i źródeł dostawy materiału do systemu fluwialnego

Textural features of bed material of the Wilga River as a reflection of the channel structure diversity and sources of material supply to the fluvial system

Agata Gołąb , Dawid Piątek , Anna Michno 

Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, Kraków, agata.golab@doctoral.uj.edu.pl

Zarys treści: Wykształcenie i funkcjonowanie koryt rzecznych uwarunkowane jest cechami środowiska przyrodniczego zlewni oraz antropopresją. Uwarunkowania te mają zasadnicze znaczenie w kształtowaniu cech osadów aluwialnych. Głównym celem badań było poznanie zróżnicowania cech teksturalnych współczesnych osadów korytowych Wilgi w nawiązaniu do zróżnicowania struktury jej koryta oraz źródeł dostawy materiału do systemu fluwialnego. Scharakteryzowano strukturę koryta Wilgi ze szczególnym uwzględnieniem rozmieszczenia i cech form akumulacyjnych oraz erozyjnych. Na czterech stanowiskach badawczych, powiązanych z różnymi źródłami dostawy, określono uziarnienie osadów korytowych, ich skład petrograficzny i stopień obróbki. Uzyskane wyniki pokazały zróżnicowanie źródeł dostawy materiału wzdłuż profilu podłużnego koryta. W pogórskim odcinku źródłami dostawy są podcięcia erozji bocznej oraz progi w dnie koryta. Materiał aluwialny w korycie jest ostrokrawędzisty i grubofrakcyjny. W niższej położonej części zlewni, do koryta dostarczany jest materiał drobnodziarnisty budujący szerokie, płaskie dno doliny. Stwierdzono również, że wzdłuż profilu podłużnego koryta największym zmianom ulega uziarnienie oraz stopień obróbki materiału, w mniejszym stopniu skład petrograficzny.

Słowa kluczowe: struktura koryta, źródła dostawy, tekstura osadów korytowych, Wilga

**Abstract:** The structure and functioning of river bed are conditioned by the natural environment and human activity. These conditions significantly affect the texture of the channel material. The main aim of the research was to study the texture of bed material and their variability in the present-day alluvium in the channel of Wilga River. The structure of the Wilga River bed was described. The main focus was on the distribution and location of accumulation and erosion forms. On four study sites, related to sediment sources, grain size distributions, petrographic composition, and degree of rounding were analysed. The obtained results show how the sources of material differ in the longitudinal profile. In the foothills sources are connected with lateral erosion and occurrence of channel steps. The alluvial material is angular and has a larger grain size. In lower part of the catchment, bed material is fine and builds a wide, flat valley floor. Research shows that the biggest changes in the longitudinal profile are connected with grain size and degree of rounding and to a lesser extent in the petrographic composition.

**Key words:** structure of the river bed, sediment sources, texture of alluvial sediments, Wilga River

## Wprowadzenie

Zróżnicowanie wykształcenia koryt rzecznych uwarunkowane jest cechami środowiska przyrodniczego zlewni, takimi jak np. budowa geologiczna i rzeźba terenu oraz działalnością człowieka, prowadzoną bezpośrednio w korycie i dnie doliny, jak i na obsza-

rze całej zlewni (Krzemień 2012). W ostatnich około 150 latach obserwujemy gwałtowny wzrost antropopresji wpływającej na przekształcenie koryt rzecznych (Korpak i in. 2008), głównie w wyniku zmian użytkowania terenu zlewni (Klimek 1987, Wyźga 1993, Rinaldi, Simon 1998, Kondolf i in. 2002, Liebault, Piégay 2002, Korpak 2007a, Woodbridge i in.

2016, Kijowska-Strugała i in. 2018, Bucała-Hrabia 2018) oraz regulacji koryt (Trafas 1975, Łajczak i in. 2006, Korpak 2007b, Latocha 2008, Zawiejska, Wyżga 2008, Heyvaert i in. 2012, Bucała 2014, Zawiejska i in. 2015, Gorczyca 2016, Migoń, Latocha, 2018). Rodzaj oraz intensywność procesów fluwialnych zmienia się wraz z biegiem rzeki, co wynika zarówno z uwarunkowań naturalnych, jak również stopnia ingerencji człowieka w koryto i środowisko przyrodnicze zlewni. Struktura koryta oraz cechy kopalnych i współczesnych osadów aluwialnych stanowią zatem zapis uwarunkowań oraz dynamiki procesów kształtujących system fluwialny.

Istotne znaczenie dla funkcjonowania systemu fluwialnego, a także dostawy materiału do koryta i kształtowania cech aluwiołów mogą mieć cyklicznie powtarzające się wezbrania (roztopowe, opadowe) lub pojedynczy impuls zdarzenia ekstremalnego (ulewa) (np. Malarz 2002). Pomimo różnej dynamiki procesów fluwialnych występujących podczas zdarzeń ekstremalnych, w porównaniu do warunków przeciętnych panujących w korycie, ich skutkiem są również znaczne przekształcenia form akumulacyjnych oraz erozyjnych w korycie (Owczarek 2007). Najbardziej charakterystycznymi formami akumulacyjnymi są łachy korytowe. Mają one nietrwałą strukturę, jednak stanowią ważny element morfologii koryta informujący o jego funkcjonowaniu w warunkach przeciętnych przepływów oraz w okresach wezbraniowych. Natomiast z form erozyjnych (progi, podcięcia erozji bocznej), szczególnie w korytach obszarów górskich i wyżynnych, dostarczany może być materiał do systemu fluwialnego.

Wykształcenie aluwiołów korytowych, a więc ich cechy teksturalne oraz struktura jest pochodną środowiska w jakim dane ziarno było transportowane, a następnie deponowane (Giriati i in. 2007, Wyżga 2012). Cechy te stanowią zatem jeden z najważniejszych elementów służących do poznania przestrzennego zróżnicowania dynamiki procesów fluwialnych. W pierwszej kolejności to długość transportu wpływa na zróżnicowanie frakcji osadów, a także stopień ich obtoczenia. Poznanie składu petrograficznego żwirów oraz ich uziarnienia pozwala na zidentyfikowanie obszarów alimentacji (Folk, Ward 1957, Rutkowski 2007).

Współczesne badania osadów korytowych w Polsce dotyczą: rzek w obszarach górskich (m.in. Malarz 2002, 2003, Krzemień 2003, Zawiejska 2005, Giriati i in. 2010, Gorczyca 2012, Urbaniak, Michno 2019) i wyżynnych (m.in. Michno 2004, 2013, Łapuszek, Lenar-Martys 2015), dużych rzek tranzytowych (m.in. Babiński 1992), lub koryt w obszarach nizinnych (m.in. Kaniecki 1976, Florek 1982, Zwoliński 1993). Koryta dużych oraz małych rzek, położone w różnych regionach fizyczno-geograficznych są znacznie zróżnicowane pod względem struktury morfodynamicz-

nej. Jest to związane przede wszystkim z budową geologiczną, rzeźbą terenu, warunkami klimatycznymi, reżimem hydrologicznym rzeki oraz użytkowaniem zlewni. Zróżnicowanie struktury koryt w ich profilach podłużnych wpływa na dynamikę transportu fluwialnego i warunki depozycji materiału, a tym samym na cechy teksturalne osadów korytowych.

Mimo licznych badań dotyczących wykształcenia współczesnych osadów fluwialnych zagadnienie to nadal pozostaje otwartym. Problematyka powiązania cech teksturalnych osadów korytowych i zróżnicowania środowiska przyrodniczego oraz stopnia antropopresji w zlewni jest wciąż słabo opracowana w przypadku niewielkich rzek, których zlewnie położone są w obrębie różnych regionów.

Celem badań było poznanie zróżnicowania cech teksturalnych współczesnych osadów korytowych Wilgi w nawiązaniu do zróżnicowania struktury jej koryta oraz źródeł dostawy materiału do systemu fluwialnego. Wilga jest dobrym przykładem do realizacji tak sformułowanego celu, ze względu na duże zróżnicowanie budowy geologicznej i energii rzeźby w zlewni, które wynika z jej położenia. W pracy sformułowane zostały również następujące cele szczegółowe:

1. poznanie struktury koryta Wilgi w profilu podłużnym wraz z charakterystyką form akumulacyjnych i erozyjnych,
2. określenie zróżnicowania źródeł dostawy materiału do systemu fluwialnego,
3. określenie prawidłowości zróżnicowania cech teksturalnych żwirów w profilu podłużnym koryta,
4. wskazanie uwarunkowań naturalnych oraz antropogenicznych zróżnicowania cech współczesnych osadów korytowych Wilgi

