

Dariusz KARCZMARZ¹, Przemysław MĄDRZYCKI¹, Henryk SZKUDLARZ¹,
Wojciech PUCHALSKI¹, Joanna GORCZYCA¹, Marcin CIEPLIŃSKI¹,
Tomasz FALKOWSKI², Piotr OSTROWSKI²

¹*Institut Techniczny Wojsk Lotniczych (Air Force Institute of Technology)*

²*Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW w Warszawie
(Faculty of Environmental Management and Engineering, WULS in Warsaw)*

EVALUATION OF THE POSSIBILITIES TO USE IMAGERY RECONNAISSANCE SENSORS TO IDENTIFY THE GEOLOGICAL-ENGINEERING CONDITIONS IN LOWLAND RIVER CHANNELS

Ocena możliwości wykorzystania sensorów rozpoznania obrazowego do identyfikacji warunków geologiczno- -inżynierskich w korytach rzek nizinnych

Abstract: *The article concerns the issue of using imagery reconnaissance sensors for the identification of geological-engineering conditions in river channels, in the aspect of evaluating the forcing of a water obstacle. It discusses the issues associated with using air platforms (manned and unmanned) in remote sensing surveying of selected fragments of the Vistula and Bug river channels and the correct interpretation of the obtained results, through their verification using bathymetric tests conducted directly in the river channels.*

Keywords: remote sensing, bathymetric measurements, imagery reconnaissance, morphodynamics, lithology, imagery reconnaissance sensors

Streszczenie: *Artykuł dotyczy problematyki wykorzystania sensorów rozpoznania obrazowego do identyfikacji warunków geologiczno-inżynierskich w korytach rzek w aspekcie oceny możliwości forsowania przeszkody wodnej. Omówione zostały zagadnienia wykorzystania platform powietrznych (pilotowanych i bezpilotowych) w badaniach teledetekcyjnych wybranych fragmentów koryt Wisły i Bugu oraz poprawność interpretacji uzyskanych wyników poprzez ich weryfikację badaniami batymetrycznymi wykonanymi bezpośrednio w korytach rzek.*

Słowa kluczowe: teledetekcja, pomiary batymetryczne, rozpoznanie obrazowe, morfodynamika, litologia, sensory rozpoznania obrazowego

1. Introduction

The approached research subject matter results from the analysis of the geological structure regularity of river channels in the Polish Lowlands area and the associated morphodynamics. The impetus for the study was the technical development of imaging sensors and unmanned aerial platforms.

The conducted analyses and surveys indicate that the morphology of river beds and the associated system of riverbed forms is characterised by high dynamics of changes over short time intervals, even in the case of extreme phenomena such as a freshet wave passing. In many cases the movements of several-dozen metre long forms (e.g. sand shoals) by tens of metres within just a dozen or so days and in stable hydrological conditions (medium water levels with low variability) were recorded within the channels. At the same time, stable zones are present in the river channels of the Polish Lowlands, which are resistant to erosion. Fords often functioned in such areas in the past. Such variability of the structure and dynamics of river channels is a natural terrain feature of our country. However, it can be identified based on the characteristics of the valley bed relief, also through remote sensing methods [1,5].

Remote sensing techniques have been used in the geological/geological-engineering surveys since the 1930s. Mainly monochromatic aerial photography was used in the early days of remote sensing. Photonal diversity of their image (shades of grey) rather accurately reflects the diversity of surface formation moisture. This feature was used to determine the boundaries of individual lithological types of rocks/soils.

2. Feasibility study of ford and crossing aerial reconnaissance

Over the recent years, there has been a discussion in Poland on the requirement of buoyancy of military vehicles, such as infantry fighting vehicles (IFVs) or armoured personnel carriers (APCs). Maintaining the buoyancy of such equipment is usually associated with a significant deterioration of its ballistic protection, as well as restrictions in terms of integration with modern weaponry systems or the amount of carried ammunition. The significance of these problems is demonstrated by the fact that during the recently approved stage of the feasibility study and preliminary tactical-technical assumptions (WZTT) of the Polish APC Borsuk, a decision was made to develop (apart from the baseline buoyant variant) a non-buoyant additionally armoured version weighing over 40 tons [2].

