

Tomasz FALKOWSKI

Warsaw University of Life Science (Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego)

## BUDOWA GEOLOGICZNA DOLIN RZEK NA NIŻU POLSKIM I JEJ ZWIĄZEK Z WARUNKAMI FORSOWANIA KORYT

### The Polish lowland rivers valleys geological structure and its relationship with channel crossing conditions

**Streszczenie:** Istotnym czynnikiem zapewnienia swobody manewrowej wojsk lądowych na obszarach nizinnych jest umiejętność pokonywania przeszkód wodnych, w tym szczególnie koryt rzecznych. Złożona geneza (poligeneza) odcinków dolin rzecznych na Niżu Polskim jest przyczyną ogromnego zróżnicowania budowy geologicznej ich odcinków. Poligeneza warunkuje także specyfikę przebiegu ewolucji systemu rzecznego, której motorem są zmiany klimatu i rosnący wpływ człowieka na warunki hydrologiczne zlewni. Ponieważ poszczególne genetyczne odcinki różnią się charakterem przebiegających w ich obrębie procesów, to także ich specyfika zapisana jest w rzeźbie dna doliny i w zróżnicowaniu występujących na jej powierzchni gruntów. Wybór odpowiednich miejsc do przepraw, czy forsowania koryt rzecznych może opierać się na identyfikacji określonego zestawu cech powierzchni terenu, którą prowadzić można metodami teledetekcji lotniczej, czy satelitarnej.

**Słowa kluczowe:** forsowanie, dolina rzeczna, koryto, budowa geologiczna

**Abstract:** An important factor in ensuring the maneuvering freedom of land forces in lowland areas is the ability to overcome water obstacles, especially riverbeds. The complex genesis (polygenesis) of the river valley sections in the Polish Lowlands is the reason for the great diversity of their geological structure. Polygenesis also determines the specificity of the course of the evolution of the river system, which is driven by climate change and the growing human influence on the hydrological conditions of the catchment area. Since individual genetic sections differ like the processes within them, their specificity is also written in the relief of the valley bottom and the diversity of the land on its surface. The selection of appropriate places for crossing or forcing river beds may be based on identifying a specific set of land surface features, which can be carried out using aerial or satellite remote sensing methods.

**Keywords:** Crossing river channels, river valley, river channel, geological structure

## 1. Wstęp

Istotnym czynnikiem umożliwiającym odpowiednią manewrowość wojsk lądowych na obszarach nizinnych jest swoboda w pokonywaniu przeszkód wodnych [25, 33]. Swobodę taką daje, poza odpowiednim wyposażeniem technicznym także umiejętność oceny naturalnych warunków forsowania. Są to przede wszystkim głębokość koryta, wytrzymałość gruntów budujących dno koryta na obciążenia statyczne i dynamiczne, a także możliwość podejścia do przeszkody wodnej. W praktyce źródłem naturalnych ograniczeń swobody forsowania koryt jest zatem rzeźba i budowa geologiczna najniższego poziomu genetycznego w dolinie rzecznej, określanego jako równia zalewowa [1] (nazywanego także tarasem zalewowym, czy terasą zalewową).

W hydrologii i geologii (geomorfologii) ze względu na spadki rzeki dzieli się [3] na: górskie o spadku większym jak 5%, wyżynne, których spadek mieści się przeciętnie w zakresie 1–3% oraz nizinne o spadkach w zakresie 0,05–0,5%. Rzeki górskie i wyżynne mają zazwyczaj płytkie koryta uformowane w gruntach skalistych lub gruboziarnistych [2, 34] o dużej wytrzymałości na obciążenia. Ich forsowanie poza okresami wezbrań, zazwyczaj gwałtownych (np. [38]) nie wymaga szczególnych przygotowań.

Największą różnorodnością charakteryzują się rzeki nizinne, w klasycznych koncepcjach rozwoju rzeźby obszaru lądów określane jako dojrzałe (np. [2]). W dolinach takich rzek szeroki cokół erozyjny wypełniony jest dużej miąższości serią osadów rzecznych (aluwiów), w których wykształcone jest koryto (rys. 1, 2.1, 2.2). Rzeki takie określa się także jako aluwialne [23]). Budowa dolin rzek aluwialnych umożliwia swobodę ich ewolucji [35], a więc dostosowywanie charakteru procesów erozji i sedymentacji do zmian reżimu hydrologicznego. W ramach ewolucji dolina jest pogłębiana, albo wypełniana materiałem aluwialnym [22], a zmiany bilansu aluwiów w pierwszym rzędzie zaznaczają kształtem koryta (wzorem/rozwinięciem koryta; [1, 8, 9, 32]). E. Falkowski określił takie rzeki jako dojrzałe swobodne [8].

