

Piotr OSTROWSKI

Warsaw University of Life Sciences SGGW (Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego)

## TELEDETEKCYJNE MOŻLIWOŚCI ROZPOZNANIA MIEJSC DOGODNYCH DO FORSOWANIA KORYT DUŻYCH RZEK NIZINNYCH PRZEZ CIĘŻKIE POJAZDY

### Remote-sensing detection of points for the heavy vehicles crossing in the large lowland riverbeds

**Streszczenie:** Występujące w korytach niektórych rzek odporne na erozję kulminacje stropu podłoża aluwiiw pełni mogą w sprzyjających warunkach hydrologicznych funkcję „mostów geologicznych”, stanowiących miejsca dogodne do forsowania przez ciężkie pojazdy. W artykule omówiono możliwości teledetekcyjnej identyfikacji takich miejsc na podstawie wspólnej analizy zdjęć lotniczych, wysokorozdzielczych zdjęć satelitarnych oraz Numerycznych Modeli Terenu na podstawie lotniczego skaningu laserowego (ALS). Efektem prowadzonych prac była identyfikacja w dnach dolin dużych rzek nizinnych form rzeźby związanych z możliwością forsowania koryta przez ciężkie pojazdy. Pozwoliło to na sformułowanie ogólnych założeń SYSTEMU WYZNACZANIA STREF DOGODNYCH DLA PRZEPRAW Z WYKORZYSTANIEM PLATFORM POWIETRZNYCH.

**Słowa kluczowe:** forsowanie rzek, teledetekcja, rzeki nizinne, budowa geologiczna koryta rzecznoego, kulminacje stropu podłoża aluwiiw, mosty geologiczne

**Abstract:** The erosion-resistant culminations of the alluvial subsoil occurring in the riverbeds of some rivers may play the role of "geological bridges" under favorable hydrological conditions, constituting places convenient for forcing by heavy vehicles. The article discusses the possibility of remote-sensing identification of such places based on a common analysis of aerial images, high-resolution satellite images and Digital Terrain Models based on Airborne Laser Scanning. The result of the work was the identification of relief forms in the valley bottoms of large lowland indicating the available locations for heavy vehicles forcing the bed. This allowed for the formulation of general assumptions of the SYSTEM OF DESIGNING ZONES CONVENIENT FOR CROSSROADS USING AIR PLATFORMS.

**Keywords:** crossing rivers, remote sensing, lowland rivers, geological structure of the river channel, sub-alluvial bedrock protrusions, geological bridges

## 1. Wprowadzenie

Mimo ogromnego rozwoju technologicznego zarówno ciężkiej techniki wojskowej, jak i środków rozpoznania, możliwość skutecznego forsowania dużych rzek nizinnych przez ciężkie pojazdy nadal jest jednym z kluczowych czynników determinujących przebieg konfliktów zbrojnych, czego przykładem może być chociażby trwająca obecnie wojna kinetyczna w Ukrainie. Duże rzeki nie tylko wyznaczają granice poszczególnych teatrów operacyjnych, ale także stanowią istotny element wpływający na możliwość prowadzenia wysoce manewrowych działań zbrojnych [14, 17]. Zdolność do pokonywania dużych rzek na obszarze Niziny Wschodnioeuropejskiej decyduje nie tylko o zdolności manewrowej dywizji zmechanizowanych, ale także o skuteczności działań w sytuacjach konfliktów asymetrycznych czy klęsk żywiołowych.

W przypadku konfliktów kinetycznych ciężkie pojazdy wojskowe działają zazwyczaj w warunkach, kiedy mosty lub innego typu przeprawy uległy zniszczeniu. Forsowanie koryt rzecznych wymaga wtedy współdziałania wyposażonych w specjalistyczne pojazdy wojsk inżynieryjnych i niemal zawsze związane jest utratą wysokiego tempa manewrowości [26] oraz narażeniem sprzętu na zniszczenie. Dlatego niezwykle ważnym zagadnieniem wydaje się możliwość rozpoznania miejsc dogodnych do forsowania w bród, wpływ lub pod wodą [18, 24], co nie wymaga zastosowania środków przepławowych i może stanowić istotny element zaskoczenia dla przeciwnika.

Możliwość forsowania koryt dużych rzek nizinnych wiąże się z dwiema grupami cech dna doliny rzecznej – stabilnymi oraz zmiennymi w czasie. Cechy stabilne w czasie, takie jak budowa geologiczna, rzeźba dna doliny czy infrastruktura hydrotechniczna, można rozpoznać i gromadzić dane np. w bazach danych GIS w czasie pokoju. Rozpoznanie drugiej grupy (aktualna rzeźba dna koryta, warunki hydrologiczne i meteorologiczne) wymaga pozyskiwania i interpretacji danych w czasie rzeczywistym.

W artykule przedstawiono wybrane wyniki badań, których celem była ocena teledetekcyjnych możliwości identyfikacji miejsc dogodnych do forsowania przez ciężkie pojazdy w korytach dużych rzek Niżu Polskiego. Badaniami objęto fragmenty dolin Wisły, Bugu i Narwi stanowiące rubieże obrony Polski na Wschodnim Kierunku Strategicznym [14].