Most channel sections of large rivers within our country, especially in the Polish Lowlands (such as the Vistula, Odra, Bug, Narew) are characterised by relatively wide channels, with an average depth of up to 2.5 metres. This is the permissible fording depth for most modern structures. Therefore, it seems that the crucial issue in ensuring full mobility of military vehicles should be equipping them with devices and procedures, which enable fast identification and reconnaissance of zones/location convenient for river channel crossing. The ability to quickly identify certain river channel parameters may come useful for many services responsible for the management in crisis situations [2,3].

The river channels in the Polish Lowlands, the majority of which are of braided nature, are overloaded with debris (transported material) and are usually characterised by large variability. For example, changes in the river bed of the Vistula downstream of Warsaw may locally reach up to 6 metres. Passing of a freshet wave almost always results in significant changes of the channel zone relief (river bed) over long stretches. However, such changes undergo not only in the conditions of large flows and high water levels in the channel (or the high variability of these parameters) but even in medium level conditions. Changes of the river channel relief in the course of a passing freshnet wave can be much larger and usually concern several kilometre channel sections. Despite such a high variability, there are stable zones within river channels of the Polish Lowlands, where the riverbed relief changes are minor, and the channel is not deepened below a certain level. The substrate of such zones contains soils with high erosion resistance – hard-scoured formation, often in the form of thresholds. Fords functioned in such areas in the past [1,5].

Along with the stable zones, which in the morphology of a river valley are often distinguished by a significant narrowing, the river valleys contain zones, where the channel is formed in low-strength formations. Minor river channel depth in such places does not guarantee effective and safe crossing.

The preparation stage of the research assumed that the initial phase would involve utilising the experience (collected based on literature analysis) of the military units in the field of their operational and technical knowledge, covering reconnaissance operations and forcing water obstacles over the riverbed.

The next task involved, at the technology development stage, conducting studies in two inter-complementary areas – airborne executed by AFIT (*Air Force Institute of Technology* – in-flight studies, acquisition of remote sensing data) and land, executed by WULS (*Warsaw University of Life Sciences* – field tests, including bathymetric measurements). The air and ground component included [2,3]:

- SONEX LL aircraft and a UAV with a pod (optoelectronic head), with its sensors recording the arrangement of the river channel zone with particular attention to the channel itself and emerged and submerged (to a certain depth) channel forms in natural colours and infrared;

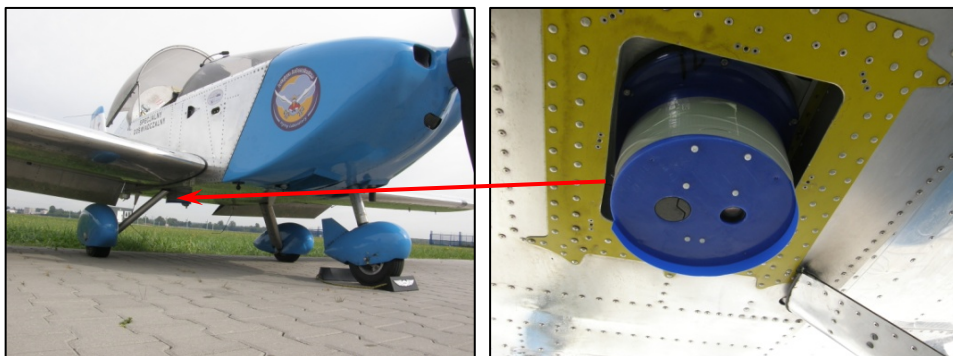


Fig. 1. SONEX LL aircraft and a UAV with a pod (optoelectronic head)

- hydrographic set comprised of a sonic sounder integrated with a DGPS receiver, which was used to take the bathymetric measurements of channel fragments inaccessible for the air component.