Warunki forsowania koryt rzek dojrzałych swobodnych uznać można za trudne. Przede wszystkim wzrost natężenia przepływu w korycie i wynikający stąd wzrost energii przepływu powoduje pogłębienie koryta. W czasie opadania fali wezbraniowej dno koryta jest nadbudowywane. Morfologia dna zmienia się także w efekcie przesuwania się w dół biegu makro form korytowych – dużych odsypów. Materiał podlegający przeróbce charakteryzuje się często bardzo słabym zagęszczeniem ( $I_D \leq 0,33$ ), a zatem jego wytrzymałość na obciążenie statyczne i dynamiczne jest bardzo mała [31]. Świeżo zdeponowane piaski korytowe mogą bardzo łatwo pod wpływem drgań ulegać upłynięciu (por. [37]).

W przypadku rzek o niewyrównanym przepływie, czyli o dużych różnicach pomiędzy stanami i przepływami ekstremalnymi miąższość warstwy osadów korytowych (głównie piasków), która może być wymieniana w czasie wezbrania (tzw. głębokość przeróbki) może osiągać wiele metrów. Na przykład w korycie Wisły, w jej środkowym biegu dochodzi ona do około 20 metrów [18]. W przypadku doliny dolnego Bugu głębokość przeróbki osiąga wartość 7–10 metrów [28].

Kolejnym czynnikiem utrudniającym forsowanie rzek dojrzałych swobodnych są zmiany położenia samego koryta, lub tylko linii głównego nurtu [8]. Pojawiają się one w korycie jako efekt jego migracji bocznej, czy przerzutów (awulsji; [26]). Obecność na

powierzchni dna doliny młodych, niezagęszczonych aluwiiów (efektu migracji bocznej) oraz porzuconych odcinków koryt (efektu awulsji lub/i migracji bocznej), a także występowanie wypełnionych wodą rynien erozji wezbraniowej (przykładami takich form mogą być jeziora Czerniakowskie i Kamionkowskie w Warszawie; [36]) utrudniać może także samo podejście do koryta.

W korytach rzek nizinnych znajdują się jednak miejsca, gdzie forsowanie jest łatwiejsze, a zapiski o funkcjonowaniu w tych miejscach brodów sięgają setek lat wstecz. Jak się okazuje [8, 9, 15] obecność brodów ma ścisły związek z budową geologiczną dolin i ich stref korytowych.

## **2. Zarys kształtowania budowy geologicznej odcinków dolin rzecznych na Niżu Polskim**

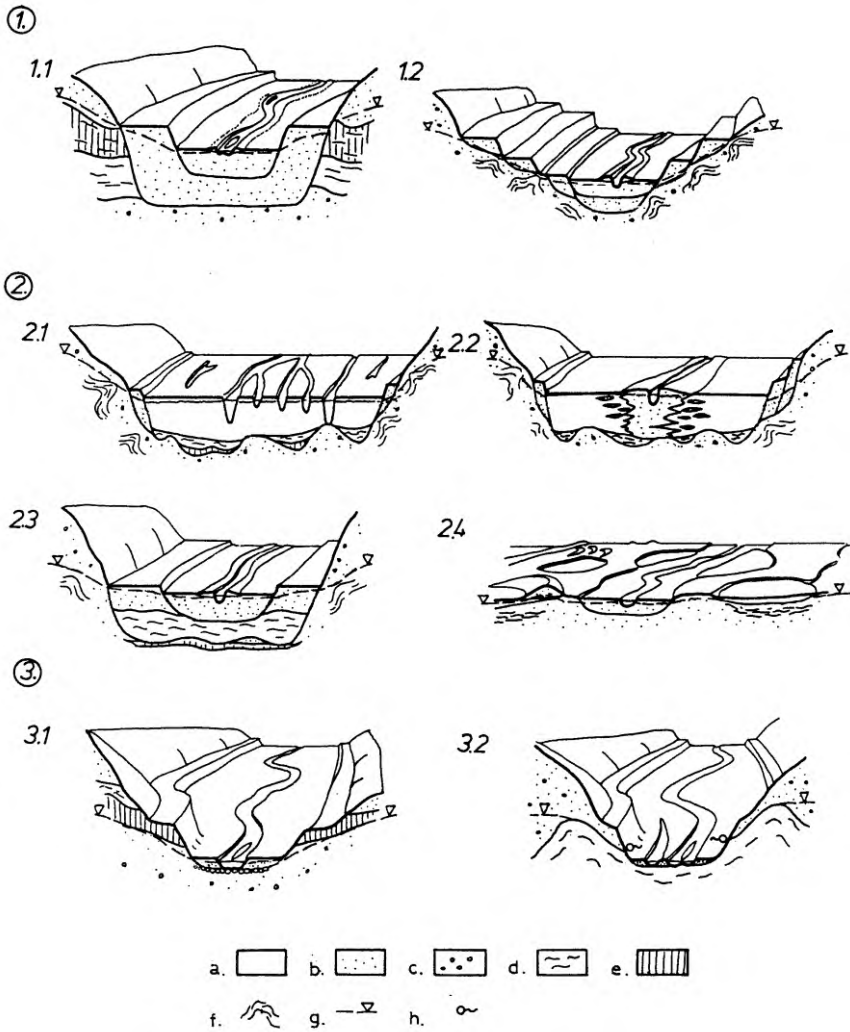
Doliny rzeczne na obszarze Niżu Polskiego (i na innych obszarach o rzeźbie polodowcowej) uznać można za młode. Ich kształtowanie rozpocząć się mogło dopiero po stopieniu ostatniego na danym obszarze lądolodu skandynawskiego [24, 27]. W przypadku centralnej Polski było to ok. 230 tys. lat temu (po zlodowaceniu Odry), a w przypadku północnej i zachodniej Polski około 14 tysięcy lat (po ustąpieniu lądolodu zlodowacenia Wisły). W obu przypadkach okres rozwoju dolin w świetle uznawanych schematów rozwoju rzeźby fluwialnej (np. [2]) uznać można za bardzo krótki.