Prace obejmowały analizę archiwalnych materiałów teledetekcyjnych z zasobów Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii – cyfrowych zdjęć lotniczych i Numerycznego Modelu Terenu na podstawie lotniczego skaningu laserowego (ALS), wysokorozdzielczych wielospektralnych zdjęć satelitarnych wykonanych w ramach projektu badawczego nr 2P04E06929 [23], a także zdjęć lotniczych z niskiego pułapu pozyskanych przez ITWL [13]. Wyniki prac teledetekcyjnych zostały zweryfikowane pracami terenowymi – badaniami geologicznymi, pomiarami batymetrycznymi oraz kartowaniem geomorfologicznym. Ich najważniejszym efektem była teledetekcyjna identyfikacja form i procesów związanych z możliwością forsowania koryt dużych rzek nizinnych przez ciężkie pojazdy.

Prezentowane w artykule wyniki są częścią badań prowadzonych w latach 2016–2021 w ramach współpracy Zakładu Hydrogeologii, a obecnie Katedry Inżynierii Wodnej i Geologii Stosowanej SGGW w Warszawie z Instytutem Technicznym Wojsk Lotniczych. Ich głównym celem było opracowanie i zweryfikowanie założeń SYSTEMU WYZNACZANIA STREF DOGODNYCH DLA PRZEPRAW Z WYKORZYSTANIEM PLATFORM POWIETRZNYCH.

## **2. Miejsca dogodne do forsowania koryt rzecznych – koncepcja „mostów geologicznych”**

Doliny dużych rzek nizinnych są zazwyczaj postrzegane jako formy rzeźby, których koryto uformowane zostało w warstwie osadów aluwialnych o dużej miąższości. W takim przypadku przebieg procesów fluwialnych zależy głównie od aktualnego reżimu hydrologicznego rzeki [16], która ma możliwość swobodnego kształtowania układu i profilu swojego koryta. Morfodynamika dna doliny, a w szczególności strefy korytowej, jest więc silnie powiązana z warunkami hydrologicznymi i klimatycznymi, a ewolucja systemu rzecznego zostaje zapisana w rzeźbie i litologii równi zalewowej [4, 21, 25]. W modelu takim profil koryta charakteryzuje się bardzo dużą zmiennością i trudno jest wyznaczać miejsca dogodne do lokalizacji przepraw, a zwłaszcza forsowania rzeki w bród, stabilne w dłuższych przedziałach czasowych.

Jednak doliny rzek nizinnych, takich jak Wisła, Bug, Narew czy Pilica, charakteryzują się znacznie bardziej skomplikowaną budową geologiczną [4, 5, 10, 11, 21, 27]. Ich poligeneza oraz brak w pełni wykształconego cokołu erozyjnego są czynnikami, które powodują występowanie w korytach kulminacji stropu podłoża aluwiiów zbudowanych z gruntów o dużej odporności na erozję. Kulminacje te mają charakter progów, które nie są rozmywane w czasie cyklicznych wezbrań [4, 5, 6, 7, 8]. Strop kulminacji jest często stabilizowany brukiem rezydualnym, co dodatkowo zwiększa odporność tych form na erozję.

Kulminacje stropu podłoża aluwiiów niekiedy odsłaniają się w korycie. W miejscach takich, historycznie opisywanych jako brody, w przeszłości przebiegały szlaki handlowe, powstawały osady, budowle obronne i lokowane były miasta [11]. Przykładem może być tzw. Próg Żoliborski w Warszawie, dobrze widoczny zwłaszcza przy niskich stanach wody w korycie Wisły (rys. 1). Ze względu na dogodne warunki do forsowania rzeki formy te miały także duże znaczenie geostrategiczne. W bezpośrednim sąsiedztwie brodów często dochodziło do potyczek, a nawet bitew.

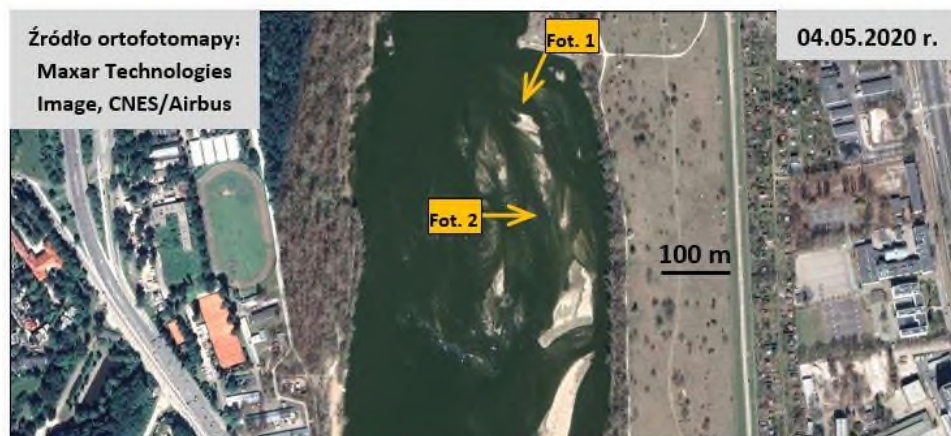
Ze względu na możliwość forsowania rzeki odporne na erozję, a zatem stabilne w czasie, kulminacje stropu podłoża aluwiiów pełnić mogą funkcję przepraw, które uznać możemy za swoiste „mosty geologiczne”. Z punktu widzenia geostrategicznego mają one istotne, ściśle powiązane ze swoimi cechami, zalety, ale także wady. Do najważniejszych zalet „mostów geologicznych” należą:

1. duża stabilność w czasie (można je zidentyfikować w warunkach pokoju, a wykorzystać w przypadku konfliktu zbrojnego);
2. ograniczone możliwości bezpośredniej identyfikacji/rozpoznania przez potencjalnego przeciwnika (brak ich lokalizacji na archiwalnych materiałach topograficznych); w warunkach małego natężenia przepływu (niskich stanów wody w korycie) są one maskowane warstwą aluwii korytowych, a w czasie wezbrań wodą transportującą dużą ilość zawiesiny;
3. ograniczone możliwości skutecznego porażenia/zniszczenia przez przeciwnika za pomocą środków konwencjonalnych.