Fig. 2. Hydrographic set comprised of a sonic sounder integrated with a DGPS receiver

The outcome of an analysis conducted by an AFIT-WULS research team was the determination of research objectives and tasks:

- selection of the appropriate sensors to be mounted on the air platform;
- river channel imaging in various hydrological conditions;
- combined imagery analysis of the obtained remote sensing materials and comparison with field test results;

- working out assumptions and developing a photo-interpretation key application;
 - verification of the photo-interpretation key,
- the execution of which should enable the verification of the adopted assumption:

Aerial low ceiling imagery reconnaissance ensures identification of the characteristic channel features of a Polish Lowland large river (Vistula and Bug), which enable the evaluation of its wading by military vehicles.

3. Conducting an experiment involving remote sensing and bathymetric measurements associated with the geological structure and relief of the channel zone of a selected river section planned for a crossing

The objective of the experiment, in relation to the air component, was to determine the restrictions associated with physical data recording, depending on flight parameters, which would allow to maintain the ability of a continuous, uninterrupted and qualitatively desired sensor recording.

The manner of execution of the airborne task also included the technical capabilities of imagery sensors, resulting from the flight conditions - altitude - resolutions/discrimination and distortions, altitude - angle of observation.

Methods taken from the airborne laser scanning (ALS) and airborne photographic reconnaissance were used during the execution of the airborne studies.

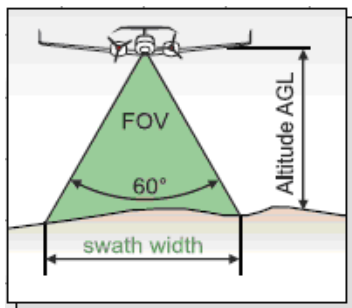
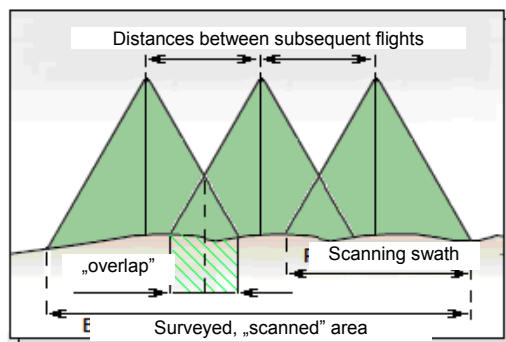


Fig. 3. a) Single swath



b) Multiple overlapping scanning swaths

In the case of objects with a vast area, it is necessary to execute a number of subsequent flights with overlapping sections of a previously recorded swath. It enables to plot the coordinates of individual swaths into one whole, which mirrors the surveyed area. The idea of such flights with overlapping swaths of the surveyed object image is shown in the diagrams above.

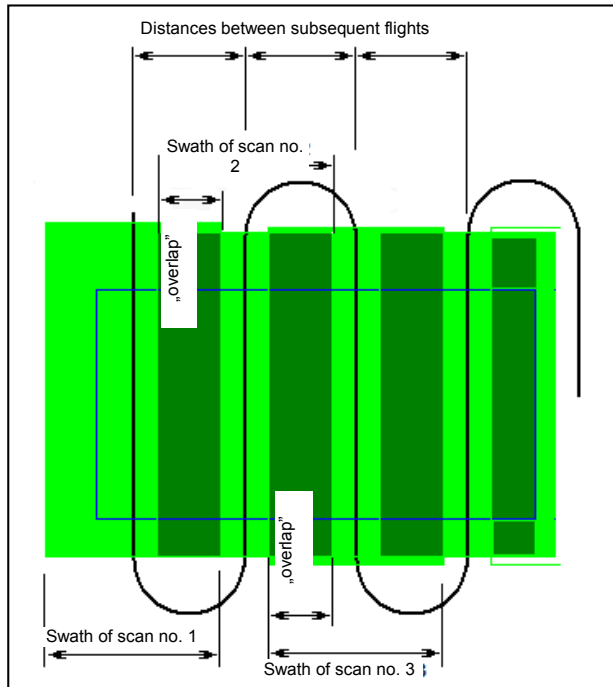


Fig. 4. Horizontal projection of multiple (parallel) fly-bys filming the terrain surface with overlapping swaths

Above, you can find a horizontal projection of multiple (parallel) fly-bys filming the terrain surface with overlapping swaths (“overlaps”) during subsequent passing flights. “Overlaps” with a width of 25% to 30% of the essential (single) swath are usually used.