W formujący się po zlodowaceniu system odpływu powierzchniowego włączane były ciągi obniżen polodowcowych takich jak jeziora wytopiskowe, termokrasowe (powstające w efekcie wytopienia wieloletniej zmarzliny), czy szlaki odpływu wód roztopowych lodowca. Rozmiary zaadaptowanych obniżen, a także podaż rumowiska z ich zlewni warunkowały, czy ślady pierwotnej genezy są nadal czytelne w budowie geologicznej i geomorfologii takich dolin (określanych jako poligeniczne [16, 17]).

Zbyt mała podaż materiału okruchowego do pojeziornego odcinka doliny mogła doprowadzić do sytuacji, w której w zaadaptowanym obniżeniu dominowała ciągle depozycja jeziorna, czy bagienna. W masie powstających osadów (organicznych) mineralny materiał aluwialny (piaski) jest rozproszony (rys. 1, 2.1, typ „topiel”), a koryto, czy częściej całe systemy korytowe wykształcone są w gruntach organicznych. Przykładami takich form mogą być odcinki Krutyni i Łyny [8], Orzyca [4], czy Rospudy [19].

Większa podaż rumowiska do koryta doprowadzić mogła do wykształcenia w obniżeniu pojeziornym aluwialnej, piaszczystej grobli. Jej rozwój przypomina rozbudowywanie przez rzekę u jej ujścia delty, która w końcu przetnie obniżenie. Poza strefą aluwialnej grobli (delty) przebiegać może w obrębie takich odcinków depozycja utworów jeziornych i bagiennych (rys. 1, 2.2). Przykładem takiej formy może być dolina środkowej Tocznnej, dopływu Bugu [12, 13], czy odcinek doliny Wisły na obszarze Żuław Wiślanych.

Duża dostawa rumowiska, jaka w historii doliny najczęściej była związana z ochłodzeniami [8] mogła w zaadaptowanym na dolinę obniżeniu doprowadzić do całkowitego pogrzebania wcześniej zdeponowanych osadów jeziornych (rys. 1, 2.3). Przykładem takiej budowy może być dolina Wkry w okolicach Zielunia [14].