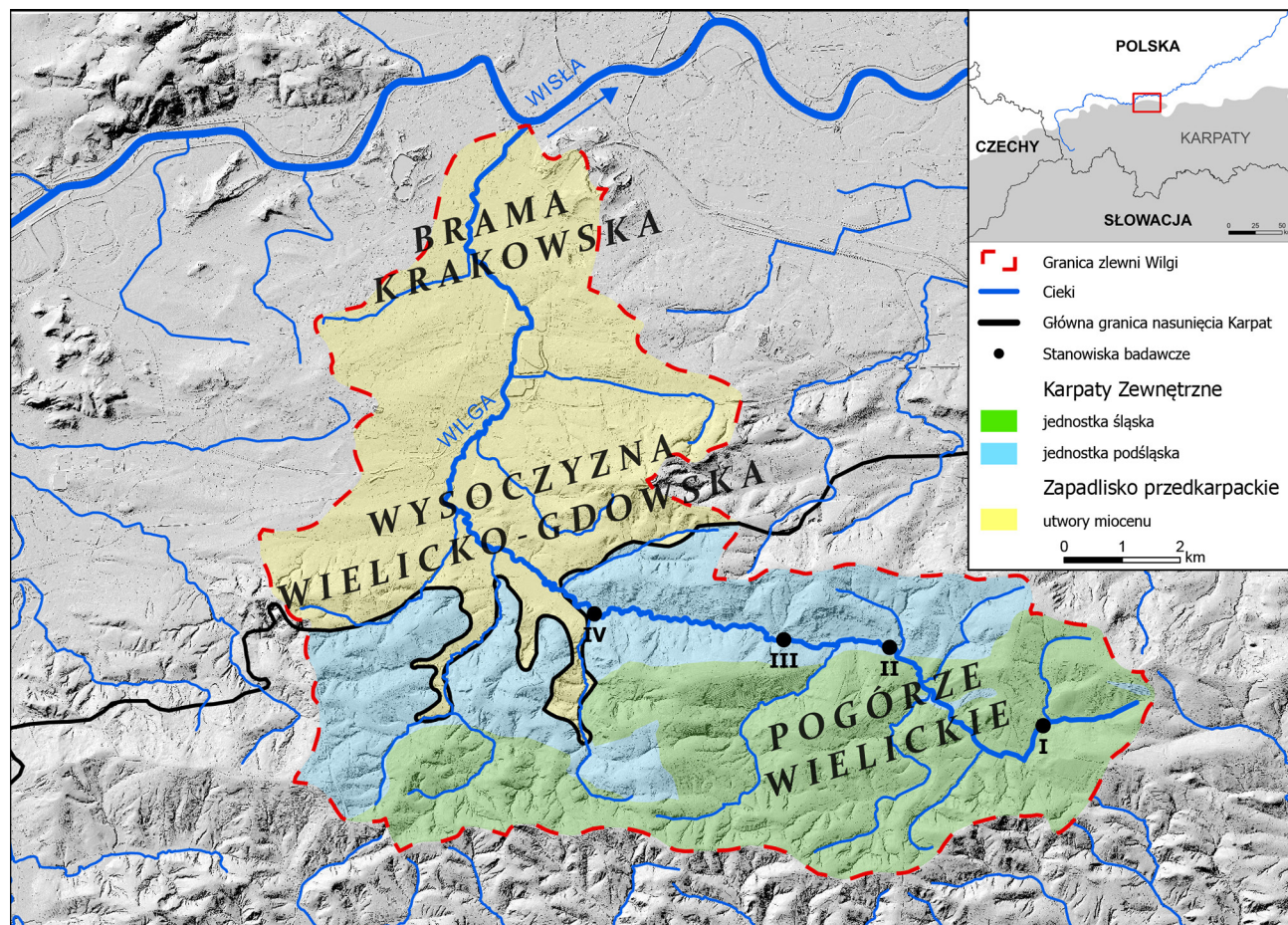
Sformułowany cel poznawczy badań prowadził do określenia relacji cech teksturalnych osadów korytowych oraz zróżnicowania struktury koryta i źródeł dostawy materiału do systemu fluwialnego.

## Obszar badań

Rzeka Wilga będąca prawostronnym dopływem Wisły, według regionalizacji geomorfologicznej (Klimaszewski 1972) położona jest w obrębie trzech regionów: Pogórza Wielickiego (makroregion Karpaty Zewnętrzne), Wysoczyzny Wielicko-Gdowskiej (makroregion Kotliny Sandomierskiej) oraz w niewielkim fragmencie Bramy Krakowskiej (makroregion Wyżyna Krakowska) (ryc. 1).

Budowa geologiczna zlewni Wilgi wynika z jej położenia w obrębie kilku struktur geologicznych, tj. Karpat Zewnętrznych, Zapadliska przedkarpackiego i Monokliny Śląsko-Krakowskiej (ryc. 1). W południowej (pogórskiej) części zlewni w podłożu wyróż-





Ryc. 1. Położenie zlewni Wilgi oraz lokalizacja stanowisk badawczych (I–IV) na tle jednostek geologicznych (na podstawie: Rutkowskiego 1989, Paula i in. 1993, Wójcika 2009)

Fig. 1. Location of the Wilga River catchment and study sites (I–IV) versus geological units (Rutkowski 1989, Paul i in. 1993, Wójcik 2009)

nić należy jednostkę śląską oraz podśląską (Stupnicka 1997, Mizerski 2011), które na tym obszarze zbudowane są z warstw grodziskich (kreda) oraz warstw istebniańskich (górną kreda, paleocen). Są to głównie piaskowce średnio- i gruboławicowe, zlepieńce, łupki oraz margle (Paul i in. 1993, Wójcik 2009). Północną część zlewni położoną w Zapadlisku przedkarpackim budują głównie ropy mioceńskie, a tylko niewielki fragment zlewni w odcinku ujściowym – wapień jury budujące izolowane zręby Bramy Krakowskiej. Dno doliny Wilgi budują osady czwartorzędowe o miąższości do 7 m. Są to holocenijskie żwiry, piaski i ropy rzeczne oraz plejstocenijskie żwiry i piaski fluwioperyglałajne. Lokalnie, zwłaszcza w obniżeniach terenu występują także osady organiczne, a u podnóża stoków różnofrakcyjne koluwia oraz piaszczysto-pyłaste proluwia i deluwia (Sokołowski, Wasylkowa 1984, Rutkowski 1989, Paul i in. 1993).

Położenie w obrębie trzech regionów geomorfologicznych sprawia, iż rzeźba zlewni Wilgi jest urozmaicona. Pogórze Wielickie charakteryzuje się szerokimi, wyrównanymi garbami o wysokości do 550 m n.p.m. Deniwelacje terenu pomiędzy grzbiętami

a dolinami potoków w pogórskim fragmencie zlewni oscylują w granicach 60–150 m (tab. 1). Grzbiety porozcinane są gęstą siecią głęboko wciętych dolin. Ich zbocza modelowane są przez procesy osuwiskowe, których występowanie związane jest z budową geologiczną podłoża oraz energią rzeźby warunkowaną progiem nasunięcia Karpat (Klimaszewski 1972). Wysoczyznę Wielicko-Gdowską tworzą również wyrównane garby międzydolinne, lecz są one znacznie niższe niż na Pogórzu, ich wysokości sięgają 300 m n.p.m. Deniwelacje terenu w tym fragmencie zlewni nie przekraczają 60 m. Garby wysoczyzny rozczłonkowane są małymi nieckami, dolinami płaskodennymi i licznymi osuwiskami. Stoki przykryte są osadami lessowymi (Klimek, Starkel 1972, Gilewska, Starkel 1980). Zrębowa rzeźba Bramy Krakowskiej, w północnym fragmencie zlewni Wilgi, charakteryzuje się obecnością wapiennych pagórów zrębowych o wysokości do 358 m n.p.m., oddzielonych od siebie wąskimi rowami tektonicznymi. Stoki oraz wierzchołki zrębów przykryte są osadami lessowymi, lokalnie występują też plejstocenijskie piaski fluwioglałajne zlodowacenia San 2 (Tyczyńska 1968, 1974).

Ze względu na przyjęty cel badań, w charakterystyce struktury koryta oraz osadów żwirowych części zlewni/koryta położone w obrębie Wysoczyzny Wielicko-Gdowskiej i Bramy Krakowskiej będą traktowane łącznie – przyjęto nazwę: część kotłinna zlewni/koryta.

Źródło Wilgi położone jest we wsi Pawlikowice na wysokości około 370 m n.p.m. na Pogórzu Wielickim, a jej ujście do Wisły w Krakowie na wysokości około 200 m n.p.m. Długość koryta wynosi 27 km, a jego średni spadek to 6,3‰, powierzchnia zlewni wynosi 101,1 km<sup>2</sup>. Gęstość sieci rzecznej w analizowanej zlewni wynosi 0,8 km km<sup>-2</sup>. Najwyższym wzniesieniem jest Chorągwica (431,3 m n.p.m.) położona we wschodniej części zlewni (tab. 1). Układ sieci rzecznej w zlewni jest asymetryczny, dominują dopływy lewobrzeżne, są one dłuższe oraz posiadają bardziej rozbudowane systemy dolinne (ryc. 1). Większymi dopływami Wilgi są Olszynka (dopływ lewobrzeżny, 4,2 km długości), Krzywica (dopływ lewobrzeżny, najdłuższy, 6,7 km długości), Podstolanka (dopływ lewobrzeżny, 5,6 km długości), Dorzyk (dopływ lewobrzeżny, 4,2 km długości), Dopływ spod Rożnowa (dopływ prawobrzeżny, 2,3 km długości) i Siercza (dopływ prawobrzeżny, 1,9 km długości). Szerokość dna doliny Wilgi jest zróżnicowana, od kilkudziesięciu metrów w górnym odcinku, do ponad 400 m w dolnym odcinku (tab. 1). Obecnie na rzece Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (PIB) nie prowadzi obserwacji hydrologicznych. Jednak według badań prowadzonych uprzednio przez Państwowy Instytut Hydrologiczno-Meteorologiczny w okresie 1958–1960 przepływ Wilgi kształtował się na poziomie 0,93–1,35 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (Dynowski 1974). Na Wildze re-

jestrowane są dwa maksima przepływów – wiosenne i letnie, oraz jedno minimum jesienno-zimowe (Siwek i in. 2007). Ze względu na brak aktualnych danych hydrologicznych w interpretacji tekstury osadów nie uwzględniono wnioskowania dotyczącego hydrodynamicznej charakterystyki procesów zachodzących w korycie. W obszarze badań roczne sumy opadów kształtują się na poziomie 650–750 mm. Najwyższe sumy opadów występujące w sezonie letnim, od czerwca do sierpnia. Średnia roczna temperatura powietrza waha się w granicach 7–8°C. Ze względu na rzeźbę terenu na obszarze zlewni wyróżnić można tzw. ciepłą strefę stokową (mezoklimat stoków i grzbietów o ekspozycji południowej) charakteryzującą się o 2–3°C wyższą minimalną temperaturą powietrza niż stoki o ekspozycji północnej (Bokwa 2010).