In the case of terrain with varied sculpture, the needs of accurate coordinate correlation may require the use of a larger number of images.

A so-called “cross” fly-by method, with its sketch shown below, can also be applied [2].

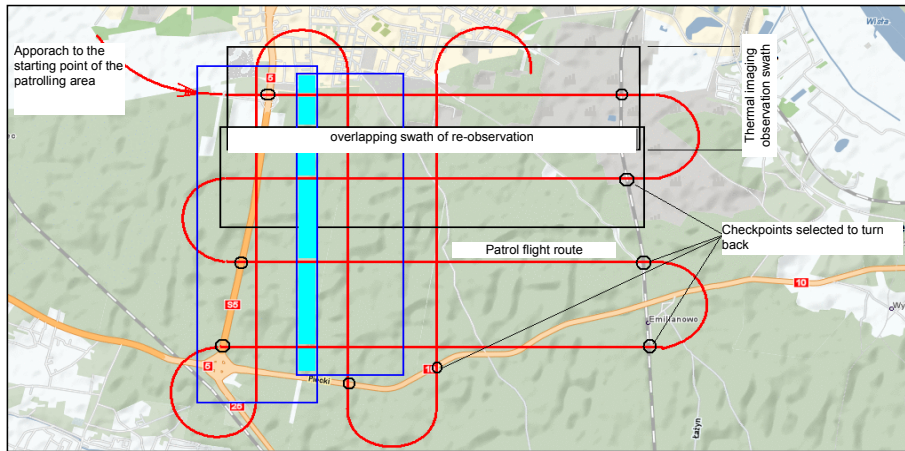


Fig. 5. “Cross” fly-by method

The conducted experiment involved the identification of selected channel zone relief forms. Charting and morphometric measuring of the forms were conducted with the use of DGPS receivers¹ and the mobile GIS technology. In addition, the photographic documentation of the forms was also prepared, which enabled, e.g., to determine the species composition of the plants present in their area (as an indicator of the dynamics of channel-related processes).

Location of the alluvia substrate roof elevation highly resistant to erosion, on the background of a numerical land cover model (NMPT) and a photo-sketch of data acquired using infrared technology [4].

The basic assumption for the experiment was to compare the field test results with the analysis results regarding remote sensing materials acquired during the research flights by the “Airborne Laboratory” of the Air Force Institute of Technology. This is why, the most important part of the field tests documenting channel morphology (bathymetric measurements and the identification and charting of selected channel formations) was conducted during the flights and immediately after their completion.

¹ DGPS (*Differential Global Positioning System*) – GPS measuring technology enabling to obtain a higher accuracy during a standard single receiver measurement. This method involves using a base (so-called reference) station – a receiver set exactly in a designation point (e.g. through surveying), which determines offset corrections for individual satellites in real time, enabling to eliminate most errors.