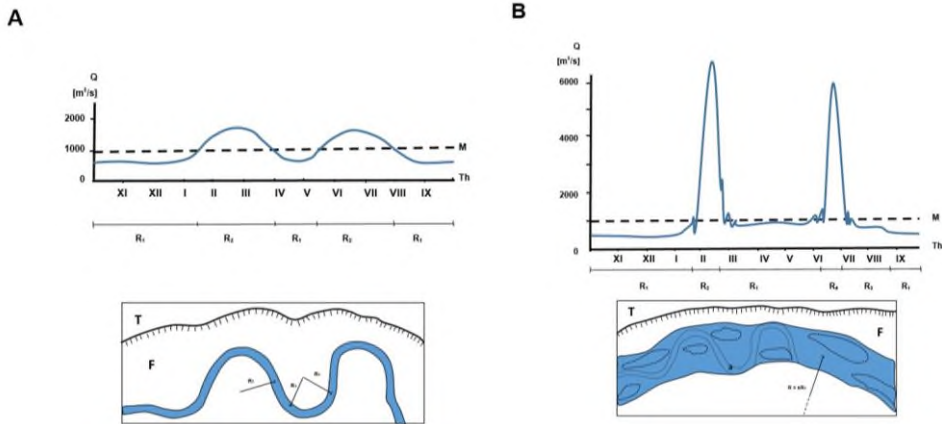
**Rys. 1.** Zróżnicowanie warunków odpływu podziemnego poligenicznych odcinkach dolin rzecznych na Niżu Polskim (na podstawie [12, 13]). Objaśnienia: 1 – odcinki erozyjno-akumulacyjne, 2 – odcinki pojeziorne (2.1 – „topiel”, 2.2 – jeziorno-deltowy, 2.3 – „pogrzebane jezioro”, 2.4 – sandrowy), 3 – odcinki przelomowe; a – grunty organiczne, b – piaski, c – żwiry, d – grunty spoiste, e – glina zwałowa, f – zaburzenia glacictektoniczne, g – zwierciadło wód podziemnych, h – źródło

Inny typ poligenezy reprezentują odcinki dolin rzek biegnące szlakami dawnego odpływu wód roztopowych lodowca (rys. 1, 2.4) takich jak sandry czy pradoliny. Są to często rozległe obszary piaszczyste charakteryzujące się także bardzo małymi deniwelacjami i niewielkimi spadkami płynących w ich obrębie rzek. W dnach takich dolin rozpoznać można także zaadoptowane obniżenia powstałe w wyniku wytopienia zagrzebanych brył martwego lodu. W obniżeniach tego typu przebiega, także obecnie depozycja gruntów organicznych. Przykładami mogą być leżące na obszarze sandru kurpiowskiego doliny Orzyca, Szkwy, czy Rozogi, a także leżąca w obrębie pradoliny Raciąskiej [30] Wkra w okolicach Bieżunia [14].

Pomiędzy odcinkami pojeziornymi, a niekiedy także w obrębie nich samych występują strefy, gdzie powierzchnia podłoża doliny tworzy morfologiczne kulminacje [8, 12, 13]. Budujące ją utwory spoiste, czy gruboziarniste silnie zagęszczone wykazujące większą odporność na rozmywanie (tzw. grunty trudno rozmywalne [8, 15]. Utwory trudno rozmywalne znajdują się w takich odcinkach w zasięgu przeróbki wezbraniowej, a niekiedy odsłaniają się także w dnie koryta. Strefy występowania takich kulminacji zaznaczają się często na profilu koryta i dna doliny wyraźną zmianą spadków (Ostrowski i inni 2021). Często takie odcinki dolin mają także charakter przełomów [13].

Kolejnym elementem różnicowania budowy geologicznej odcinków dolin rzek nizinnych były procesy związane z ewolucją środowiska fluwialnego, przebiegające u schyłku plejstocenu i w holocenie [7, 8, 32, 35]. Ich mechanizm wynika ze zmian reżimu hydrologicznego rzek będących efektem zmian retencji wodnej (zdolności do zatrzymywania wody na obszarze zlewni). W warunkach dużej retencji, którą gwarantuje np. obecność na obszarze zlewni zwartej szaty roślinnej, spływ powierzchniowy jest ograniczony. W bilansie wodnym zlewni zyskuje wtedy na znaczeniu infiltracja wód opadowych. Rzeki zasilane są głównie odpływem podziemnym, który jest najbardziej stabilnym elementem bilansu hydrologicznego [20]. Rzeka o wyrównanym przepływie (rys. 2 A) wykształca kręte koryta meandrowe. Spokojne zalewy niewielkich wezbrań takich rzek deponują na powierzchni równi zalewowej drobnoziarniste, spoiste mady.

W przypadku niewielkiej retencji obszaru zlewni, która wynikać może z warunków klimatycznych (obecność wieloletniej zmarzliny uniemożliwiającej infiltrację, czy brak zwartych kompleksów leśnych), lub gospodarczej działalności człowieka (trzebież lasów pod uprawę) zwiększa się spływ powierzchniowy a zmniejsza infiltracja. Stany i przepływy w korycie wykazują w roku hydrologicznym większe zróżnicowanie (rys. 2 B), ponieważ zależą w większej części od spływu powierzchniowego. Spływ powierzchniowy przynosi także do koryt większe ilości materiału okrucowego (rumowiska). W takich warunkach rzeki wykształcają koryta roztokowe (wielonurtowe), z licznymi wyspami i mieliznami. Nadmiar rumowiska w korycie powoduje nadbudowywanie dna doliny. Większa dynamika zalewów powoduje także depozycję innego typu osadów wezbraniowych. Na przykład w sąsiedztwie koryta tworzą je na przemian leżące warstwy gruntów spoistych (glin, glin pylastych i pyłów) i piasków.