Do podstawowych wad „mostów geologicznych” należy ich duża wrażliwość na zmiany warunków hydrologicznych. Odporne na erozję grunty nie są wymywane w czasie wezbrań i ograniczają przepływ w korycie. W zasięgu ich oddziaływania dochodzi więc do stosunkowo szybkiego wzrostu stanu wody, podtopienia równi zalewowej, a przy większych wezbraniach także tarasów nadzalewowych [21]. Na kulminacjach takich często opierają się zatory lodowe, z czym związane jest powstawanie bardzo gwałtownych wezbrań zatorowych [21, 22].

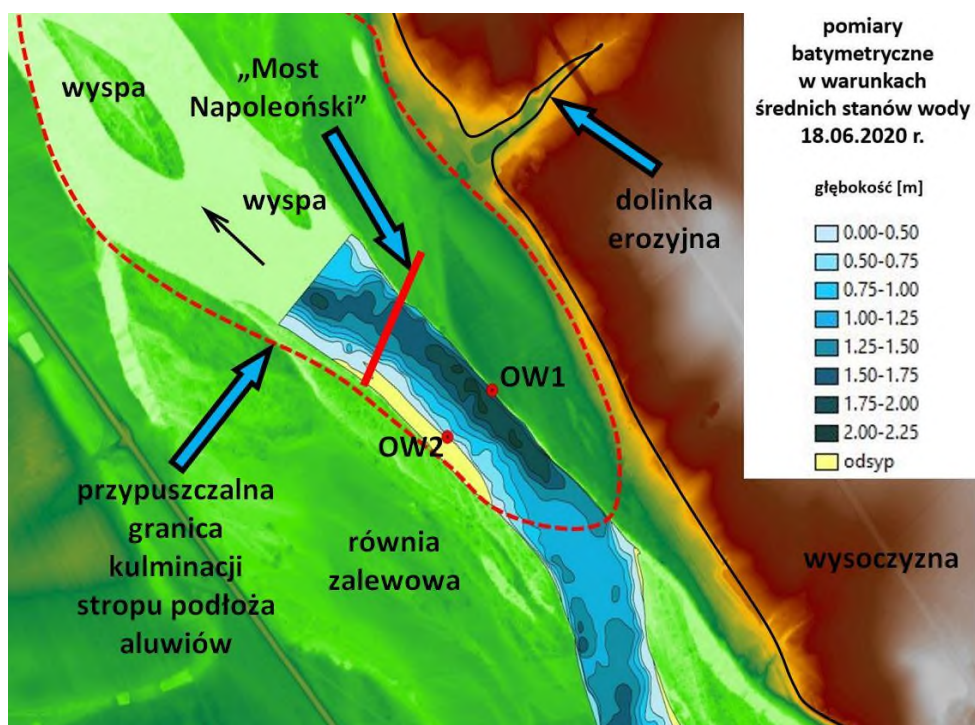
Przykładem „mostu geologicznego” o powyższych cechach może być kulminacja stropu podłoża aluwii na wysokości miejscowości Granne zlokalizowana w Podlaskim Przełomie Bugu (rys. 2). Osada Granne powstała w XI w. w miejscu strategicznie ważnego brodu leżącego na trakcie grodzieńskim, czyli głównej arterii łączącej Warszawę z Grodnem. O znaczeniu tego brodu świadczyć może fakt, że w latach 1784, 1793 i 1795 pokonywał go Stanisław August Poniatowski, a w roku 1817 car Aleksander I [2, 15]. Mimo braku przeprawy w formie stałego mostu, Bug w tym miejscu pokonywała m.in. Wielka Armia napoleońska, oddziały biorące udział w wojnie polsko-bolszewickiej 1920 roku czy też wojska niemieckie wycofujące się przed Armią Czerwoną pod koniec II wojny światowej. 24 lipca 1792 roku pod Grannem doszło do bitwy, w wyniku której wojska carskie dowodzone przez gen. Fiodora Denisowa sforsowały Bug, pokonując broniące przeprawy wojska litewskie dowodzone przez gen. Michała Zabiełłę [2].

Bród w miejscowości Granne ma szereg cech geomorfologicznych i litologicznych typowych dla „mostu geologicznego”. Kulminacja znajduje się w zwężeniu doliny, a jej strop pokrywa bruk rezydualny, w warunkach niskich stanów wody odsłaniający się w korycie (rys. 3). W rejonie kulminacji znajdują się dwie posadowione na niej utrwalone roślinnością duże wyspy. Analiza archiwalnych materiałów teledetekcyjnych i kartograficznych potwierdza, że rzeźba tego obszaru charakteryzuje się dużą stabilnością w czasie.