## Metody badań

W charakterystyce zlewni Wilgi wykorzystano różne materiały kartograficzne, w tym mapy topograficzne w skali 1:10 000, arkusze Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50 000 (arkusze nr: 973, 996, 997) oraz ortofotomapy z 2018 roku. Analizy kameralne koryta Wilgi przeprowadzono przy wykorzystaniu cyfrowego modelu wysokościowego (CMW, o rozdzielczości poziomej 1 m). Materiały kartograficzne oraz CMW zostały pozyskane z Geoportalu (GUGiK 2019) oraz z Centralnej Bazy Danych Geologicznych (PIG-PIB 2019). Do badań terenowych przygotowano specjalny formularz, który stanowił uproszczoną wersję raportu do charakterystyki struktury koryt opracowany przez Kamykowską i in. (1975). W formularzu zebrano podstawowe informacje o cechach morfometrycznych form korytowych: akumulacyjnych (łachy) i erozyjnych (progi: skalne, rumowiskowe i mieszane oraz podcięcia erozji bocznej), informacje o zabudowie hydrotechnicznej oraz miejscach dostawy materiału do systemu fluwialnego (tab. 2). Ponadto podczas kartowania na łachach określono maksymalną średnicę osadów korytowych. Badania terenowe zrealizowane były przy niskich stanach wody. Kartowanie pozwoliło na rozpoznanie struktury koryta wzdłuż jego profilu podłużnego oraz wskazanie głównych źródeł dostawy materiału klastycznego do koryta Wilgi. Jako główne źródła dostawy zidentyfikowano: podcięcia erozji bocznej, progi skalne, rumowiskowe lub mieszane, oraz koryta dopływów. Uzyskane w wyniku kartowania informacje stały się podstawą do wytypowania lokalizacji szczegółowych stanowisk badawczych, na których rozpoznano teksturę osadów korytowych w nawiązaniu do różnych źródeł dostawy materiału do koryta Wilgi.

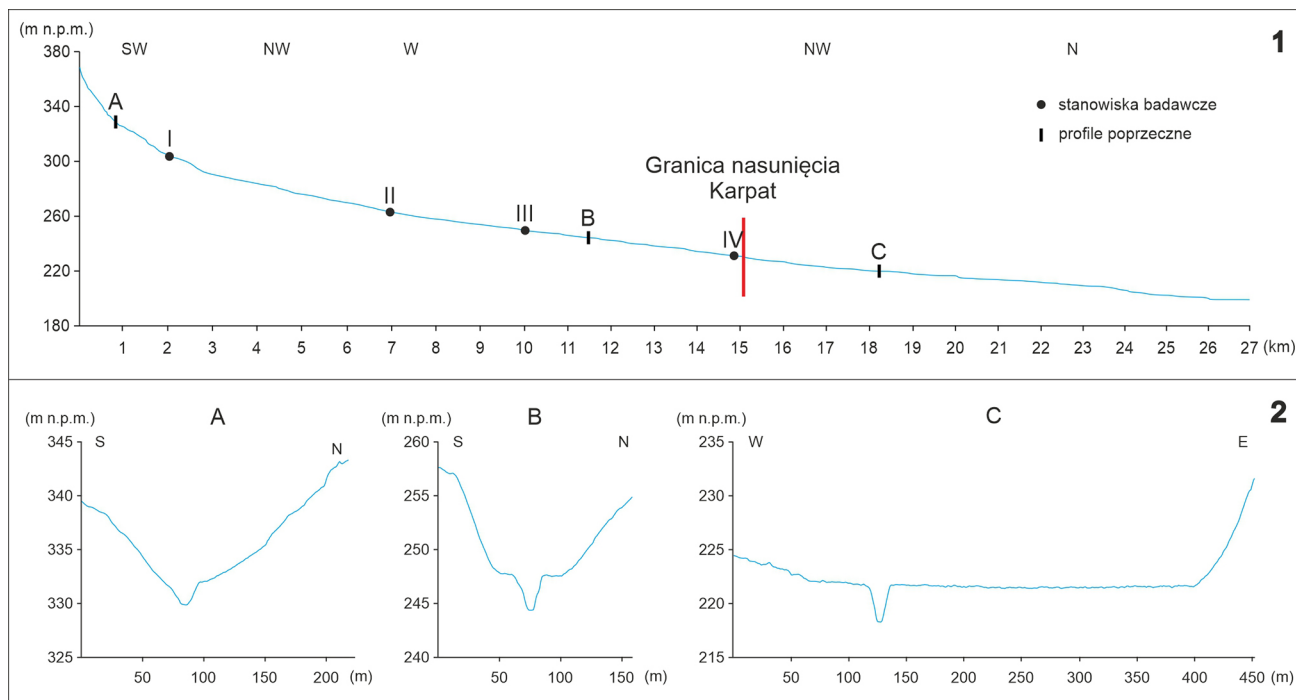
Szczegółowe badania osadów korytowych przeprowadzono na czterech stanowiskach (ryc. 2):

Tabela 1. Wybrane parametry zlewni Wilgi

Table 1. Selected parameters of the Wilga River catchment

Parametr	Jednostka	Zlewnia Wilgi	
Powierzchnia zlewni	[km <sup>2</sup> ]	101,1	
Wysokość źródła	[m n.p.m.]	368,0	
Wysokość ujścia	[m n.p.m.]	198,8	
Wysokość maksymalna zlewni	[m n.p.m.]	431,3	
Wysokość minimalna zlewni	[m n.p.m.]	198,8	
Deniwelacje terenu	[m]	169,2	
Średnia wysokość zlewni	[m n.p.m.]	283,4	
Długość koryta	[km]	27,0	
Spadek koryta	[‰]	6,3	
		Pogórze	Kotlina
Długość koryta	[km]	15,1	11,9
Spadek koryta	[‰]	9,6	2,0
Spadek maksymalny	[‰]	27,0	6,3
Deniwelacje terenu	[m]	60–150	40–60
Maksymalna szerokość doliny	[m]	39,9	415,0





Ryc. 2. Lokalizacja stanowisk badawczych w profilu podłużnym koryta Wilgi (1) oraz wybrane profile poprzeczne doliny Wilgi (2)

Fig. 2. Location of study sites in the longitudinal profile of the Wilga River (1) and a selected cross section of the Wilga valley (2)

1. stanowisko I – łacha powyżej oraz poniżej wychodni podłoża skalnego w dnie oraz w obrębie brzegu koryta (spadek koryta: 10,6‰; łacha powyżej wychodni: długość 12,4 m, szerokość 3,6 m; łacha poniżej wychodni: długość 6,2 m, szerokość 2,5 m)
2. stanowisko II – łacha powyżej oraz poniżej progu rumowiskowego (o wysokości 0,4 m) założonego na rumoszu skalnym o maksymalnej średnicy ziarna 30 cm (spadek koryta: 11,1‰; łacha powyżej progu: długość 7,2 m, szerokość 3,4 m; łacha poniżej progu: długość 5,3 m, szerokość 1,7 m),
3. stanowisko III – łacha powyżej oraz poniżej podcięcia erozji bocznej (o wysokości 2,4 m) – w podcięciu wychodnia skalnego podłoża (spadek koryta: 5,6‰; łacha powyżej podcięcia: długość 6,2 m, szerokość 2,8 m; łacha poniżej podcięcia: długość 8,3 m, szerokość 3,4 m),
4. stanowisko IV – łacha powyżej oraz poniżej ujścia lewobrzeżnego dopływu Dorzyk (spadek koryta: 2,9‰; łacha powyżej ujścia dopływu: długość 6,3 m, szerokość 1,8 m; łacha poniżej ujścia dopływu: długość 4,6 m, szerokość 3,1 m).

Stanowiska badawcze zlokalizowano tylko w pogórskiej części zlewni, ze względu na brak łach żwirowych w niższej położonym odcinku koryta (kotlinna część zlewni) w czasie realizacji szczegółowych badań (2020 r.). Na każdym stanowisku badawczym pobierano i analizowano materiał z dwóch łach. Pomiar na łachach odbywał się bezpośrednio powyżej

źródła dostawy materiału oraz bezpośrednio poniżej, na kolejnej najbliższej łasze. Do określenia uziarnienia osadów oraz składu petrograficznego zastosowano metodę poboru osadów wg Wolmana (1954), natomiast do oceny stopnia obtoczenia – uproszczoną metodę Olszewskiego (1974). Na każdym stanowisku przeanalizowano 100 otoczków pobranych w siatce kwadratów o boku 10 lub 20 cm. Siatka kwadratów uzależniona była od wymiarów łachy i dominującej frakcji materiału żwirowego. Przy dominującej frakcji 32–64 mm. Średnica ziaren określana była na podstawie pomiaru metrem osi B (oś średnia), z dokładnością do 1 mm. Do oceny stopnia obtoczenia otoczków zastosowano skalę 5-stopniową: dobrze obtoczone, średnio obtoczone, słabo obtoczone, nieobtoczone, popękane. Łącznie podczas badań pomiary wykonano dla 800 okruchów. W pracy wykorzystano klasyfikację uziarnienia według Wentwortha z modyfikacją Krumbiena i Lana z uzupełnieniem Urbaniak-Biernackiej (Mycielska-Dowgiałło 1995).