**Rys. 2.** Zależność typu rozwinięcia koryta od reżimu hydrologicznego (za E. Falkowskim [10]).  
 Objaśnienia: T – taras nadzalewowy; F – równia zalewowa (taras zalewowy); Th – rok hydrologiczny; Q – przepływ; M – przepływ średni roczny; R – promień krzywizny koryta ( $R_1$  – koryto zbliżone do przepływu średniego rocznego,  $nR_1$  – koryto o przepływie wód wielkich); a – wpisane w koryto roztokowe koryto tej samej wielkości rzeki meandrującej; linią przerywaną zaznaczono odsypy w korycie

W holocenie (ostatnie ponad 11 tysięcy lat) większość rzek (aluwialnych) na Nizinie Polskiej przeszła transformację od rzek meandrujących do rzek roztokowych. Jej przyczyną były zmiany środowiska przyrodniczego zlewni przebiegające w efekcie jej zagospodarowania (głównie trzebieży lasów pod uprawę; [7, 8, 9, 32]). Proces ten określany jest jako *dziczenie rzek* [8, 9]. Dziczenie rzek nie była zjawiskiem synchronicznym na całym obszarze Niziny Polskiej. W przypadku środkowego odcinka Wisły zmiany w zachowaniu się rzeki zaznaczyły się wyraźnie około 300–400 lat temu.

Obserwowane szczególnie w ostatnich latach pogłębianie się różnic między przepływami ekstremalnymi [29] (ciąg dalszy wspomnianych powyżej zmian), a szczególnie wzrost natężenia przepływu wielkich wód spowodował wyeksponowanie elementów budowy geologicznej dolin aluwialnych, które wynikają z ich niedojrzałości morfogenetycznej. Przeróbka wezbraniowa dotarła do powierzchni podłoża aluwium zbudowanego z gruntów trudno rozmywalnych w miejscach, gdzie tworzy ona wspomniane wcześniej morfologiczne kulminacje. Ponieważ występują one także poza strefą koryta, w miejscach takich zwięża się także pas równi zalewowej. Na przykład w Warszawie, gdzie kulminacja występuje na prawie dwudziestokilometrowym odcinku koryta Wisły [9, 18], na odcinku śródmiejskim nazywanym „gorsetem Warszawskim” [30] szerokość pasa równi zalewowej jest porównywalna z szerokością koryta (odpowiednio około 400 i 300 metrów). Stabilność położenia i rzeźby koryta w takich miejscach [11] oraz wytrzymałość budujących dno gruntów ułatwiały w przeszłości jego przekraczanie. Funkcjonowanie brodu było także powodem koncentracji osadnictwa, a w końcu powstania miast. W dolinie Wisły środkowej przykładami takiego związku [15] są poza Warszawą także Solec nad

Wisłą, Janowiec, Puławy, Gołęb, Dęblin czy Góra Kalwaria (Czersk) [9]. W dolinie środkowej Wkry to: Nowy Dwór, Zieluń, Lubowidz, Poniatowo, Biezuń czy Zgliczyn [14].

Ponieważ w większości przypadków kulminacje powierzchni podłoża aluwiiów są w czasie przepływów średnich i niskich wód ukryte pod warstwą aluwiiów korytowych, ich detekcja nie jest prosta. Podstawą dla identyfikacji takich miejsc (a zatem także miejsc dogodnych do forsowania koryt) może być analiza rzeźby powierzchni równi zalewowej. Ograniczenie możliwości pogłębiania koryta w efekcie istnienia kulminacji powierzchni trudno rozmywalnego podłoża powoduje piętrzenie wód wezbraniowych i ich wkraczanie na powierzchnię równi zalewowej za każdym razem w tych samych miejscach. Efektem tego jest specyficzny układ form erozji i depozycji wezbraniowej na powierzchni równi zalewowej [28], który jak wspomniano jest wskaźnikiem określonej morfodynamiki odcinka doliny.