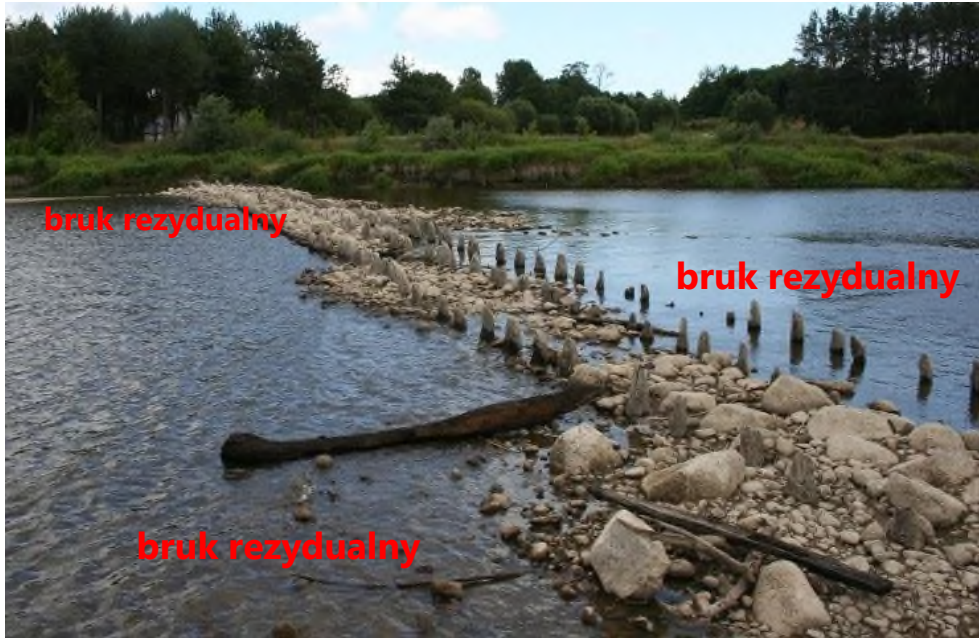


**Rys. 1.** Bruk rezydualny odsłaniający się w korycie Wisły w czasie niskich stanów wody, rejon tzw. Progu Żoliborskiego w Warszawie; strzałkami pokazano miejsce i kierunek wykonania fotografii

Wykonane w korycie wiercenia i pomiary batymetryczne wykazały, że nawet w warunkach średnich stanów wody strop podłoża aluwiiów jest odsłaniany na znacznej długości w linii głównego nurtu, a maksymalna głębokość koryta w bezpośrednim sąsiedztwie brodu wynosi zaledwie 2,5 m (rys. 2, wiercenie OW1). Maksymalna głębokość brodu w takich warunkach hydrologicznych wynosi 1,3 m, a jego cechy litologiczne wskazują na warunki geologiczno-inżynierskie korzystne do forsowania przez ciężkie pojazdy. Podczas niżówki w 2015 r. w miejscu brodu odsłoniły się drewniane pale będące pozostałością tymczasowej przeprawy nazwanej błędnie Mostem Napoleońskim. Drewno (rys. 3), z którego powstała ta konstrukcja zostało wydatowane na lata 1792-1824 [15]. Na szczególną uwagę zasługuje trwałość/stabilność w czasie tego „mostu geologicznego”, która wynosi co najmniej 900 lat.



**Rys. 2.** „Most geologiczny” (bród) w korycie Bugu na wysokości miejscowości Granne na tle Numerycznego Modelu Terenu (dynamiczny LIDAR z zasobów GUGIK); rzeźbę dna koryta przedstawiono na podstawie pomiarów batymetrycznych wykonanych w warunkach średnich stanów wody



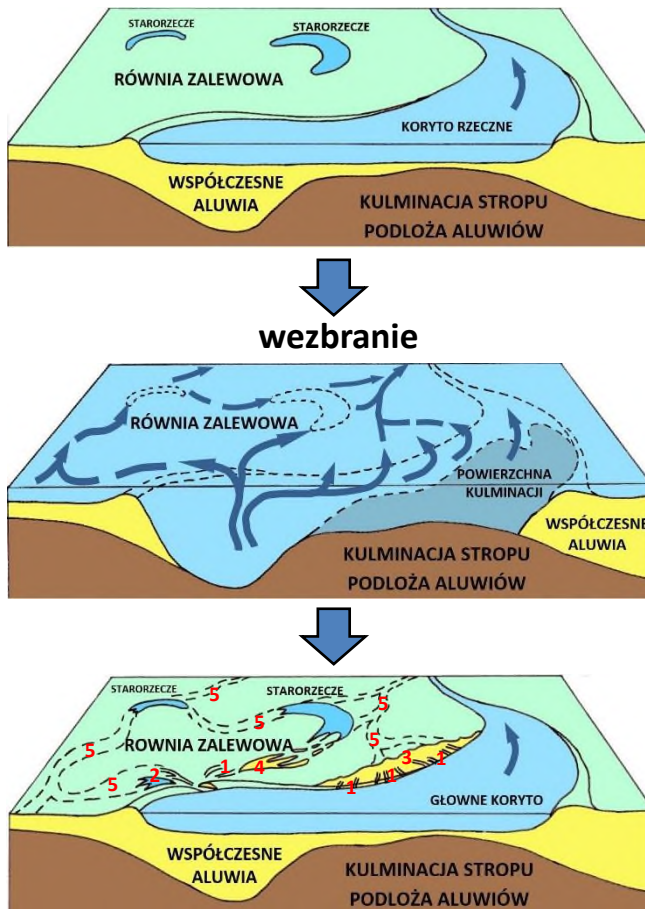
**Rys. 3.** Tzw. Most Napoleński – pozostałości tymczasowej przeprawy w miejscu brodu na wysokości miejscowości Granne; w korycie widoczny odsłaniający się bruk rezydualny, w przeszłości wykorzystywany także do stabilizacji przeprawy (fot. Muzeum Rolnictwa w Ciechanowcu)