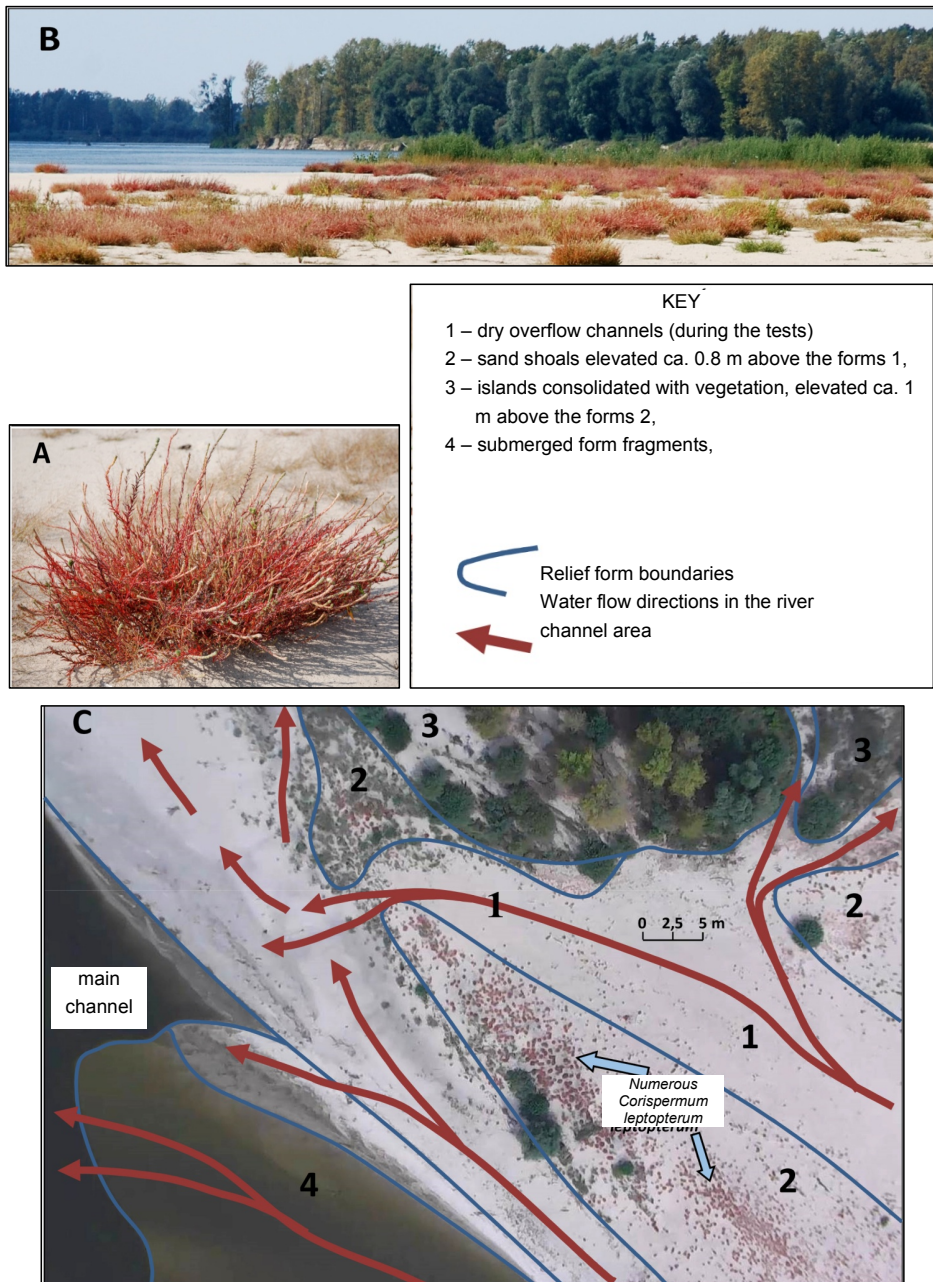


Fig. 6. A - *Corispermum leptopterum* (bugseed) sprouting over higher elevated fragments of sand shoals in the channel - **B** and visible within these forms (2) on air images **C** in the visible light [1,4]