### **3. Znaczenie budowy geologicznej doliny dla warunków forsowania koryt**

Przedstawione powyżej przyczyny zróżnicowania budowy geologicznej odcinków dolin rzek Niżu Polskiego nie wyczerpują całej różnorodności możliwych przypadków. Charakter budowy geologicznej odcinków koryt zależy bowiem od: charakteru inicjalnych warunków powstawania doliny, przebieg procesu ewolucji środowiska fluwialnego, a także ze zmian wynikające z zagospodarowania doliny, czy zabudowy koryta.

Najważniejszym utrudnieniem dla forsowania koryt rzecznych przez pojazdy pancerne i opancerzone jest występowanie w strefie korytowej gruntów słabych/słabonośnych. Za grunty słabonośne umownie przyjmuje się: grunty organiczne (namuły, torfy, gytie), grunty spoiste w stanie gorszym niż plastyczny, grunty niespoiste w stanie luźnym, a także niektóre grunty antropogeniczne (por. [37]).

Obecność w korycie i w jego sąsiedztwie ściśliwych gruntów organicznych o znaczących miąższościach jest cechą poligenicznych głównie (pojeziornych) odcinków dolin rzecznych. O skali utrudnień jakie wynikać mogą dla prób forsowania takich stref świadczy przykład z historii wojny obronnej w 1939 roku [21], kiedy to skromny pododdział Wojska Polskiego (Korpusu Ochrony Pogranicza) pod dowództwem kapitana Władysława Raginisa broniący rejonu ujścia Biebrzy do Narwi zatrzymał XIX niemiecki korpus pancerny dowodzony przez generała Heinza Guderiana. Cały odcinek doliny Narwi od Tykocina do Łomży jest zaadaptowanym na dolinę obniżeniem wytopiskowym [8, 27]. Reliktem jeziornej genezy jest znajdujące się we wschodniej części Bagna Wizna jezioro Maliszewskie, gdzie miąższość utworów organicznych przekracza 20 metrów [39]. Narew płynie strefą piaszczystej grobli usypanej w obrębie tego obniżenia (por. rys 1, 2.2).

Trudne warunki forsowania występować mogą także w miejscach, gdzie współczesne aluwia korytowe charakteryzują się niewielkim zagęszczeniem. Taki grunt łatwo ulega upłynnieniu np. w wyniku oddziaływania drgań generowanych np. przez pojazdy wojskowe. Upłynnienie gruntów [37] możliwe jest także w przypadku znajdujących się (nawet okresowo, w czasie wezbrania) w strefie saturacji serii utworów wezbraniowych rzeki roztokowej („dzikiej”; por. [17]).

Strefy wychodni gruntów słabych utrudniać mogą przekraczanie obszaru równi zalewowej, a zatem także samo podejście do koryta. Przykładem takich miejsc mogą być charakterystyczne dla przeciążonych rumowiskiem („dzikich”) rzek strefy zabagnień podskarpowych. W dolinach takich rzek kolejne wezbrania powodują szybsze nadbudowywanie strefy przyległej do koryta. W efekcie odpływ wód ze stref podskarpowych staje się utrudniony. W obniżeniach powierzchni tarasowej, gdzie stagnują wody powierzchniowe przebiega depozycja torfów i namulów. Przykładem może być rejon Ursynowa w Warszawie. Na tarasie rzeczonym (doliny Wisły) u podnóża skarpy wysoczyzny morenowej miąższość gruntów organicznych (torfów i namulów) osiąga niekiedy 5 m.

Grunty organiczne wypełniać mogą także starorzecza, czy erozyjne rynny przepływów wezbraniowych [6].

Zdecydowanie najlepsze warunki dla przekraczania koryta przez ciężkie pojazdy wojskowe panują w strefach kulminacji trudno rozmywalnego podłoża aluwii. Ze względu na złożoną historię geologiczną takich miejsc, osady podłoża aluwii są zawsze silnie skonsolidowane. Ich powierzchnię pokrywają często także rezydualne bruki. W przypadku szerokich koryt istotna może być morfologia kulminacji. Na przykład w rejonie „progu żoliborskiego” w Warszawie (fragment wspomnianej wcześniej kulminacji podłoża), wychodnia gruntów trudno rozmywalnych zajmuje ok. 2/3 szerokości koryta. W jego pozostałej części nawet w warunkach stanów niskich głębokość wynosi ok. 6 m. A zatem plan forsowania musi być konstruowany elastycznie w nawiązaniu do warunków naturalnych.