### **3. Teledetekcyjne możliwości rozpoznania miejsc dogodnych do forsowania**

Występowanie w korytach rzek Niziu Polskiego kulminacji stropu podłoża aluwiiów zbudowanych z gruntów o dużej odporności na erozję jest jednym z ważniejszych czynników wpływających na morfodynamikę dna doliny [3, 5, 6, 9, 21]. Duże rzeki nizinne Polski to ciekły, na których cyklicznie, w określonych porach roku, występują wezbrania. W półroczu zimowym są to wezbrania roztopowe, zatorowo-lodowe i zatorowo-śryżowe, a w półroczu letnim wezbrania związane z nawałnymi i frontalnymi opadami [12].

W czasie trwania wezbrań, w wyniku wzrostu natężenia przepływu w korycie, zazwyczaj słabo zagęszczone aluwia są wymywane. Powoduje to odsłanianie stropu odpornych na erozję kulminacji, które oddziałują na kierunki przepływu wód wezbraniowych nie tylko w strefie korytowej, ale na obszarze całej równi zalewowej [1, 3, 6, 20, 21, 27]. Morfologia kulminacji w czasie kolejnych wezbrań wymusza

wdzieranie się wód na powierzchnię dna doliny w tych samych miejscach. Efektem tych cyklicznych procesów jest powstanie charakterystycznych form rzeźby dna doliny wskazujących na występowanie w korycie rzeczonym odpornych na erozję kulminacji (rys. 4) [1, 3, 6, 8, 9, 21, 27]. Formy te, genetycznie powiązane z kulminacjami, osiągają często znaczne rozmiary, porównywalne lub nawet większe od szerokości głównego koryta rzeki. Analiza ich układu pozwala na określenie głównych kierunków przepływu wód wezbraniowych na powierzchni tarasu zalewowego.



**Rys. 4.** Oddziaływanie odpornej na erozję kulminacji stropu podłoża aluwiiów na rzeźbę równi zalewowej; 1 – krewasy proste, 2 – krewasy skośne, 3 – glif krewasowy, 4 – palczaste stożki napływowe, 5 – rynny erozyjne przepływów wezbraniowych; niebieskimi strzałkami pokazano główne kierunki przepływu wód wezbraniowych [21]



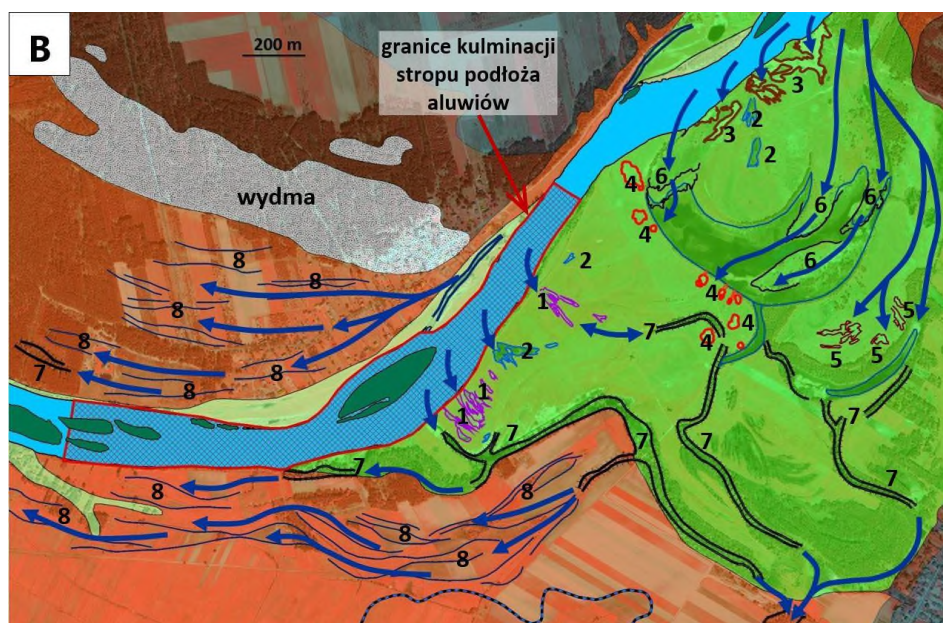
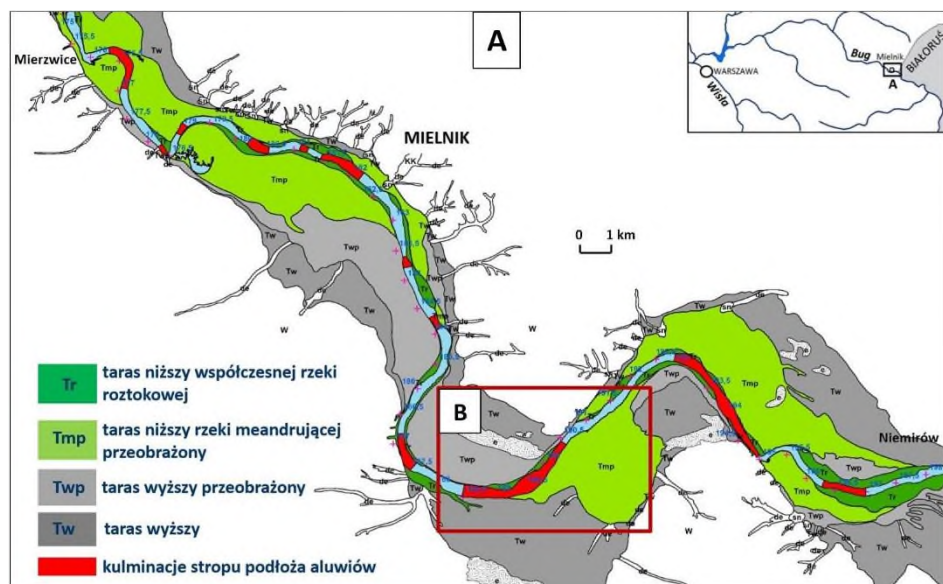
Przykładami typów takich form zidentyfikowanymi w dolinie Bugu czy Wisły są np. krewasy (proste i skośne), glif krewasowy, delty starorzeczy, palczaste stożki napływowe, rynny erozyjne przepływów wezbraniowych czy ślady przepływów wezbraniowych (rys. 5) [1, 19, 21].