## Wyniki badań

### Charakterystyka koryta Wilgi

Koryto Wilgi ze względu na położenie w obrębie kilku jednostek geologicznych oraz kilku regionów geomorfologicznych wykazuje znaczne zróżnicowa-

nie wzdłuż profilu podłużnego. Wyraźnie odróżniają się cechy morfometryczne koryta położonego na Pogórzu od cech koryta położonego w Kotlinie. W pogórskim odcinku koryto zazwyczaj jest kręte, przy średnim spadku wynoszącym 9,6‰, jednak w odcinku źródłowym spadek koryta sięga 27‰. Długość pogórskiego odcinka koryta Wilgi wynosi 15,1 km (tab. 1). Rozcina ono podłoże fliszowe, drobnoziarniste osady deluwialne, lokalnie również koluwia. Głębokość koryta nie przekracza 1,5 m, zaś szerokość wynosi od 0,5 m w odcinku źródłowym do 7 m w końcowym odcinku części pogórskiej (niski stan wody). Na Pogórzu kształt koryta Wilgi w profilu poprzecznym zmienia się od trójkątnego do trapezowego. Wysokość brzegów koryta dochodzi do 5 m, są one wyraźne oraz utrwalone roślinnością. Koryta mniejszych, bocznych dopływów w pogórskiej części zlewni przeważnie są zawieszane około 0,5 m ponad dnem koryta Wilgi. W korytach tych zazwyczaj odpływ jest okresowy. W kotlinnej części zlewni układ koryta Wilgi jest kręty, lokalnie meandrowy. Średni spadek koryta wynosi 2‰ (maksymalnie 6,3‰), zaś długość koryta to 11,9 km (tab. 1). Koryto wycięte jest w sterasowanym dnie doliny, rozcina na głębokość do 8 m przeważnie drobnoziarniste, starsze aluwia budujące akumulacyjne dno doliny. Szerokość

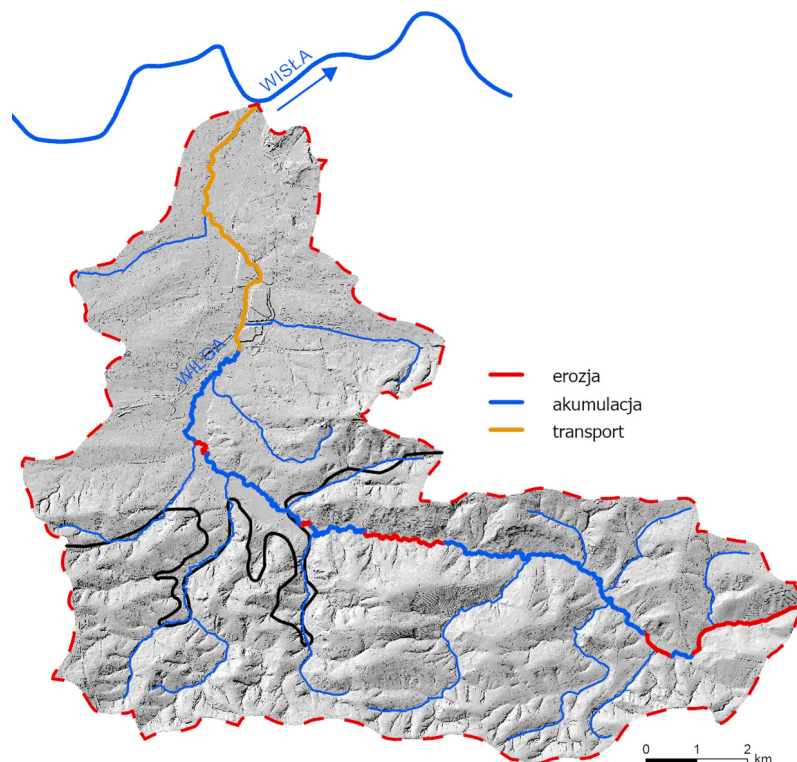
koryta lokalnie wynosi nawet 10 m. W ujściowym, uregulowanym odcinku, o długości 6,3 km, układ koryta Wilgi jest prosty, a brzegi wraz z dnem są umocnione i wyprofilowane. Spadek koryta w tym odcinku kształtuje się na poziomie 2‰, a wysokość brzegów wynosi do 5 m. Kształt koryta w odcinku uregulowanym jest trapezowy.

W trakcie prac terenowych zidentyfikowano w korycie Wilgi 145 łąch, 46 podcięć erozji bocznej, 51 progów (tab. 2). Dodatkowo udokumentowane zostały 3 tamy bobrowe wraz z licznymi oznakami działalności bobrowej w dnie doliny (ścieżki, ślizgi bobrowe, zgryzy). Stwierdzono także obecność 3 sztucznych progów, oraz liczną zabudowę techniczną, głównie była to zabudowa lub umocnienia brzegów narzutem kamiennym, rzadziej gabionami (kosze siatkowo-kamienne).

Formy akumulacyjne stanowią najliczniejszą grupę form korytowych. Zlokalizowane są one niemal wzdłuż całego profilu podłużnego Wilgi. Odcinek źródłowy jest ich pozbawiony, ze względu na stosunkowo płytkie koryto (wskaźnik kształtu koryta wynosi 2). Łąchy boczne stanowią 89% wszystkich łąch (129), liczba prawo- (65) i lewobrzeżnych (64) form jest zbliżona do siebie, łąchy środkowe są mniej liczne niż boczne (tab. 2). Lokalizacja form akumula-

Tabela 2. Cechy morfometryczne form korytowych  
Table 2. Morphometric characteristics of bedforms

Parametr		całe koryto	koryto w obrębie Pogórza	koryto w obrębie Kotliny	
Formy akumulacyjne	liczba	145	118	27	
	położenie	prawobrzeżne	65	53	12
		lewobrzeżne	64	54	10
		centralne	16	11	5
	długość [m]	średnia	11,1	12,1	8,8
		maksymalna	37,8	37,8	12,3
	szerokość [m]	średnia	3,2	3,3	3,0
		maksymalna	10,1	10,1	5,6
	frakcja maksymalna [mm]	400	400	230	
Podcięcia erozji bocznej	liczba	46	35	11	
	położenie	prawobrzeżne	25	21	4
		lewobrzeżne	21	14	7
	długość [m]	średnia	10,2	9,8	13,6
		maksymalna	30,0	28,3	30,0
	wysokość [m]	średnia	2,4	2,2	4,2
	maksymalna	8,0	7,1	8,0	
Progi	liczba	51	45	6	
	rodzaj	rumowiskowy	26	20	6
		skalny	7	7	0
		mieszany	18	18	0
	wysokość [m]	średnia	0,3	0,3	0,2
	maksymalna	0,6	0,6	0,4	



Ryc. 3. Podział koryta Wilgi ze względu na dominujący czynnik kształtujący koryto

Fig. 3. Division of the Wilga River due to the dominant factor shaping the river channel

cyjnych warunkowana jest głównie występowaniem podcięć erozji bocznej, wychodni skalnego podłoża w korycie oraz dopływów. Średnia długość łach wynosi 11,1 m, jednak najdłuższa forma ma niemal 38 m. Łachy zlokalizowane w środkowym odcinku koryta są najdłuższe i najbardziej rozbudowane. Materiał budujący łachy w górnej części zlewni jest zazwyczaj ostrokrawędzisty lub słabo obtoczony, o maksymalnej średnicy 400 mm, dominującej w przedziale 64–128 mm. W odcinku środkowym koryta obróbka materiału jest wyraźnie lepsza (słabo i średnio obtoczony). Wzdłuż całego profilu podłużnego koryta Wilgi maksymalna średnica żwirów na łachach zmniejsza się w kierunku ujścia, lecz lokalnie wykazuje wzrost lub spadek wielkości. Świadczyć to może, również poza znaczeniem zmiany w profilu podłużnym energii transportowej rzeki, także o istotnym znaczeniu lokalnych źródeł dostawy materiału do koryta. Dostawa ta pochodzi m.in. z koryt dopływów i podcięć erozji bocznej. Na łachach żwirowych w obrębie pogórskiego odcinka koryta Wilgi obserwowano imbrykację lub lineację materiału. W kotlinnym odcinku koryta łachy zbudowane są głównie z piasku. Ich liczba jest niższa niż w części pogórskiej. Na tych łachach piaszczystych oraz w dnie koryta w okresie realizacji badań występowały ripplemarki (Gołąb 2020). W uregulowanym, ujściowym odcinku koryta zidentyfikowano tylko jedną niewielką formę akumulacyjną zbudowaną z materiału antropogenicznego (cegła, beton i in.).

Wzdłuż koryta Wilgi występują dwa rodzaje erozyjnych form korytowych, są to podcięcia erozji bocznej oraz progi związane z erozją wgłębną (tab. 2). Podcięcia erozji bocznej występują niemal wzdłuż całego profilu podłużnego koryta. Wyjątek stanowi jedynie krótki (około 1,5 km) odcinek źródłowy. Najwięcej podcięć występuje w odcinkach o zwiększonej krętości koryta, sporadycznie występują one w odcinkach o układzie zbliżonym do prostoliniowego. Liczba podcięć lewo- (21) i prawobrzeżnych (25) jest zbliżona. Średnia wysokość podcięć wynosi 2,4 m, maksymalna to 8 m (podcięcie w kotlinnej części zlewni), zaś długość podcięć wynosi maksymalnie 30 m. Podcięcia wykształcone są głównie w starych pokrywach aluwialnych, nadbudowanych drobnoziarnistymi deluwiami i proluwiami. Lokalnie w obrębie podcięć odsłania się zwietrzałe podłoże fliszowe. Progi zlokalizowane są przede wszystkim w pogórskim odcinku koryta (tab. 2). Założone są w odcinku źródłowym koryta na skonsolidowanych pokrywach pylasto-ilastych (deluwia, proluwia) lub rumowisku skalnym (średnia maksymalna rumoszu do 60 cm). Na progach występuje również drobny detrytus roślinny i rumosz drzewny. Systemy progów, składające się z maksymalnie trzech progów są nieliczne i stanowią około 15% form tego typu. Odległości między progami oscylują między 0,8–5 m. Występują one jedynie w górnym odcinku koryta, co wynika z większej energii cieku – ich występowanie odpowiada obecności wychodni skalnych. Średnia wysokość

Tabela 3. Cechy koryta z podziałem na odcinki morfodynamiczne  
Table 3. Features of the channel divided into morphodynamic sections

Odcinek regionalny	Nr odcinka	Średni spadek koryta w odcinku [%o]	Przedział najczęstszej wysokości brzegów [m]	Przedział najczęstszej szerokości brzegowej koryta [m]	Liczba form korytowych		
					formy akumulacyjne	podcięcia erozji bocznej	progi
Pogórze	1	26,1	0,5–1,0	1,0–1,5	15	14	29
	2	9,2	2,0–3,0	1,5–2,0	15	0	0
	3	7,3	2,0–3,0	1,5–2,0	12	4	5
	4	6,1	2,0–3,0	1,5–2,0	58	8	5
	5	4,6	3,0–4,0	3,0–4,0	6	4	4
	6	4,2	3,0–4,0	4,0–5,0	10	2	1
	7	5,3	3,0–4,0	3,0–4,0	2	3	1
Kotlina	8	3,8	4,0–5,0	4,0–5,0	14	3	3
	9	6,9	3,0–4,0	5,0–6,0	4	2	1
	10	2,7	3,0–4,0	5,0–6,0	8	5	2
	11	2,0	4,0–5,0	6,0–7,0	1	1	0

progów w korycie Wilgi wynosi 0,3 m, maksymalnie osiągając 0,6 m.

