

# ZBIÓR SEKRETÓW WIŚLANYCH



**Dr hab.  
Tomasz Falkowski,  
prof. nadzw. SGGW**

jest geologiem,  
pracownikiem  
Wydziału Budownictwa  
i Inżynierii Środowiska  
SGGW w Warszawie.

W jego dorobku  
znajduje się przeszło  
70 publikacji  
recenzowanych  
poświęconych  
budowie geologicznej  
dolin rzecznych  
w kontekście  
potrzeb inżynierii  
rzecznej, a także  
przydatności analizy  
morfogenetycznej  
w dokumentowaniu  
warunków  
geologiczno-  
inżynierskich  
i hydrogeologicznych.

tomasz\_falkowski@sggw.pl

Woda dociera do rzeki w postaci spływu powierzchniowego (czyli opadu atmosferycznego, który nie wsiąkł w grunt) i odpływu podziemnego (wody podziemne). Oba te czynniki wpływają na charakter procesów erozji i depozycji rzecznej kreujących rzeźbę doliny. Ich identyfikacja jest konieczna, by wiedzieć, jak rzeką zarządzać.



## DOLINY RZECZNE NA NIŻU POLSKIM

**dr hab. Tomasz Falkowski**Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
w Warszawie**dr hab. Ewa Falkowska**

Uniwersytet Warszawski

**E**rozja rzeki i transport rumowiska (materiału niesionego przez rzekę) nie przebiegają tak samo w obrębie całej doliny. Wzdłuż jej biegu można wyróżnić odmienne odcinki. Ich obecność nie wynika tylko z ich położenia względem źródeł i ujścia rzek (podział na młodociane, dojrzałe i starcze odpowiadające biegowi górnemu, środkowemu i dolnemu rzeki). Jedną z przyczyn takiego zróżnicowania może być także budowa geologiczna obszaru rozcinanego przez rzekę: inaczej przebiega rozwój doliny rozcinającej skały miękkie, inaczej twarde. Różnice te mają odzwierciedlenie w spadkach dna doliny i jej szerokości.

Istotne znaczenie może mieć także aktywność tektoniczna takiej strefy.

Bezpośrednim powodem ewolucji środowiska rzecznego są także różnice pomiędzy przepływami ekstremalnymi, czyli wezbrzeniami i niżówkami (bardzo niskimi stanami rzek). Przykładem takiej ewolucji może być rozwój doliny Wisły środkowej u schyłku plejstocenu i w holocenie.

## Wiślane ewolucje

Schyłek plejstocenu zapisał się w dolinie Wisły intensywnym nadbudowywaniem jej dna przez przeciążoną rumowiskiem roztokową rzekę. Proces ten przebiegał w warunkach braku zwartej pokrywy leśnej i obecność wieloletniej zmarzliny. Czynniki te, ograniczając infiltrację wód, faworyzowały spływ powierzchniowy. Stopniowe ocieplenie klimatu doprowadziło do zwiększenia skali infiltracji wód opadowych i wzrostu znaczenia odpływu podziemnego. Zmniejszeniu różnic pomiędzy przepływami ekstremalnymi towarzyszyło wykształcenie przez Wisłę koryta meandrowego. Najpierw były to koryta o większych promieniach krzywizn. Okres optimum klimatycznego holocenu (okres atlantycki 8-6 tys. lat temu) zapisał się w dolinie Wisły środkowej wykształceniem najmniejszych meandrów. Charakterystycznym osadem aluwialnym z tego okresu są gliniaste osady wezbraniowe (mady), osiagające w dolinie Wisły środkowej nawet 7 m miąższości.

Okolo 300-400 lat temu reżim hydrologiczny rzek na Niżu Polskim zaczął się zmieniać. Przyczyną zmian był rosnący wpływ gospodarki człowieka, który wycinał lasy pod uprawę. Spowodowało to zwiększenie spływu powierzchniowego i powrót dużych różnic natężenia przepływów ekstremalnych.