## **4. Podsumowanie**

Przedstawione powyżej przykłady zróżnicowania warunków geologicznych istotnych dla forsowania koryt rzek na Niżu Polskim nie wyczerpują całej różnorodności form. Dużą skuteczność w podejmowaniu decyzji o wyborze konkretnego miejsca przeprawy umożliwi wiedza dotycząca nie tylko topografii doliny, ale także uwarunkowań dynamiki współczesnych procesów korytowych. Koryta rzeczne są na obszarach nizinnych strefami o największej dynamice zmian, a głównym czynnikiem warunkującym zachowanie się rzeki w różnych warunkach hydrologicznych jest budowa geologiczna doliny. Na Niżu Polskim jest ona efektem nie tylko procesów erozji i sedymentacji rzecznej, ale odzwierciedla także glacialną genezę tego obszaru. Ponieważ poszczególne genetyczne odcinki różnią się charakterem przebiegających w ich obrębie procesów, to także ich specyfika zapisana jest w rzeźbie dna doliny i w zróżnicowaniu występujących na jej powierzchni gruntów. Wybór odpowiednich miejsc do przepraw, czy forsowania koryt rzecznych może opierać się zatem na identyfikacji określonego zestawu cech powierzchni terenu, którą prowadzić można metodami teledetekcji lotniczej, czy satelitarnej.



## 5. Literatura

1. Allen J.R.L.: Physical processes of sedimentation. George Allen and Unwin LTD, London 1970.
2. Davis W.M.: The geographical cycle. *Geographical Journal*. 14, 481–504, 1899.
3. Dębski K.: *Hydrologia*, Arkady, Warszawa, p. 368, 1970.
4. Falkowska E.: Glacial morphogenesis of uplands of the Warta Glaciation in Poland as a control on heavy metal distribution in deposits; *Geological Quarterly*, 53, 3, 293-304, 2008.
5. Falkowska E., Falkowski T.: Zróżnicowanie litologii i właściwości sorpcyjnych utworów powierzchniowych oraz ich znaczenie w ochronie przed rozprzestrzenianiem się zanieczyszczeń na obszarach o rzeźbie glacialnej na przykładzie fragmentu doliny Supraśli; *Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu* 246, 47-55, 1994.
6. Falkowska E., Falkowski T.: Trace metals distribution pattern in floodplain sediments of a lowland river in relation to contemporary valley bottom morphodynamics. *Earth Surf. Processes* 40. 7, 876–887, 2015.
7. Falkowski E.: Ewolucja holocenijskiej Wisły na odcinku Zawichost–Solec i inżyniersko-geologiczna prognoza jej dalszego rozwoju. *Biuletyn Instytutu Geologicznego nr 198, Tom IV “Z badań geologiczno-inżynierskich w Polsce”*, 57-148, 1967.
8. Falkowski E.: Historia i prognoza rozwoju układu koryta wybranych odcinków rzek nizinnych Polski; *Biuletyn Geologiczny*, tom 12, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, 5-121, 1971.
9. Falkowski E.: Some regularities of the valley floor evolution of the Middle Vistula river valley, w.: Starkel L., *Evolution of the Vistula river valley during the last 15 000 years*; *Geographical Studies, Special Issue 1, IGiPZ PAN*, 9-20, 1982a.
10. Falkowski E.: *Przyroda rzeki*, w: Piskozub A. (red.) *Wisła, monografia rzeki*; Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 85-97, 1982b.
11. Falkowski T., Ostrowski P., Bogucki M., Karczmarsz D.: The trends in the main thalweg path of selected reaches of the Middle Vistula River and their relationship to the geological structure of the river. *Open Geosciences*, 10(1), 554-564, 2018.
12. Falkowski T.: Diversification of conditions and interflow volumes in morphogenetic sections of valleys within the lowland on the example of Toczna river; *Annals of Warsaw Agricultural University - SGGW, Land Reclamation* 28, 31-39, 1997a.
13. Falkowski T.: The importance of recognition of polygeny for the rational utilisation of river valleys in Polish Lowland; *Proceedings of International Symposium “Engineering Geology and the Environment”*, A.A.BALKEMA, 107-111, 1997b.
14. Falkowski T.: Influence of the morphogenetic diversity of the Nida-Wkra river valley stretches on the conditions of underground flow; *Annals of WAU, Land Reclamation* 34, 51-64, 2003.
15. Falkowski T.: Naturalne czynniki stabilizujące wybrane odcinki strefy korytowej Wisły środkowej; *Wydawnictwo SGGW w serii Rozprawy Naukowe i Monografie*, p. 128, 2006.
16. Falkowski T.: Analiza geologicznych uwarunkowań kształtowania się różnorodności siedliskowej dolin rzecznych na Niżu Polskim; *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 70, 342–349, 2015a.