Zróznicowana morfometria koryta oraz liczba form akumulacyjnych i erozyjnych pozwoliły na wydzielenie wzdłuż profilu podłużnego Wilgi występujących na przemienne odcinków o przewadze akumulacji lub erozji (ryc. 3, tab. 3). Jedynie odcinek ujściowy, zlokalizowany w granicach miasta Krakowa, został sklasyfikowany jako transportowy, jest on w całości przekształcony antropogenicznie. Odcinki akumulacyjne stanowią 41% długości całego koryta, erozyjne 34%, a odcinek transportowy 25%. Na Pogórzu i w kotlinnej części zlewni sytuacja kształtuje się odmiennie. Udział procentowy odcinka akumulacyjnego (48%) i erozyjnego (52%) w pogórskiej części koryta kształtuje się na podobnym poziomie. Naprzemiennie występujące na Pogórzu odcinki akumulacyjne oraz erozyjne związane są z występowaniem licznych dopływów. W zależności od spadku koryta Wilgi przy ujściu dopływów, znaczenie koryt bocznych może być różne. Po pierwsze dopływy okresowo powodują wzrost ilości wody w głównym cieku oraz jego energii, co przekłada się na wzmożoną erozję. Po drugie zwiększona dostawa materiału z koryta dopływu przy mniejszym spadku koryta Wilgi sprzyja akumulacji materiału. W kotlinnej części koryta Wilgi odcinek transportowy stanowi 60% długości koryta, odcinek akumulacyjny stanowi 37%, a erozyjny 3%.

### Skład granulometryczny osadów korytowych

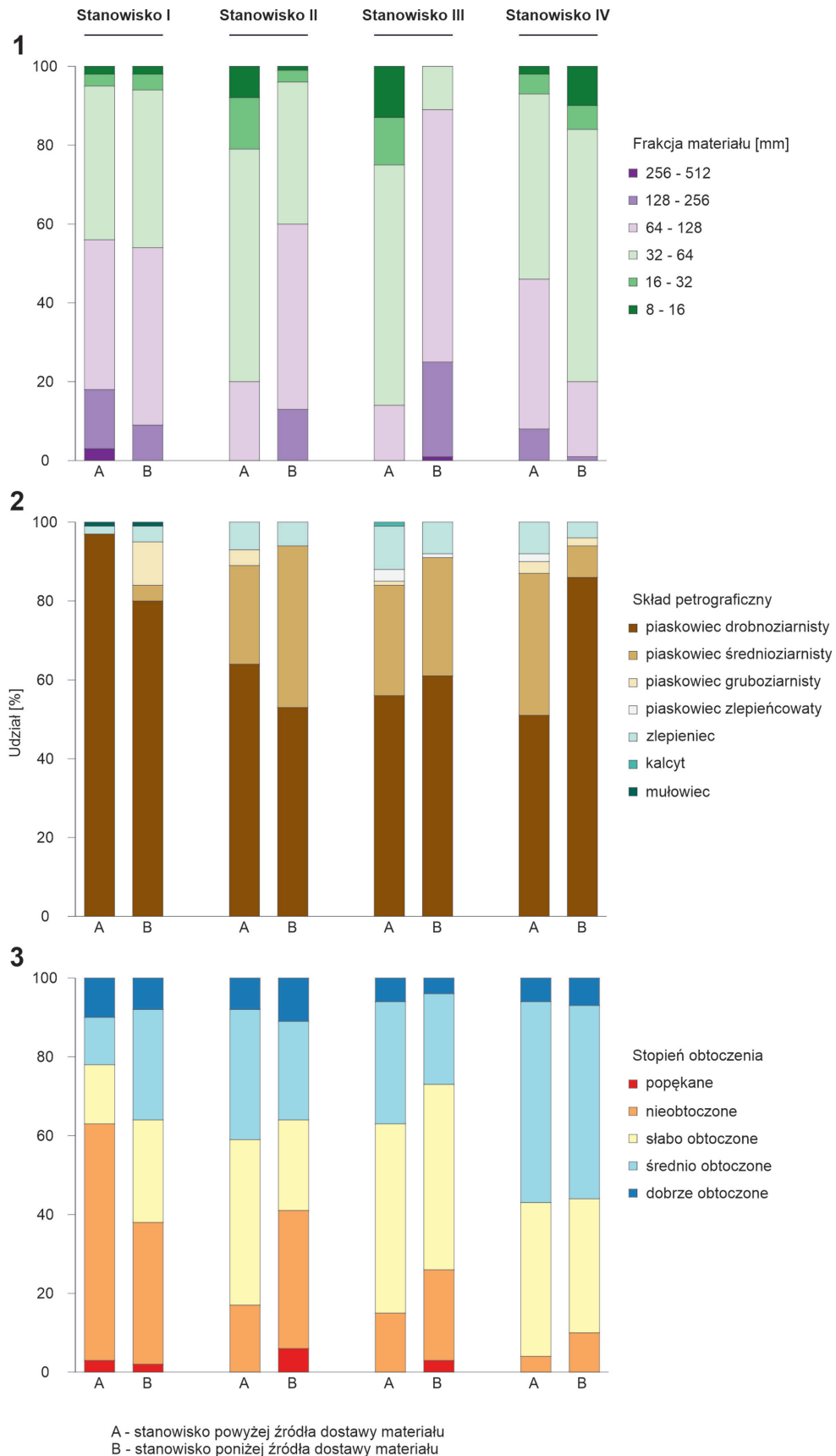
Uziarnienie osadów korytowych Wilgi wykazuje wyraźne zróżnicowanie wzdłuż profilu podłużnego koryta. Na analizowanych stanowiskach badawczych dominują osady o frakcji otoczków (32–128 mm). Największy ich udział stwierdzono na stanowiskach I oraz IV (85%), a najmniejszy na stanowisku III

(75%) (ryc. 4). Udział materiału o frakcji blokowej nie wykazuje tendencji malejącej wzdłuż biegu rzeki. Na stanowisku I widoczny jest wzrost udziału osadów o frakcji otoczków (wzrost o 8%) poniżej wychodni oraz spadek udziału osadów o frakcji blokowej (spadek o 9%). Na łasze poniżej wychodni nie występuje materiał o frakcji największej tj. 256–512 mm. Sytuacja kształtuje się odmiennie na stanowisku II. Poniżej progów założonego na rumoszu skalnym, wzrasta udział materiału o frakcji blokowej (wzrost o 13%), spada zaś udział osadów frakcji żwirowej (spadek o 17%). Stanowisko III prezentuje identyczną sytuację, jednak w tym przypadku uzyskane wyniki dokumentują wpływ podcięcia erozji bocznej na cechy osadów korytowych Wilgi. Na stanowisku tym stwierdzono wzrost udziału materiału o frakcji blokowej poniżej podcięcia (wzrost o 25%), na rzecz zmniejszenia udziału osadów o frakcji żwirowej (spadek o 25%). Stanowiska II i III dokumentują wprost dostawę materiału z progów i podcięcia. Na stanowisku IV, pokazującym wpływ dopływu na zróżnicowanie osadów korytowych Wilgi, stwierdzono spadek udziału materiału o frakcji blokowej na łasze poniżej ujścia dopływu, przy wzroście udziału materiału żwirowego (ryc. 4). Sytuacja ta wskazuje na dostawę z koryta bocznego materiału drobnego (8–16 mm). W korycie dopływu dominujący jest materiał aluwialny o wielkości 8–64 mm (długość koryta dopływu – 4,2 km, średni spadek podłużny – 30‰).

### Skład petrograficzny osadów korytowych

Zróznicowanie składu petrograficznego osadów korytowych wzdłuż profilu podłużnego Wilgi również jest zauważalne. W całym profilu dominują otoczki piaskowcowe (głównie drobno- i średnioziarniste). Zakres procentowy ich udziału wynosi od 51%





Ryc. 4. Uziarnienie (1), skład petrograficzny (2) oraz stopień obtoczenia (3) materiału korytowego Wilgi na stanowiskach badawczych I-IV

Fig. 4. Grain size (1), petrographic composition (2), and degree of rounding (3) of the Wilga River channel at study sites I-IV

na stanowisku IV, do niemal 100% na stanowisku I. Na wszystkich stanowiskach stwierdzono występowanie zlepieńców. Nieliczny jest udział piaskowców zlepieńcowatych, mułowców oraz kalcytu (ryc. 4). Mułowce o niewielkiej odporności zidentyfikowano jedynie na stanowisku I, natomiast piaskowce zlepieńcowate (jednostka podśląska) na stanowiskach III i IV w brzeżnej części pogórza. Na poszczególnych stanowiskach badawczych żwiry zlokalizowane na łachach poniżej źródła dostawy nawiązują składem petrograficznym do materiału, który jest dostarczany z progów, podcięć erozji bocznej lub koryt dopływów. Zależność ta jest szczególnie dobrze widoczna w przypadku stanowiska IV. Zmiana udziału poszczególnych typów petrograficznych osadów korytowych Wilgi na tym stanowisku wynika z budowy geologicznej doliny dopływu. Ciek Dorzyk wypływa z obszaru zbudowanego z warstw istebniańskich dolnych, warstw grodziskich oraz łupków cieszyńskich, które budują dolny odcinek zlewni dopływu. Wzrostu udziału drobnoziarnistych piaskowców na łasze poniżej dopływu dowiązuje do skał budujących ujściowy odcinek ciek Dorzyk