Efektom był „powrót” rzeki do przeciążonego rumowiskiem koryta roztokowego (tzw. dziczenie oraz przeobrażenie powierzchni dna doliny). Coraz gwałtowniejsze przepływy wezbraniowe w różnym stopniu przeobraziły poszczególne odcinki równi zalewowej doliny nizinnej Wisły. Głównym czynnikiem różnicującym działalność wód wezbraniowych na jej poszczególnych odcinkach jest budowa geologiczna. Dolina Wisły jest formą stosunkowo młodą. Jej kształtowanie rozpoczęło się dopiero po ustąpieniu ostatniego na tym terenie lądolodu skandynawskiego (230 tys. lat



**Dr hab. Ewa Falkowska**

jest geologiem, pracownikiem Katedry Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych Wydziału Geologii UW. Zajmuje się związkami genezy form rzeźby terenu na Niżu Polskim z kształtowaniem się właściwości fizyko-chemicznych budujących je osadów. Badania te służą analizie zagrożeń, jakie dla środowiska geologicznego wynikają z lokalizacji inwestycji i działalności gospodarczej.

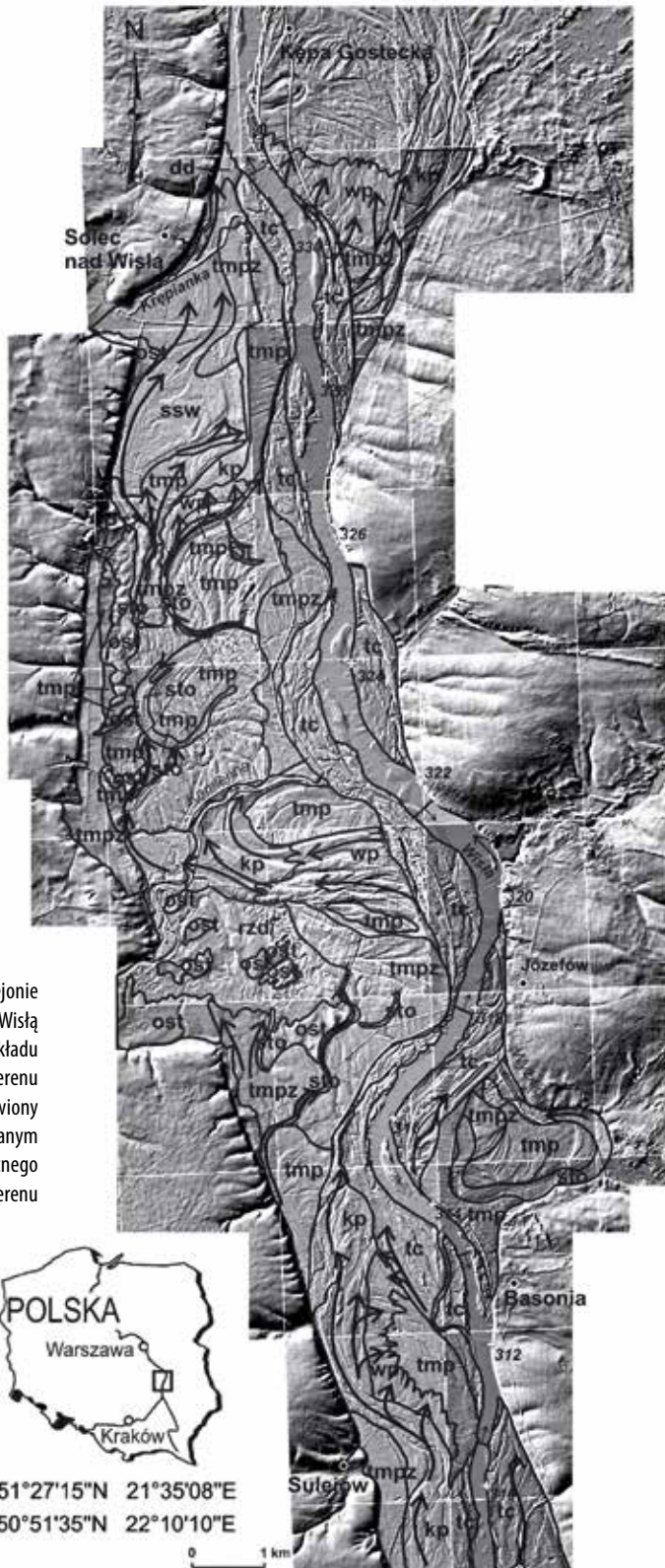
ewa.falkowska@uw.edu.pl



## Metale ciężkie w wodach rzecznych



Metale ciężkie występują w wodach rzecznych w formie rozpuszczonej, w formie agregatów wytrąconych z roztworów bądź w postaci zaabsorbowanej przez mineralne oraz organiczne składniki rumowiska rzecznej. Największy ładunek metali ciężkich transportowany jest w rzekach wraz z rumowiskiem unoszonym (transportowanym w zawieszynie – suspensji). Około 90–99% tego ładunku związana jest z transportem cząstek frakcji < 63 µm.





Dolina Wisły w rejonie Solca nad Wisłą – przykład układu form rzeźby terenu przedstawiony na cieniowanym obrazie numerycznego modelu terenu

tmpz, tmp, kp, ssw, rzd, sto, wp, tc, wp, dd, ost  
 symbole form rzeźby terenu

 kierunki przepływu wód powodziowych  
 próg w podłożu aluwii