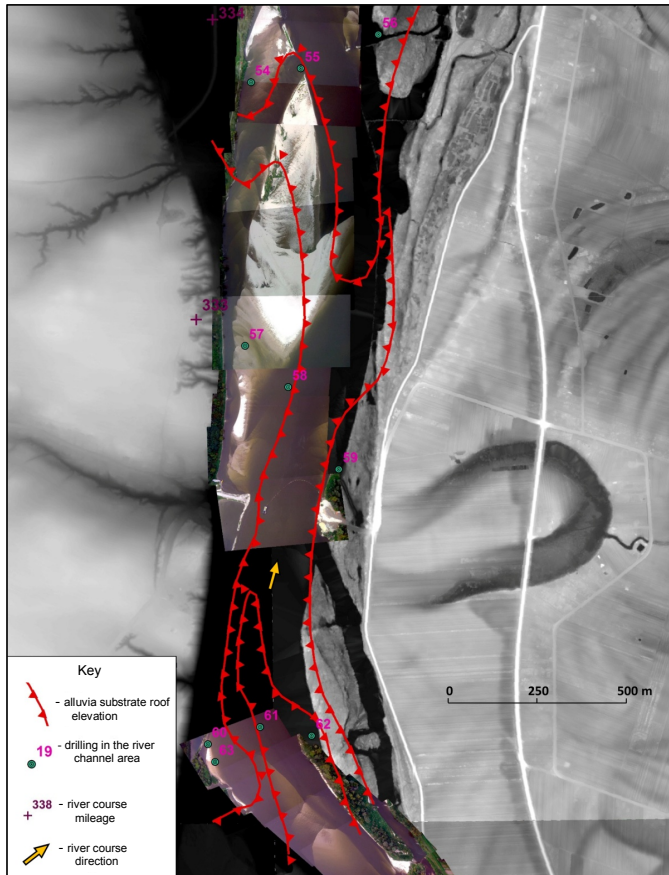


Fig.7. Recognition and identification of the features of the substrate of riverbed based on data collected using the infrared technology



Fig. 8. WULS integrated hydrographic system in operation [4]

4. Evaluation of the experiment results and the direction of further research

The joint analysis of archives, field test results and remote sensing materials acquired by the AFIT “*Airborne laboratory*” enabled to determine the morphodynamic and geological conditions found in the channel zones in selected sections of the Polish Lowland rivers, with particular attention to the features indicating the presence of conditions favouring crossings. This was used as a base to develop the assumptions of a methodology for determining such zones with the use of the air platforms.

Continuing the research will enable to develop the detailed assumption for the construction of a ***System for the determination of zone convenient for crossings with the use of air platforms*** and its subsequent technical implementation as a demonstrator of the technology, as well as studies with an operating environment.

The results of the previously conducted studies and the experience of the team gained during the executed experiment enabled to determine the necessary components of the ***System***:

- GIS database containing historical and regularly updated data;
- airborne imagery reconnaissance segment, with its task being to ensure current data on the conditions prevailing at the location of the potential crossing.

Moreover, based on the already conducted studies, it can be assumed that a ***System for the determination of zone convenient for crossings with the use of air platforms***, in the case of the correct development of a database and the selection and configuration of imagery reconnaissance sensors (operating on different radiation bands), will be characterised by high effectiveness, ease of use and the speed of operation.

5. References

1. Falkowski T.: Różnicowanie warunków przepływu wód współczesnych równi zalewowych na Niżu Polskim na przykładzie doliny środkowej Wisły [Varying flow of waters in contemporary floodplains of the Polish Lowland, on the example of the middle Vistula valley], *Przegląd Geologiczny*, vol. 63, no. 10/2, 2015.
2. Opracowanie systemu do oceny możliwości forsowania koryta dużych rzek - etap I [Developing a system to evaluate the possibilities of forcing the channels of large rivers - stage I]. Collective work, recorded in the AFIT library No. 8837/50 – 2016.

3. Opracowanie systemu do oceny możliwości forsowania koryta dużych rzek - etap II [Developing a system to evaluate the possibilities of forcing the channels of large rivers - stage II]. Collective work, recorded in the AFIT library No. 10217/50 – 2017.
4. Ostrowski P., Falkowski T., Karczmarz D., Mądrzycki P., Szkudlarz H.: The usefulness of low-altitude aerial photography for the assessment of channel morphodynamics of a lowland river, *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Land Reclamation*, vol. 49 (2), pp. 96-106, 2017.
5. Ostrowski P.: Zróżnicowanie erozyjnych form rzeźby dna doliny w strefie podlaskiego przełomu Bugu [The diversity of erosional landforms in the Bug river valley in the Podlasie Region (NE Poland), *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* vol. 70, 350–360, 2015.