### Stopień obróbki osadów korytowych

Stopień obtoczenia osadów korytowych Wilgi jest zróżnicowany wzdłuż profilu podłużnego koryta. Lokalnie istotne znaczenie dla stopnia obtoczenia materiału ma dostawa okruchów do koryta z podcięć erozji bocznych, progów lub koryt dopływów. W osadach korytowych Wilgi dominują otoczaki słabo i średnio obtoczone. Na stanowisku I, położonym w górnej części koryta, przeważa materiał nieobtoczony (ryc. 4). Poniżej wychodni skalnych, udział poszczególnych klas obtoczenia materiału staje się bardziej wyrównany w 3 klasach (materiał nieobtoczony, słabo i średnio obtoczony). Spada zaś nieznacznie udział ziaren popękanych. Wskazuje to, iż dostarczany do koryta materiał z wychodni jest zwietrzały i podatny na szybką obróbkę w trakcie transportu. Odmiennie kształtuje się obtoczenie materiału na stanowisku II, gdzie spada udział osadów średnio- i słabo obtoczonych, na rzecz wzrostu udziału żwirów nieobtoczonych i popękanych poniżej progów (ryc. 4). Potwierdzać to może, że próg rumowiskowy założony jest na bardzo zwietrzałej wychodni skalnej, i stanowi on obecnie źródło dostawy materiału do koryta. Podobnie wygląda sytuacja na stanowisku III, gdzie poniżej podcięcia erozji bocznej – w obrębie wychodni skalnych – wzrasta udział żwirów nieobtoczonych i popękanych. Na stanowisku IV udział poszczególnych klas obtoczenia materiału wygląda podobnie, zarówno powyżej jak i poniżej źródła dostawy. Wzrasta udział materiału nieobtoczonego (wzrost o 6%) poniżej ujścia dopływu, co potwierdza wcześniejszy wniosek, iż materiał dostarczany z dopływu, pochodzi głównie

z ujściowego odcinka ciek Dorzyk. Zatem materiał dostarczany przebył zbyt krótki dystans, aby nabrać cech materiału o lepszym obtoczeniu (ryc. 4).

### Źródła dostawy materiału do systemu fluwialnego

Różne rodzaje źródeł dostawy materiału do koryt rzecznych są dobrze udokumentowane w polskiej literaturze z zakresu geomorfologii fluwialnej. W Beskidach według Froehlich (1982) można wydzielić 5 głównych źródeł dostawy materiału do koryt. Zalicza się do nich: osuwiska, drogi, cieki stałe i epizodyczne, rozcięcia występujące w różnych obniżeniach oraz dna dolin ze strefami przykorytowymi. Kaszowski (1965) i Niemirowski (1974) pośrednio wskazywali na wpływ procesów erozji dennej, wgłębnej i bocznej na występowanie źródeł dostawy materiału. Wpływ ruchów masowych na podcinanych brzegach opisywali m.in. Owczarek (2003, 2008) oraz Bąk i Michalik (2008). Otrzymane przez nich wyniki wskazują, iż aktywność procesów osuwiskowych na brzegach koryta oraz dostawa materiału koluwialnego do koryt, odzwierciedla się głównie we frakcji oraz obtoczeniu osadów. W literaturze podkreśla się również rolę podcięć erozji bocznej w zróżnicowaniu cech materiału korytowego oraz znaczenie tekstury materiału, który odsłaniany jest w podcięciach. Udokumentowany jest również wpływ dolin bocznych na zróżnicowanie frakcji materiału w korycie głównym (m.in. Kaszowski 1965, Malarz 2002, 2003, Sobczak i in. 2012, Urbaniak, Michno 2019).

Wyniki przeprowadzonych badań terenowych wskazują, iż podobne do opisywanych powyżej źródła dostawy można wyodrębnić również w korycie Wilgi. W głównej mierze są to: wychodnie skalne występujące w dnie koryta, koryta dopływów, podcięcia erozji bocznej. Dostawę materiału z podcięć dokumentuje lokalizacja łach zlokalizowanych bezpośrednio pod podcięciem lub w bliskiej od niego odległości przy przeciwległym brzegu koryta. Przeważającej części podcięć zidentyfikowanych w profilu podłużnym koryta Wilgi towarzyszyły położone poniżej nich łachy (stanowisko III). Według Niemirowskiego (1974) występowanie łach bezpośrednio pod podcięciem osłabia erozję w podcięciu przez pewien czas. Spowodowane jest to utratą energii przez wodę, gdyż ta najpierw musi włączyć materiał z łachy do systemu korytowego, a dopiero w następstwie tego ponownie może erodować brzeg. O dostawie materiału z wychodni skalnych występujących w dnie koryta Wilgi lub jego brzegach świadczy występowanie ostrokrawędzistego, grubofrakcyjnego materiału na łachach zlokalizowanych poniżej wychodni (stanowisko III, ryc. 4). Dostawa materiału z koryt bocznych także wpływa na zróżnicowanie frakcji oraz petrografii osadów korytowych Wilgi (ryc. 3). W trakcie kar-

towania koryta stwierdzono, że łachy poniżej ujścia dopływów występują rzadko lub są zlokalizowane od niego w znacznej odległości. Świadczyć to może o dużej energii głównego cieku (Wilgi), który bardzo szybko usuwa materiał dostarczany z bocznych koryt i transportuje go w dół doliny. Strefy osuwiskowe, wskazywane w Karpatach jako istotne źródło dostawy materiału do systemu fluwialnego, w korycie Wilgi występują zarówno w pogórskiej, jak i kotlincej części badanej zlewni. Mogą one również dostarczać materiał klastyczny do koryta Wilgi. Więcej takich potencjalnych źródeł dostawy występuje w pogórskiej części zlewni.

### Uwarunkowania naturalne i antropogeniczne zróżnicowania cech współczesnych osadów korytowych Wilgi

Położenie koryta Wilgi w obrębie różnych regionów (geologicznych i geomorfologicznych) oraz wpływ antropopresji są głównymi czynnikami wpływającymi na wykształcenie i zróżnicowanie osadów korytowych wzdłuż profilu podłużnego.

Materiał korytowy Wilgi wykazuje tendencję do zmniejszania frakcji wraz z biegiem rzeki. Prawidłowość ta jest powszechnie dokumentowana także w badaniach innych koryt. W korycie Wilgi lokalnie występuje odwrócenie tej prawidłowości co sprawia, że zależność ta nie jest liniowa. Zdaniem Nawary (1960, 1964) oraz Nawary i Stupnickiej (1965) zmniejszanie rozmiaru materiału w dół biegu koryta można tłumaczyć procesami rozkruszania, czy też selektywnego transportu, gdzie eliminowane są osady o największej frakcji. Wynika to z faktu wytracania energii cieku wraz ze zmniejszaniem spadku podłużnego koryta, co w konsekwencji prowadzi do ograniczenia mobilności większego materiału. O zmniejszaniu frakcji materiału wraz z biegiem cieków pisali m.in. Niemirowski (1974), Malarz (2002, 2003) oraz Zawiejska i in. (2015). Zdaniem innych autorów (McLaren 1981, Sly i in. 1983, McLaren, Bowles 1985) kluczowe znaczenie dla wielkości przenoszonego materiału ma energia ośrodka transportującego. Zmniejszanie frakcji materiału wzdłuż profilu podłużnego koryta Wilgi zaburzone jest zazwyczaj przez dostawę do koryta grubszego materiału, pochodzącego z różnych źródeł. W korycie Wilgi dostawa grubszego materiału została udokumentowana na stanowiskach II i III. Otrzymane wyniki wskazują zatem, że największe znaczenie w dostawie materiału do koryta mają: podcięcia erozji bocznej, proggi erozyjne oraz wychodnie skalne. Pojawiające się zaburzenia w ogólnej tendencji zmniejszania się frakcji materiału w dół cieku wiązane są również z bocznymi dopływami uchodzącymi do koryta głównego, co zostało zauważone m.in. przez Malarza (2002, 2003). W korycie Wilgi natomiast udokumentowano

dostawę jedynie drobniejszego materiału żwirowego (8–16 mm) z bocznej doliny (stanowisko IV).

Zróżnicowanie cech teksturalnych osadów korytowych Wilgi jest ściśle związane ze zmieniającymi się cechami koryta wzdłuż profilu podłużnego. Górny odcinek charakteryzujący się większym spadkiem odcinkowym i niewielką szerokością koryta wraz ze średnim wcięciem, przyczyniają się do zwiększonej siły erozyjnej cieku (Wyźga i in. 2012). Liczne proggi erozyjne, wychodnie skalne czy podcięcie erozji bocznej są źródłem materiału o zróżnicowanej petrografii i większej frakcji niż frakcja materiału w korycie powyżej źródła dostawy. Jednocześnie dostarczony do koryta Wilgi materiał wykazuje gorszy stopień obróbki. Naprzemiennie występujące strefy akumulacji i erozji w pogórskim odcinku koryta, nawiązują do zlokalizowanych podcięć erozyjnych, progów oraz koryt dopływów. Formy te dostarczają większą ilość osadów do koryta głównego. W kotlincym odcinku koryta mniejszy spadek, a co za tym idzie mniejsza siła transportowa skutkuje zmniejszeniem liczby występujących progów i podcięć.

Przeprowadzane prace regulacyjne wzdłuż koryt rzecznych mają istotny wpływ na ich funkcjonowanie (Korpak 2007, Bucała, Radecki-Pawlik 2012, Wyźga i in. 2012, Zawiejska i in. 2015). Wzdłuż koryta Wilgi znajdują się liczne umocnienia brzegowe, mające na celu ochronę zabudowań, infrastruktury drogowej oraz gruntów ornych. Stanowią one barierę dla dostawy materiału zarówno z brzegów, jak i lokalnie z dna koryta. Brak dostawy materiału może powodować niedociążenie rzeki, a w konsekwencji sprzyja erozji wgłębnej, która może powodować niszczenie umocnień. W konsekwencji skutkować to będzie dalszymi pracami prowadzonymi do odnowienia umocnień bądź budowy nowych, co prowadzi do wzmożenia erozji. Umocnienia przeważnie mają zły lub średni stan utrzymania, część z nich blokuje swobodny przepływ wód rzecznych. Najbardziej przekształconym odcinkiem koryta Wilgi, jest odcinek ujściowy o długości 6,3 km (w całości położony w granicach administracyjnych miasta Krakowa). Odcinek ten został wyprofilowany (trapezowy profil poprzeczny), a brzegi umocnione. W ostatnim czasie w ramach budowy Trasy Łągiewnickiej dokonano także przełożenia odcinka koryta Wilgi w nowe, zbudowane od podstaw koryto. W związku z licznymi umocnieniami, zmianami w kształcie koryta i zanikiem źródeł dostawy materiału, przepływ wód następuje tutaj szybko, a koryto nabiera cech tranzytowych.