temu – schyłek zlodowacenia). W miejscach, gdzie podłoże doliny jest zbudowane ze skał o większej odporności na erozję rzeczną, czyli glin morenowych (lodowcowych) czy ilów, tworzą one tak zwane morfologiczne kulminacje. Formy takie stabilizują erozję wgłębną rzeki. Strefy występowania w korytach rzek na Niżu Polskim kulminacji podłoża zbudowanych z odpornych na erozję skał są także miejscami powstawania zatorów lodowych.

Przykładem takiej formy jest tzw. próg żoliborski w Warszawie. W 2015 r. w czasie wyjątkowej w historii pomiarów niżówki w korycie Wisły można było obserwować tu głazy leżące na powierzchni warstwy ilów neogenu. Formy takie w korytach rzek na Niżu Polskim nie są rzadkością i bywają nazywane „rafami”. Miejsca takie ze względu na stabilność dna były w przeszłości wykorzystywane jako brody. Powstanie większości miast nad środkową Wisłą miało przypuszczalnie genezę związaną z funkcjonowaniem takich przepraw. Najczęściej jednak skały starszego podłoża są przykryte warstwą luźnych osadów korytowych (w tym wypadku piasków z niewielką domieszką żwirów). W czasie przechodzenia fali wezbraniowej wraz z podnoszeniem się poziomu wody obniża się także powierzchnia dna koryta poprzez unoszenie luźnych osadów. W ten sposób może dojść do odsłonięcia powierzchni zbudowanej z odpornych skał, której rzeźba oddziałuje na układ nurtu wielkich wód, kierując go przy każdym wezbraniu w te same strefy równi zalewowej. Takie powtarzające się przepływy wezbraniowe usunęły w niektórych strefach częściowo lub w całości gliniaste mady z optimum klimatycznego holocenu. Śladem takich przepływów są także różnej wielkości tak zwane rynny erozji wezbraniowej. Świadectwem takich zdarzeń w Warszawie są jeziora Czerniakowskie i Kamionkowskie. W niektórych przypadkach rynny erozyjne zostały wypełnione współczesnym osadem wezbraniowym – bardziej pylastym i piaszczystym. Identyfikacja stref trwałej koncentracji przepływów wezbraniowych jest niezwykle istotna dla oceny stabilności budowli regulacyjnych i ochrony przeciwpowodziowej.