Author contribution: D. Karczmarz 20%, P. Mądrzycki 15%, H. Szkudlarz 15%, W. Puchalski 10%, J. Gorczyca 5%, M. Ciepliński 5%, T. Falkowski 15%, P. Ostrowski 15%.

OCENA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA SENSORÓW ROZPOZNANIA OBRAZOWEGO DO IDENTYFIKACJI WARUNKÓW GEOLOGICZNO- -INŻYNIERSKICH W KORYTACH RZEK NIZINNYCH

1. Wstęp

Podjęta tematyka prowadzonych badań wynika z analizy prawidłowości budowy geologicznej koryt rzek na obszarze Niżu Polskiego i związanej z nią morfodynamiki. Impulsem do prowadzenia badań był także rozwój techniczny sensorów obrazowych i bezzałogowych platform powietrznych.

Z przeprowadzonych analiz i badań wynika, że morfologia den koryt rzecznych i powiązany z nią układ form korytowych charakteryzuje się dużą dynamiką zmian w krótkich odstępach czasu, nawet w przypadku braku zjawisk ekstremalnych, takich jak przejście fali wezbraniowej. Wielokrotnie rejestrowano przemieszczanie się w korytach kilkudziesięciometrowej długości form (np. piaszczystych łach) o dziesiątki metrów w czasie zaledwie kilkunastu dni i to w stabilnych warunkach hydrologicznych (średnie stany wody o niewielkiej zmienności). Jednocześnie w korytach rzek na Niżu Polskim występują strefy stabilne, gdzie w dnieniu koryta występują osady odporne na erozję. W przeszłości w miejscach takich funkcjonowały często brody. Taka zmienność budowy i dynamiki koryt rzecznych jest naturalną cechą obszaru naszego kraju. Można ją jednak identyfikować w oparciu o cechy rzeźby dna doliny także metodami teledetekcyjnymi [1,5].

Techniki teledetekcyjne stosowane są w badaniach geologicznych/geologiczno-inżynierskich od lat 30 ubiegłego wieku. W początkach teledetekcji geologicznej wykorzystywane były głównie monochromatyczne zdjęcia lotnicze. Zróżnicowanie fototonalne ich obrazu (odcienie szarości) odzwierciedla dość precyzyjnie zróżnicowanie uwilgotnienia utworów powierzchniowych. Cecha ta była wykorzystywana do wyznaczania granic poszczególnych typów litologicznych skał/gruntów.

2. Analiza możliwości prowadzenia rozpoznania brodów i przepraw z powietrza

W Polsce od kilku lat toczy się dyskusja nad wymogiem pływalności pojazdów wojskowych, takich jak np. bojowe wozy piechoty (BWP) czy kołowe transportery opancerzone (KTO). Zachowanie pływalności tego typu sprzętu wiąże się zazwyczaj ze znacznym pogorszeniem stopnia jego ochrony balistycznej, a także ograniczeniami w integracji z nowoczesnymi systemami uzbrojenia, czy ilością przewożonej amunicji. O wadze tych problemów świadczyć może fakt, że na zatwierdzonym właśnie etapie studium wykonalności i wstępnych założeń taktyczno-technicznych (WZTT) polskiego bojowego wozu piechoty Borsuk, podjęto decyzję o wykonaniu (obok bazowego wariantu pływającego) niepływającej dopancerzonej wersji o masie ponad 40 ton [2].

Na obszarze naszego kraju, a szczególnie na Niżu Polskim większość odcinków koryt dużych rzek (Wisła, Odra, Bug, Narew) charakteryzuje się stosunkowo szerokimi korytami o średniej głębokości dochodzącej do 2,5 metra. Jest to dopuszczalna głębokość brodenia większości nowoczesnych konstrukcji. Wydaje się zatem, że kluczową sprawą dla zapewnienia pełnej mobilności pojazdów wojskowych powinno być wyposażenie w sprzęt i procedury, które umożliwią szybkie odnajdywanie i rozpoznanie stref/miejsc dogodnych do forsowania koryt. Możliwość szybkiej identyfikacji pewnych parametrów koryta rzeki może być również przydatna dla wielu służb odpowiedzialnych za zarządzanie w sytuacjach kryzysowych [2,3].