Formy będące efektem oddziaływania odpornych na erozję kulminacji można identyfikować metodami teledetekcyjnymi zarówno przy pomocy cyfrowych zdjęć lotniczych, jak i wysokorozdzielczych wielospektralnych zdjęć satelitarnych, a także sporządzać ich klucze fotointerpretacyjne [9, 19, 21, 28]. W przypadku dużych rzek, ze względu na rozmiary form, do analiz tych wystarczające są materiały teledetekcyjne o rozdzielczości przestrzennej  $\leq 1\text{m}$ . Skuteczność identyfikacji podnosi wykorzystanie zobrazowań w kompozycjach barwnych z kanałami w bliskiej podczerwieni oraz wspólna analiza geoprzestrzenna zdjęć lotniczych/satelitarnych z Numerycznymi Modelami Terenu (NMT) na podstawie lotniczego skaningu laserowego (ALS) [20, 27]. W przypadku danych LIDAR użyteczne są dane pozyskane za pomocą ALS w ramach projektu ISOK znajdujące się zasobach Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii. Wyniki prac teledetekcyjnych w każdym przypadku powinny jednak zostać potwierdzone kontrolnymi sondowaniami/wierceniami geologicznymi w dnie koryta.

Przykład fotointerpretacji form powiązanych z występowaniem odpornych na erozję kulminacji w Podlaskim Przełomie Bugu pokazano na rys. 5C. Fotointerpretacji w tym przypadku dokonano na podstawie wysokorozdzielczych wielospektralnych zdjęć satelitarnych z satelity IKONOS-2 w dwóch kompozycjach barwnych – barwach naturalnych (RGB) i z wykorzystaniem bliskiej podczerwieni (NRG).

#### **4. Ogólne założenia systemu wyznaczania stref dogodnych dla przepraw z wykorzystaniem platform powietrznych**

Doświadczenia z badań budowy geologicznej i morfodynamiki dolin dużych rzek Niziny Polskiej prowadzonych od lat 80-tych ubiegłego wieku przez Katedrę Hydrogeologii a obecnie zespół badawczy „Geologia stosowana” działający w ramach Katedry Inżynierii Wodnej i Geologii Stosowanej SGGW w Warszawie a także wyniki kilkuletniej współpracy z Instytutem Technicznym Wojsk Lotniczych pozwoliły na opracowanie założeń SYSTEMU WYZNACZANIA STREF DOGODNYCH DLA PRZEPRAW Z WYKORZYSTANIEM PLATFORM POWIETRZNYCH. Istotnym elementem tego systemu jest możliwość teledetekcyjnej identyfikacji stabilnych w czasie kulminacji stropu podłoża aluwiiów mogących pełnić w sprzyjających warunkach hydrologicznych rolę „mostów geologicznych”. Uproszczony schemat takiego systemu przedstawiono na rys. 6.



**Rys. 5.** Odporne na erozję kulminacje w korycie Bugu (A) oraz charakterystyczne formy rzeźby w rejonie oddziaływania przykładowej kulminacji (B): 1 – krewasy proste, 2 – krewasy skośne, 3 – gład krewasowy, 4 – gład krewasowy starorzeczy, 5 – palczaste stożki napływowe, 6 – delty starorzeczy, 7 – rynny erozyjne przepływow wezbraniowych; 8 – ślady przepływow wezbraniowych; niebieskim strzałkami pokazano główne kierunki przepływu wód wezbraniowych



**Rys. 6.** Uproszczony schemat SYSTEMU WYZNACZANIA STREF DOGODNYCH DLA PRZEPRAW Z WYKORZYSTANIEM PLATFORM POWIETRZNYCH

System ten opiera się na założeniu, że w warunkach pokoju za pomocą metod teledetekcyjnych (wspólnej analizy zdjęć lotniczych/satelitarnych oraz NMT na podstawie ALS) zidentyfikować można strefy koryta dogodne do forsowania przez ciężkie pojazdy. Weryfikacja wyników prac teledetekcyjnych badaniami terenowymi obejmującymi wiercenia i sondowania geologiczne oraz pomiary batymetryczne dna koryta umożliwić powinna stworzenie **bazy danych GIS miejsc dogodnych do forsowania przez ciężkie pojazdy, w tym czołgi podstawowe**.