Obserwacje przebiegu awarii wałów przeciwpowodziowych, jakie w dolinie Wisły zdarzyły się w ostatnich latach (np. 1997, 2010, 2012), dowodzą, że nie rozmyła ich woda przelewająca się przez koronę. Najczęstszą przyczyną awarii były deformacje filtracyjne przebiegające w podłożu wałów, polegające na zniszczeniu struktury gruntu przez przepływającą z dużą prędkością wodę podziemną (skoncentrowany przepływ wypłukał luźny, piaszczysty osad). Strefami predysponowanymi do powstania takich deformacji są wypełnione luźnym osadem korytowym rynny erozji wezbraniowej. Ich obecność w danej strefie związana jest z budową geologiczną koryta. Identyfikacja odcinków wałów powodziowych zagrożonych awarią może zatem opierać się na analizie rzeźby powierzchni równi zalewowej.

## Różnorodność koryt

**Reżim hydrologiczny** rzeki rozumiany jako charakterystyka przepływu wód i transportu rumowiska w roku hydrologicznym odzwierciedla się przede wszystkim w kształcie koryta rzeczno. Powszechnie wyodrębnia się trzy główne typy rzek posiadających określony kształt – wzór koryta. Są to: **rzeki meandrujące**, posiadające zwarte, wąskie i głębokie oraz kręte koryta; **rzeki roztokowe** posiadające szerokie i płytkie, wielonurtowe koryta z licznymi wypami i mieliznami; **rzeki prostolinijne** – proste odcinki koryt, których kształt ma przeważnie założenia strukturalne (ich kształt i przebieg związany jest z granicami wychodni odpornych na erozję skał. Obok nich w literaturze wymienia się także wielokorytowe **rzeki anastomozujące** oraz **błądzące**.

Występowanie w dolinach rzek na Niżu Polskim kulminacji podłoża jest zjawiskiem powszechnym, ponieważ, jak już wspomniano, wynika z niedojrzałości krajobrazu tych form. Ta specyficzna cecha środowisk fluwialnych obszaru postglacjalnego, jakim jest obszar Niżu Polskiego, ma szerokie implikacje praktyczne, istotne dla zagospodarowania stref korytowych i całych obszarów równi zalewowych dolin rzek na Niżu Polskim.

## Metaliczna układanka

Charakter procesów rzecznych wpływa także na dystrybucję w osadach aluwialnych zanieczyszczeń niesionych przez rzekę, które stanowią kolejny ślad działalności człowieka w tym środowisku. W ocenie skali antropopresji na obszarze zlewni czy doliny rzeki rolę elementów wskaźnikowych odgrywać mogą metale ciężkie. Ich obecność świadczy o degradacji środowiska. Wielkość transportu metali ciężkich zależy od ich właściwości fizyko-chemicznych oraz od dynamiki i właściwości chemicznych środowiska wodnego.

O dystrybucji metali ciężkich w osadach rzecznych decyduje w dużym stopniu rodzaj skał, jakie występują w rumowisku; zawartość minerałów ilastych, ich skład mineralny, zawartość substancji organicznej, zawartość węglanów, tlenków i wodorotlenków żelaza itp. Na przestrzenny rozkład metali ciężkich w osadach budujących równię zalewową wpływają obok właściwości chemicznych środowiska także procesy decydujące o transporcie i depozycji rumowiska zawieszono (osadów o drobnej frakcji transportowanej w zawieszynie). Zależą one od reżimu hydrologicznego rzeki oraz geomorfologicznych warunków przepływu i depozycji. Najniższe zawartości metali

ciężkich są związane ze strefami o większej dynamice przepływu po powierzchni równi zalewowej. Niezwykle istotne dla prowadzonej gospodarki w dolinie jest prognozowanie, w których strefach istnieje groźba rozmywania wcześniej zdeponowanych osadów, zawierających znaczący ładunek metali ciężkich. Analizy takie w sposób skuteczny prowadzić można w oparciu o rozpoznanie morfologii i genezy dna doliny.