17. Falkowski T.: Różnicowanie warunków przepływu wód współczesnych równi zalewowych na Nizinie Polskiej na przykładzie doliny środkowej Wisły; *Przeгляд Geologiczny* 63, 10/2, 710-714, 2015b.
18. Falkowski T., Ostrowski P., Siwicki P., Brach M.: Channel morphology changes and their relationship to valley bottom geology and human interventions; a case study from the Vistula Valley in Warsaw, Poland. *Geomorphology* 297, 100-111, 2017.
19. Jabłońska E., Falkowski T., Chormański J., Jarzombkowski F., Kłosowski S., Okruszko T., Pawlikowski P., Theuerkauf M., Wassen M. J., Kotowski W.: Understanding the Long Term Ecosystem Stability of a Fen Mire by Analyzing Subsurface Geology, Eco-Hydrology and Nutrient Stoichiometry – Case Study of the Rospuda Valley (NE Poland); *Wetlands* 34, 815–828, 2014.
20. Kiciński T.: Udział wód gruntowych w odpływie całkowitym rzek, *Gospodarka Wodna*, 24, 3, Warszawa, s. 173-175, 1964.
21. Kozłowski E., Wrzosek M.: Historia oręza polskiego 1795-1939, *Wiedza Powszechna*, Warszawa 1984.
22. Lane E.W.: The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering, *American Society of Civil Engineers, Proceedings*, 81, No. 745, p. 17, 1955.
23. Leopold L.B., Wolman M.G., Miller J.P.: *Fluvial processes in geomorphology*. WH Freeman & Co, San Francisco, 504 p. 1964.
24. Lindner L., Marks L.: *Zarys paleogeomorfologii obszaru Polski podczas zlodowaceń skandynawskich*. *Przeгляд Geologiczny* 43, 591–594, 1995.
25. Mądrzycki P., Burek M., Marcinkowska M., Rusewicz M., Ostrowski P.: Potrzeby rozpoznania warunków forsowania koryt rzecznych Niziny Polskiej przez pojazdy wojskowe w świetle normatywów NATO. *Journal of KONBiN* 49 (4) s. 139-155, 2019.
26. Miall A. D.: *The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology*, Springer, 1-582, 1996.
27. Mojski J.E.: *Ziemia polska w czwartorzędzie. Zarys morfogenezy*; *PIG*, Warszawa, p. 404, 2005.
28. Ostrowski P., Falkowski T., Utratna-Żukowska M.: The effect of geological channel structures on floodplain morphodynamics of lowland rivers: A case study from the Bug River, Poland; *Catena* 202, 105209, 2021.
29. Ozga-Zielińska M.: O konieczności określania dla rzek polskich maksymalnych wiarygodnych wezbrań wywołanych maksymalnymi wiarygodnymi opadami. *Forum naukowo-techniczne – POWÓDŹ 1997*, IMGW Warszawa, tom 2, 1-10, 1997.
30. Różycki S.Z.: *Plejstocen Polski środkowej na tle przeszłości w późnym trzeciorzędzie*, PWN, Warszawa, 1972.
31. Smaga A.: Analysis of prognosis of lowland river bed erosion based on geotechnical parameters. *Studia Geotechnica at Mechanics*, 37(4), 57-63., 2015.
32. Starkel L.: The reflection of hydrologic changes in fluvial environment of the temperate zone during the last 15 000 years, w: Gregory J. (red.) *Background to Paleohydrology*, J. Wiley, Chichester, 213-234, 1983.
33. Szelka J.: Pokonywanie przeszkód wodnych według standardów NATO. *Czasopismo inżynierii lądowej, środowiska i architektury*. Jceea, t. Xxxiv, z. 64 (3/i/17), 2017.
34. Twindale C. R.: River pattern and their meaning; *Earth-Science Reviews* 67, Elsevier, 159-218, 2004.

35. Vanderberghe J.: The relation between climate and river processes, landforms and deposits during the Quaternary. *Quatern. Int.* 91, 17–23, 2002.
36. Wierzbicki G., Ostrowski P., Bartold P., Bujakowski F., Falkowski T., Osiński P.: Urban geomorphology of the Vistula River valley in Warsaw. *Journal of maps*, vol. 17, NO. 4, 170-185, 2021.
37. Wiłun Z.: *Zarys Geotechniki*; Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1970.
38. Zieliński T: Catastrophic effects in alpine/foothill fluvial system (a case study from the Sudetes Mts, SW Poland), *Geomorphology* 54, 293-306., 2003.
39. Żurek S.: *Warunki przyrodnicze rozwoju torfowisk Wizna, Zeszyty problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 83, PWRiL, Warszawa 1968.