W warunkach konfliktu kinetycznego miejsca takie powinny podlegać stałemu monitoringowi pod względem aktualnej sytuacji hydrologicznej i meteorologicznej, co warunkuje możliwość ich wykorzystania jako „mostów geologicznych”. Monitoring taki powinien opierać się na sieci stacji wodowskazowych i meteorologicznych Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej (IMGW) oraz, co niezwykle istotne, własnej sieci pomiarowej. Ponieważ kluczowym parametrem dla możliwości forsowania koryta rzeczno, oprócz budowy geologicznej jego dna i morfologii strefy korytovej, jest aktualny stan wody, w miejscach dogodnych do forsowania powinny zostać zainstalowane czujniki dokonujące takich pomiarów. W ramach prowadzonych badań przetestowano działanie takiego systemu pomiarowego w Podlaskim Przełomie Bugu i Dolinie Dolnego Bugu. W trakcie kilkuletnich ciągłych pomiarów wykazał się on dużą

skutecznością i niezawodnością, zarówno w warunkach wezbrań, jaki i głębokich niżówek hydrologicznych, a także w czasie zlodzenia koryta.

Decyzja o wyborze aktualnie najbardziej dogodnego miejsca do forsowania koryta powinna być wspomagana analizą danych teledetekcyjnych dostarczanych w czasie rzeczywistym (rys. 6). Do najistotniejszych z nich zaliczyć należy obrazy strefy korytowej rzeki (miejsca potencjalnego forsowania) pozyskane z niskiego pułapu za pomocą bezzałogowych statków powietrznych (UAV) oraz analizę sytuacji taktycznej z wykorzystaniem pełnego spektrum środków rozpoznania NATO.

## 5. Podsumowanie

W korytach dużych rzekach Niżu Polskiego, takich jak Wisła, Bug czy Narew, istnieją stabilne w czasie miejsca dogodne do forsowania przez ciężkie pojazdy, w tym czołgi podstawowe. Wynika to z budowy geologicznej, litologii oraz warunkowanej nimi morfodynamiki strefy korytowej i równi zalewowej.

W miejscach takich najczęściej występują kulminacje stropu podłoża aluwiów zbudowane z gruntów o dużej odporności na erozję. Są one bardzo trwałe i w sprzyjających warunkach hydrologicznych pełni mogą funkcję „mostów geologicznych”, które wykorzystywać można do forsowania koryta w bród, a więc bez konieczności użycia inżynierskich środków przeprowokacyjnych.

W większości przypadków kulminacje takie są maskowane przez niewielkiej miąższości warstwę aluwiów, co bardzo utrudnia ich identyfikację także przez potencjalnego przeciwnika. W wybranych tylko miejscach, przy niskich stanach wody odsłaniają się one w korycie jako brody, których często najlepiej widocznym elementem jest bruk rezydualny.

Występujące w korycie kulminacje stropu podłoża aluwiów można identyfikować pośrednio metodami teledetekcyjnymi na podstawie charakterystycznych form rzeźby, które powstały w wyniku ich oddziaływania na morfodynamikę dna doliny, a zwłaszcza równi zalewowej. Skuteczną metodą jest w tym przypadku wspólna analiza zdjęć lotniczych lub/i wysokorozdzielczych zdjęć satelitarnych z Numerycznym Modelem Terenu na podstawie ALS. Wyniki prac teledetekcyjnych należy w tym przypadku zawsze zweryfikować sondowaniami/wierceniami geologicznymi w dnie koryta.

Identyfikacja w korytach dużych rzek nizinnych miejsc dogodnych do forsowania w bród przez ciężkie pojazdy pozwala na stworzenie funkcjonalnego SYSTEMU WYZNACZANIA STREF DOGODNYCH DLA PRZEPRAW Z WYKORZYSTANIEM PLATFORM POWIETRZNYCH. Wdrożenie takiego systemu umożliwić powinno:

- forsowanie koryt w miejscach trudnych do przewidzenia dla przeciwnika;
- ograniczenie związanych z tym działań/wykorzystania wojsk inżynierskich;
- skrócenie czasu forsowania koryt rzecznych.

Zastosowanie systemu powinno także znacznie podnieść zdolności manewrowe jednostek zmechanizowanych, a także zwiększyć ich przeżywalność na współczesnym polu walki.