W dolinie Wisły środkowej najwyższe koncentracje metali ciężkich występują w obrębie osadów budujących stożki napływowe utworzone przez wody wezbrań oraz w obrębie starorzeczy. Najniższe zawartości metali ciężkich występują w osadach wypełniających kanały przepływów powodziowych na obszarach równi zalewowych.

## Wyzwanie dla badacza

Zróżnicowanie budowy geologicznej stref korytowych dolin rzecznych (szczególnie morfologia i litologia dna koryta) warunkują możliwości lokalizacji ujęć wodnych. Eksploatowane w Warszawie infiltracyjne ujęcia poddenne („Gruba Kaśka” ujęcia „Praga Bis”, a także ujęcia poddenne na lewym brzegu – PU-1, PU-2, PU-3) wymagają odpowiedniej miąższości warstwy piaszczystych aluwii, z których ujmowana jest woda systemem promieniście ułożonych drenów. Miąższość piaszczystych aluwii korytowych na odcinku Wisły warszawskiej jest zmienna i wynosi od zera do ok. 20 m. Znalezienie miejsc odpowiednich na ich lokalizację nie było zadaniem łatwym. Na przykład w rejonie mostu średnicowego czy w linii biegnącego pod dnem Wisły tunelu II linii metra w korycie brak jest w zasadzie warstwy aluwialnej. Tunel II linii metra biegnie w obrębie serii słabo przepuszczalnych ilów neogenu, które na warszawskim odcinku koryta Wisły tworzą kilka morfologicznych kulminacji.

Różnorodność czynników kształtujących charakter przepływu wód rzecznych, a także różnorodność inicjalnych warunków powstawania dolin powoduje, że pomimo świadomości mechanizmów transportu, erozji i depozycji doliny rzeczne nadal stanowią dla badaczy i praktyków trudne wyzwanie. Każdy odcinek doliny rzecznej ma wyjątkową specyfikę, dlatego prawidłowe zagospodarowanie poszczególnych fragmentów dolin wymaga indywidualnego podejścia zarówno na etapie projektowania badań, jak i na etapie wdrażania konkretnego sposobu zagospodarowania jej odcinka. Szczególne znaczenie w rozpoznaniu warunków zagospodarowania odcinków dolin rzecznych mają badania geologiczne. Dokładne poznanie budowy geologicznej dna doliny Wisły jest istotne przy wykorzystywaniu jej zasobów i ma bezpośrednie przełożenie na bezpieczeństwo i jakość życia obywateli.

TOMASZ FALKOWSKI, EWA FALKOWSKA

## SŁOWNICZEK

### Aluwia

– osady deponowane w wyniku działalności wód płynących.

### Agradacja

– nadbudowywanie dna doliny materiałem transportowanym przez rzekę.

### Degradacja

– wcinanie się rzeki i obniżanie dna doliny.

### Rumowisko rzeczne

– materiał stały i rozpuszczony, transportowany przez rzekę.

### Rynny erozyjne

– tworzą się na skutek gwałtownej erozji towarzyszącej przepływowi wód wezbraniowych.

### Stożki wód

#### wezbraniowych

– tworzą się u wylotu rynien erozyjnych w wyniku osadzania, depozycji materiału pobranego z tarasu zalewowego.

Chcesz wiedzieć więcej?

Piskozub A. (red.) (1982). *Wisła, monografia rzeki*. Warszawa: Wyd. Komun. i łączn.

Miller J.R., Orbock Miller S. (2007). *Contaminated Rivers: A Geomorphological-Geochemical Approach to Site Assessment and Remediation*. Dordrecht: Springer.

Starkel L. (2001). Historia doliny Wisły od ostatniego zlodowacenia do dziś. *Monografie IGiPZ PAN*, 1. Warszawa, ss. 263.