### Wnioski

Zróżnicowanie cech teksturalnych współczesnych osadów korytowych oraz struktury koryta Wilgi



uwarunkowane jest cechami środowiska przyrodniczego oraz antropopresją. Cechy środowiska przyrodniczego wpływają wyraźnie na zróżnicowanie procesów fluwialnych. Pogórska część zlewni charakteryzuje się większym natężeniem procesów, wynikającym z większej energii rzeźby. Przejawia się to licznym występowaniem w korycie form erozyjnych takich jak progi i podcięcia erozji bocznej. Formom tym towarzyszą łachy zbudowane z materiału o różnym stopniu wysortowania lub wychodnie skalnego podłoża. W kotlinnej części zlewni odznaczającej się mniejszą energią rzeźby, w tym mniejszym spadkiem koryta, formy erozyjne spotykane są rzadziej. Materiał budujący formy akumulacyjne oraz dno koryta jest drobniejszy niż na łachach w pogórskiej części zlewni. Na łachach i w dnie koryta w Kotlinie występują struktury niskoenergetyczne (ripplemarki).

Rodzaje źródeł dostawy materiału do koryta różnicują się wzdłuż profilu podłużnego Wilgi. Największe znaczenie w dostawie materiału mają licznie występujące podcięcia erozji bocznej, a także wychodnie i progi rumowiskowe zwłaszcza w pogórskim odcinku koryta, w których odsłania się zróżnicowany materiał skalny. Ich znaczenie jest znacząco mniejsze w odcinku koryta zlokalizowanym w kotlinie. Przeprowadzone badania terenowe i analizy kameralne wykazały, że najmniejsze znaczenia dla kształtowania struktury koryta Wilgi oraz cech teksturalnych jej osadów korytowych mają dopływy. Związane to jest z niewielką gęstością sieci rzecznej w zlewni Wilgi oraz mniejszym spadkiem koryt bocznych niż koryta Wilgi.

Zróżnicowanie źródeł dostawy materiału wynikające z budowy geologicznej oraz energii rzeźby terenu regionów, w których położone jest koryto Wilgi jest odzwierciedlone w cechach teksturalnych żwirów. Największym zmianom wzdłuż badanego profilu podłużnego koryta w odcinku pogórskim ulega uziarnienie oraz stopień obróbki materiału, w mniejszym stopniu skład petrograficzny. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują również, że zbudowana z fliszu pogórska część zlewni stanowi główne źródło osadów żwirowych transportowanych w korycie Wilgi.

## Wkład autorów

Agata Gołąb: koncepcja oraz metodyka badań, prace terenowe, opracowanie wyników, wizualizacja, przygotowanie manuskryptu, Dawid Piątek: prace terenowe, opracowanie wyników, Anna Michno: koncepcja.

## Podziękowania

Autorzy dziękują recenzentom za wnikliwe uwagi do pierwotnej wersji artykułu.

## Literatura

- Babiński Z., 1992. Współczesne procesy korytowe dolnej Wisły. *Prace Geograficzne IGiPZ PAN* 157: 1–169.
- Bąk Ł., Michalik A., 2008. Zmienność składu granulometrycznego rumowiska wlezonego wzdłuż potoku Słomka. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 7: 7–18.
- Bokwa A., 2010. Wieloletnie zmiany struktury mezoklimatu miast na przykładzie Krakowa. *IGiPZ UJ, Kraków*.
- Bucała A., 2014. The impact of human activities on land use land cover changes and environmental processes in the Gorce Mountains (Western Polish Carpathians) in the past 50 years. *Journal of Environmental Management* 138: 4–14. DOI: [10.1016/j.jenvman.2014.01.036](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.01.036).
- Bucała A., Radecki-Pawlik A., 2012. Wpływ regulacji technicznej na zmiany morfologii górskiego potoku: potok Jamne, Gorce. *Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumietus* 10(1): 3–16.
- Bucała-Hrabia A., 2018. Land use changes and their impact on environment at catchment scale in the Polish Western Carpathians during the transition from centrally planned to free market economics. *Geographia Polonica* 91(2): 171–196.
- Dynowski J., 1974. Stosunki wodne obszaru miasta Krakowa. *Folia Geographica, Series Geographica-Physica* 8: 103–144.
- Florek W., 1982. Development of the lower Bóbr valley floor with emphasis on the late Holocene. *Quaestiones Geographicae* 8: 91–119.
- Folk R.L., Ward W.C., 1957. Brazos River bar, a study in the significance of grain size parameters. *J. Sedim. Pert.*, 27: 3–26.
- Froehlich W., 1982. Mechanizm transportu fluwialnego i dostawy zwierzeli do koryta w górskiej zlewni fliszowej. *Prace Geograficzne IGiPZ PAN* 143: 1–144.
- GUGiK [Główny Urząd Geodezji i Kartografii], 2019. Geoportal: Numeryczny Model Terenu – PL\_KRON86-NH. Online: [geoportal.gov.pl](http://geoportal.gov.pl) (dostęp: 2019).
- Gilewska S., Starkel L., 1980. Rzeźba miejskiego województwa krakowskiego. *Folia Geographica, Series Geographica-Physica* 13: 33–49.
- Giriát D., Rutkowski J., Smolska E., 2007. Uwagi o znaczeniu interpretacji analizy kształtu, obtoczenia i ułożenia ziaren frakcji gruboklastycznej wybranych środowisk sedimentacyjnych. W: E.Mycielska-Dowgiałło, J.Rutkowski (red.), *Badania cech teksturalnych osadów czwartorzędowych i wybrane metody oznaczenia ich wieku*, Wydawnictwo Szkoły Wyższej Przymierza Rodzin, Warszawa, 17–43.
- Giriát D., Kosieradzka K., Roszczyda U., 2010. Ułożenie i kształt otoczek a mikroformy korytowe typu pebble cluster. *Acta Scientiarum Polonorum ser. Formatio Circumietus* 9(3): 3–22.
- Gołąb A., 2020. Współczesne aluwia Wilgi (Pogórze Wielickie). Maszynopis, Zakład Geomorfologii IGiPZ UJ, Kraków.
- Gorczyca E., 2012. Struktura i morfodynamika koryta Łososiń (Beskid Wyspowy). Przykład opracowania. W: K.Krzemień (red.), *Struktura koryt rzek i potoków (studium metodyczne)*. IGiPZ UJ, Kraków, 79–88.
- Gorczyca E., 2016. Rozwój górskich żwirowodnych koryt rzecznych w warunkach antropopresji. *IGiPZ UJ, Kraków*.
- Heyvaert V.M.A., Walstra J., Verkinderen P., Weerts H., Ooghe B., 2012. The role of human interference on the channel shifting of the river Karkheh in the Lower Khuzestan plain (Mesopotamia, SW Iran). *Quaternary International* 251: 52–63. DOI: [10.1016/j.quaint.2011.07.018](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.07.018).
- Kamykowska M., Kaszowski L., Krzemień K., Niemirowski M., 1975. Instrukcja do kartowania koryt rzecznych. maszynopis, Zakład Geomorfologii IGiPZ UJ, Kraków.
- Kaniecki A., 1976. Dynamicka rzeki w świetle osadów trzech wybranych odcinków Proсны. *Prace Komisji Geograficzno-Geologicznej, PTPN* 17.
- Kaszowski L., 1965. Współczesne procesy erozji, transport i sedymentacji w zlewni Potoku Tenczyńskiego. *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne* 12: 43–71.