## 6. Literatura

1. Bujakowski F., Falkowski T.: Hydrogeological Analysis Supported by Remote Sensing Methods as A Tool for Assessing the Safety of Embankments (Case Study from Vistula River Valley, Poland). *Water* 11 (2), 266, 2019, <https://doi.org/10.3390/w11020266>.
2. Chojnacki A.: *Żołnierze w społeczeństwie regionu siedleckiego w latach 1795-1831*. Radzyń Podlaski: Radzyńskie Stowarzyszenie Inicjatyw Lokalnych; Siedlce: Stowarzyszenie Kulturalne i Tradycji Wojskowej im. 22 Pułku Piechoty, 2015.
3. 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. <https://doi.org/10.1002/esp.3680>.
4. Falkowski E.: Variability of channel processes of lowland rivers in Poland and changes of the valley floors during the Holocene. *Biuletyn Geologiczny* 19, 45–78, 1975.
5. Falkowski T.: Naturalne czynniki stabilizujące wybrane odcinki strefy korytovej Wisły środkowej. *Rozprawy Naukowe i Monografie - Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydawnictwo SGGW, Warszawa* 2006.
6. Falkowski T.: Alluvial bottom geology inferred as a factor controlling channel flow along the Middle Vistula River, Poland. *Geol. Q.* 51, 91–102, 2007.
7. Falkowski T.: Geomorphological analysis of a The Vistula River valley in evaluating the safety of regulation structures. *Acta Geologica Polonica* 57, 377-390, 2007.
8. Falkowski T.: Basement of the alluvia influence on the channel pattern in example of selected reach of the Pilica River. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Land Reclamation* 42, 93–104, 2010.
9. Falkowski T., Ostrowski P.: Morfogeneza powierzchni tarasu zalewowego Wisły w okolicach Magnuszewa w obrazie zdjęć satelitarnych i lotniczych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, Zeszyt 9: 89–100, Kraków* 2010.
10. Falkowski T., Ostrowski P., Bogucki M., Karczmarz D.: The trends in the main thalweg path of selected reaches of the Middle Vistula River, and their relationships to the geological structure of river channel zone. *Open Geosciences* 2018, 10:554–564. <https://doi.org/10.1515/geo-2018-0044>.
11. 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* 2017, vol. 297: 100–111 2017. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.09.011>.
12. Jokiel P., Marszelewski W., Pociask-Karteczka J.: *Hydrologia Polski*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 2017.
13. Karczmarz D., Mądrzycki P., Szkudlarz H., Puchalski W., Gorczyca J., Ciepłiński M., Falkowski T., Ostrowski P.: Ocena możliwości wykorzystania sensorów

- rozpoznania obrazowego do identyfikacji warunków geologiczno-inżynierskich w korytach rzek nizinnych. *Journal of KONBiN* 48 (1) 2018, <https://doi.org/10.2478/jok-2018-0052>.
14. Komornicki L.: Przygotowanie obronne terytorium Polski: północno-wschodni kierunek strategiczny. Fundacja Instytut Bezpieczeństwa i Strategii. <https://www.defence24.pl/przygotowanie-obronne-terytoriu-polski-polnocno-wschodni-kierunek-strategiczny-opinia>, data dostępu 12.12.2021.
  15. Kotkowicz E.: Domniemany most napoleoński w Grannem - obalony mit. *Podlaskie Zeszyty Archeologiczne* 12: 205-216, 2016.
  16. Leopold L.B., Wolman M.G., Miller J.P.: *Fluvial processes in geomorphology*. WH Freeman & Co, San Francisco 1964.
  17. Mądrzycki P., Burek M., Marcinkowska M., Rusewicz M., Ostrowski P.: Potrzeby rozpoznania warunków forsowania koryt rzecznych Niżu Polskiego przez pojazdy wojskowe w świetle normatywów NATO. *Journal of KONBiN* 49 (4), 2019, <https://doi.org/10.2478/jok-2019-0080>.
  18. NATO – Doktryna wojsk inżynierskich sił lądowych – ATP – 52, Norm. 16/98, Biuro Wojskowej Służby Normalizacyjnej MON, Warszawa 1998.
  19. Ostrowski P.: Wykorzystanie wysokorozdzielczych zdjęć satelitarnych do identyfikacji form rzeźby wybranego fragmentu doliny Bugu. Praca doktorska, SGGW, Warszawa 2011.
  20. Ostrowski P., Falkowski T.: Application of Remote Sensing Methods to Study the Relief of Lowland River Valleys with a Complex Geological Structure - A Case Study of the Bug River. *Water* 2020, 12, 487, <https://doi.org/10.3390/w12020487>.
  21. 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*, Volume 202, 105209, ISSN 0341-8162, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105209>.
  22. Ostrowski P., Utratna M.: Hydrologiczne uwarunkowania morfogenezy wybranych erozyjnych form rzeźby równi zalewowej na przykładzie doliny Bugu. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* nr 27 (1), 2018: 57–70, 2018.
  23. Projekt badawczy nr 2P04E06929 „Znaczenie czynników morfogenetycznych w kształtowaniu różnorodności siedliskowej wybranych odcinków dolin rzek na Niżu Polskim”, Katedra Geoinżynierii SGGW, IMUZ, UW; Warszawa 2008.
  24. Regulamin działań wojsk lądowych, DW Ląd 16/99, Warszawa 1999.
  25. Starkel L.: The reflection of hydrologic changes in fluvial environment of the temperate zone during the last 15.000 years. In: Gregory J. (Ed.) *Background to Paleohydrology* J. Wiley, Chichester, pp. 213–234, 1983.
  26. Szelka J.: Pokonywanie przeszkód wodnych według standardów NATO. *Czasopismo inżynierii lądowej, środowiska i architektury*. Jceea, t. Xxxiv, z. 64 (3/i/17), 2017, <https://doi.org/10.7862/rb.2017.112>.

27. Wierzbicki G., Ostrowski P., Falkowski T., Mazgajski M.: Geological setting control of flood dynamics in lowland rivers (Poland). *Science of the Total Environment* 636 (2018), 367–382. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.250>
28. Wierzbicki G., Ostrowski P., Mazgajski M., Bujakowski F.: Using VHR multispectral remote sensing and LIDAR data to determine the geomorphological effects of overbank flow on a floodplain (the Vistula River, Poland). *Geomorphology*, 2013, vol. 183, <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.06.020>.