- Kijowska-Strugała M., Bucala-Hrabia A., Demczuk P., 2018. Long term impact of land use changes on soil erosion in an agricultural catchment (the Western Polish Carpathians). *Land Degradation & Development* 29: 1871–1884. DOI: [10.1002/ldr.2936](https://doi.org/10.1002/ldr.2936).
- Klimaszewski M., 1972. Podział geomorfologiczny Polski Południowej. W: M.Klimaszewski (red.), *Geomorfologia Polski*. Tom 1: Polska Południowa. Góry i Wyżyny. PWN, Warszawa, 5–17.
- Klimek K., 1987. Man's impact on fluvial processes in the Polish Western Carpathians. *Geografiska Annaler Series A Physical Geography* 69(1): 221–226.
- Klimek K., Starkel L., 1972. Kotliny Podkarpackie. W: M.Klimaszewski (red.), *Geomorfologia Polski*. Tom 1: Polska Południowa. Góry i Wyżyny. PWN, Warszawa, 116–166.
- Kondolf G.M., Piégay H., Landon N., 2002. Channel response to increased and decreased bedload supply from land use change: contrasts between two catchments. *Geomorphology* 45: 35–51. DOI: [10.1016/S0169-555X\(01\)00188-X](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00188-X).
- Korpak J., 2007a. Morfologiczna rola budowli regulacyjnych w górskich systemach fluwialnych. Maszynopis – praca doktorska, IGI GP UJ, Kraków.
- Korpak J., 2007b. The Influence of River Training on Mountain Channel Changes (Polish Carpathian Mountains). *Geomorphology* 92: 166–181. DOI: [10.1016/j.geomorph.2006.07.037](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.07.037).
- Korpak J., Krzemień K., Radecki-Pawlik A., 2008. Wpływ czynników antropogenicznych na zmiany koryt cieków karpaccich. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 4: 1–89.
- Krzemień K. (red.), 2012. *Struktura koryt rzek i potoków (studium metodyczne)*. IGI GP UJ, Kraków.
- Krzemień K., 2003. The Czarny Dunajec River, Poland, as an Example of Human-induced Development Tendencies in a Mountain River Channel. *Landform Analysis* 4: 57–64.
- Latocha A., 2008. Antropogeniczne przekształcenia den dolin średniogórskich na przykładzie Nysy Kłodzkiej. *Landform Analysis* 9: 305–308.
- Liébault E., Piégay H., 2002. Causes of 20th century channel narrowing on mountain and piedmont rivers of southeastern France. *Earth Surface Processes and Landforms* 27: 425–444. DOI: [10.1002/esp.328](https://doi.org/10.1002/esp.328).
- Łajczak A., Plit J., Soja R., Starkel L., Warowna J., 2006. Changes of the Vistula river channel and floodplain in the last 200 years. *Geographia Polonica* 79(2): 65–87.
- Łapuszek M., Lenar-Martys A., 2015. Badania rumowiska dennego w wybranych przekrojach rzeki Przemszy i jej głównych dopływów. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 1: 5–17.
- Malarz R., 2002. Powodziowa transformacja grubo klastycznych aluwów zwirowodnych rzekach zachodnich Karpat fliszowych (na przykładzie Soły i Skawy). *Prace Monograficzne*, 335, Wydawnictwo Naukowe AP, Kraków.
- Malarz R., 2003. Downstream changes of fluvial gravels, the Prut river, Ukraine. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica* 37: 77–96.
- McLaren P., 1981. An interpretation of trends in grain size measures. *J. Sedim. Petrol* 51: 611–624. DOI: [10.1306/212F7CF2-2B24-11D7-8648000102C1865D](https://doi.org/10.1306/212F7CF2-2B24-11D7-8648000102C1865D).
- McLaren P., Bowles D., 1985. The effects of sediment transport on grain-size distributions. *J. Sedim. Petrol* 55:457–470. DOI: [10.1306/212F86FC-2B24-11D7-8648000102C1865D](https://doi.org/10.1306/212F86FC-2B24-11D7-8648000102C1865D).
- Michno A., 2004. Transformacja doliny dolnej Nidzicy w holocenie. IGI GP UJ, Kraków.
- Michno A., 2013. Rozwój dolin w ujściowych odcinkach rzek na wyżynach lessowych w Polsce. IGI GP UJ, Kraków.
- Migoń P., Latocha A., 2018. Human impact and geomorphic change through time in the Sudetes, Central Europe. *Quaternary International* 470: 194–206. DOI: [10.1016/j.quaint.2018.01.038](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.01.038).
- Mizerski W., 2011. *Geologia Polski*. PWN, Warszawa.
- Mycielska-Dowgiałło E., 1995. Wybrane cechy teksturalne osadów i ich wartość interpretacyjna. W: E.Mycielska-Dowgiałło, J. Rutkowski (red.), *Badania osadów czwartorzędowych. Wybrane metody i interpretacja wyników*. Wydział Geografii i Studiów Regionalnych UW, Warszawa, 29–105.
- Nawara K., 1960. Skład litologiczny żwirów Białki i Czarnego Dunajca w zależności od frakcji. *Acta Geologica Polonica* 10(3): 455–474.
- Nawara K., 1964. Transport i sedimentacja współczesnych żwirów Dunajca i niektórych jego dopływów. *Prace Muzeum Ziemi* 6: 3–11.
- Nawara K., Stupnicka E., 1965. Transport i sedimentacja otoczków piaskowców fliszowych w dolinie Soły. *Biuletyn Geologiczny UW* 7: 107–119.
- Niemirowski M., 1974. Dynamika współczesnych koryt potoków górskich (na przykładzie potoków Jaszczce i Jamne w Gorcach). *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne* 34: 1–105.
- Olaszewski A., 1974. Jednostki litofacjalne glin subglacialnych nad dolną Wisłą w świetle analizy ich makrostruktur i makrotektur. *Studia Societatis Scientiarum Torunensis, Sec. et. Geographia et. Geologia* 8(2): 1–145.
- Owczarek P., 2003. The variation in clast orientation in mid-mountain river channels under the influence of coarse grained regolith supply, Polish flysh Carpathians. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica* 37: 97–109.
- Owczarek P., 2008. Hillslope deposits in gravel-bed rivers and their effects on the evolution of alluvial channel forms: A case study from the Sudetes and Carpathian Mountains. *Geomorphology* 98(1–2): 111–125. DOI: [10.1016/j.geomorph.2007.02.028](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.02.028).
- Paul Z., Rączkowski W., Rylko W., Wójcik A., 1993. Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000, ark. Myślenice (nr 996). PIG, Warszawa.
- PIG-PIB [Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy], 2019. Centralna Baza Danych Geologicznych. Online: [geoportal.pgi.gov.pl](http://geoportal.pgi.gov.pl) (dostęp: 2019).
- Rinaldi M., Simon A., 1998. Bed-level adjustments in the Arno River, central Italy. *Geomorphology* 22: 57–71. DOI: [10.1016/S0169-555X\(97\)00054-8](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(97)00054-8).
- Rutkowski J., 1989. Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000, ark. Kraków (nr 973). PIG, Warszawa.
- Rutkowski J., 2007. Petrografia żwirów – możliwości badawcze i postawy interpretacji wyników. W: E.Mycielska-Dowgiałło, J. Rutkowski (red.), *Badania cech teksturalnych osadów czwartorzędowych i wybrane metody oznaczania ich wieku*. Wydawnictwo Szkoły Wyższej Przymierza Rodzin, Warszawa, 45–74.
- Siwiek J., Baścik M., Chmielnicki W., Kasina M., Pociask-Karteczka J., Rzonca B., Żelazny M., 2007. *Hydrografia i gospodarka wodna*. W: I.Jędrzychowski (red.), *Atlas otoczenia Kampusu 600-lecia Odnowienia Uniwersytetu Jagiellońskiego*. IGI GP UJ, Kraków, 42–43.
- Sly P. G., Thomas R. L., Pelletier B. R., 1983. Interpretation of moment measures derived from water-lain sediments. *Sedimentology* 30: 219–233. DOI: [10.1111/j.1365-3091.1983.tb00666.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1983.tb00666.x).
- Sobczak K., Biejat K., Dłużewski M., Gierszewski P., Michno A., 2012. Wpływ morfodynamiki koryt rzecznych na działalność człowieka w Atlasie Wysokim (na przykładzie doliny górnego Dades – Maroko). *Prace i Studia Geograficzne* 49: 137–150.
- Sokołowski T., Wasylkowa K., 1984. Utwory czwartorzędowe den dolin Wisły i Wilgi w rejonie Ludwinowa. W: *Materiały sympozjum: Holocen okolic Krakowa*, Wyd. AGH, Kraków 29–34.
- Stupnicka E., 1997. *Geologia regionalna Polski*. Wyd. UW, Warszawa.
- Trafas K., 1975. Zmiany biegu koryta Wisły na wschód od Krakowa w świetle map archiwalnych i fotointerpretacji. *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne* 62: 1–173.
- Tyczyńska M., 1968. Rozwój geomorfologiczny terytorium miasta Krakowa, *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne* 17.
- Tyczyńska M., 1974. Rzeźba terytorium miasta Krakowa. *Folia Geographica, Series Geographica-Physica* 8: 19–40.
- Urbaniak A., Michno A., 2019. Zróżnicowanie współczesnych aluwów koryta Lepietnicy. *Prace Geologiczne IGI GP UJ* 158: 7–25. DOI: [10.4467/20833113PG.19.013.10917](https://doi.org/10.4467/20833113PG.19.013.10917).
- Wolman M.G., 1954. A method of sampling coarse river – Bed material, *Am. Geophys. Union Trans* 35(6): 951–956.
- Woodbrige K.P., Parsons D.R., Heyvaert V.M.A., Walstra J., Frostick L.E., 2016. Characteristics of direct human impacts on the

- rivers Karum and Dez in Lowland south-west Iran and their interactions with earth Surface movements. *Quaternary International* 392: 315–334. DOI: [10.1016/j.quaint.2015.10.088](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.10.088).
- Wójcik A., 2009. Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000, ark. Wieliczka (nr 997). PIG, Warszawa.
- Wyźga B., 1993. Funkcjonowanie systemu rzeczno-łódzkiego i dolnej Raby w ostatnich 200 latach, *Dokumentacja Geograficzna IGIPZ PAN* 6: 1–96.
- Wyźga B., 2012. Cechy teksturalne żwirowych osadów korytowych jako odzwierciedlenie dynamiki przepływu wody i transportu rumowiska w ciekach z różnych stref klimatycznych. W: A. Łajczak (red.), *Antropopresja w wybranych strefach klimatycznych – zapis zmian w rzeźbie i osadach*. *Prace Wydziału Nauk o Ziemi UŚ, Sosnowiec* 77: 461–469.
- Wyźga B., Zawiejska J., 2005. Wood Storage in a Wide Mountain River: Case Study of the Czarny Dunajec, Polish Carpathians. *Earth Surface Processes and Landforms* 30(12): 1475–1494. DOI: [10.1002/esp.1204](https://doi.org/10.1002/esp.1204).
- Wyźga B., Zawiejska J., Radecki-Pawlik A., 2012. Zróżnicowanie uziarnienia osadów korytowych rzeki górskiej przekształconej przez regulację koryta i eksploatację żwirów. *Prace i Studia Geograficzne* 50: 171–179.
- Zawiejska J., Wyźga B., 2008. Transformacja koryta Dunajca w XX wieku jako wynik ingerencji człowieka i zmian środowiskowych zlewni. W: B. Wyźga (red.), *Stan środowiska rzek południowej Polski i możliwości jego poprawy – wybrane aspekty*. Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków, 41–50.
- Zawiejska J., Wyźga B., Radecki-Pawlik A., 2015. Variation in surface bed material along a mountain river modified by gravel extraction and channelization, the Czarny Dunajec, Polish Carpathians. *Geomorphology* 231: 353–366. DOI: [10.1016/j.geomorph.2014.12.026](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.12.026).
- Zwoliński Z., 1993. Dynamics of bed load transport in the Parsęta River channel, Poland. W: M. Marzo, C. Puigdefabregas (red.), *Alluvial Sedimentation, Special Publications International Association of Sedimentologists* 17: 77–87.