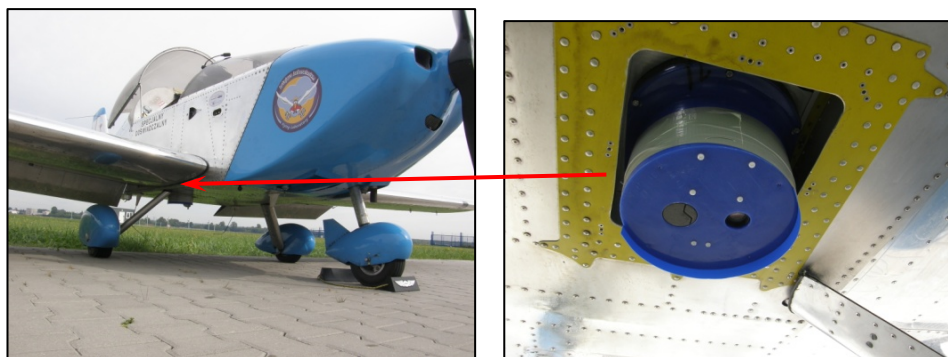
Koryta rzek na Niżu Polskim, w zdecydowanej większości o charakterze roztokowym, są przeciążone rumowiskiem (materiałem transportowanym) i charakteryzują się zazwyczaj dużą zmiennością. Na przykład zmiany położenia dna koryta Wisły powyżej Warszawy dochodzić mogą lokalnie do około 6 m. Przejście fali wezbraniowej prawie zawsze powoduje znaczące zmiany rzeźby strefy korytowej (dna koryta) na długich odcinkach. Zmiany takie zachodzą jednak nie tylko w warunkach dużych przepływów i wysokich stanów wody w korycie (czy też dużej zmienności tych parametrów), ale nawet w warunkach stanów średnich. Zmiany rzeźby koryt rzecznych w trakcie przechodzenia fali wezbraniowej mogą być znacznie większe i dotyczą zazwyczaj kilkukilometrowych odcinków koryta. Mimo tak dużej zmienności w korytach rzek na Niżu Polskim występują strefy stabilne w obrębie, których zmiany rzeźby dna są niewielkie, a koryto nie jest pogłębiane poniżej określonego poziomu. W strefach takich w podłożu występują grunty o dużej odporności na erozję – utwory trudno rozmywalne, mające często charakter progów. W przeszłości w miejscach takich funkcjonowały brody [1,5].

Jednocześnie ze strefami stabilnymi, które w morfologii doliny rzecznej zaznaczają się często wyraźnym zwężeniem, w dolinach rzek występują strefy, gdzie koryto uformowane jest w utworach słabonośnych. Niewielka głębokość koryta w takich miejscach nie gwarantuje skutecznej i bezpiecznej przeprawy.

Przygotowanie badań zakładało, we wstępnej fazie, wykorzystanie doświadczeń (zebranych na podstawie analizy literatury) jednostek wojskowych w zakresie ich wiedzy operacyjnej i technicznej obejmującej działania rozpoznawcze i forsowanie przepraw wodnych po dnie.

Kolejne zadanie obejmowało, na etapie tworzenia technologii, prowadzenie badań w dwóch wzajemnie uzupełniających się obszarach - powietrznym realizowanym przez ITWL (badania w locie, pozyskanie danych tele-detekcyjnych) i lądowym realizowanym przez SGGW (badania terenowe w tym pomiary batymetryczne). Komponent lotniczy i naziemny obejmował odpowiednio [2,3]:

- samolot SONEX LL oraz UAV z zasobnikiem (głowicą optoelektroniczną), którego sensory rejestrowały układ strefy korytovej ze szczególnym uwzględnieniem samego koryta oraz wynurzonych i zanurzonych (do pewnej głębokości) form korytowych w barwach naturalnych i podczerwieni;



Rys. 1. Samolot SONEX LL oraz UAV z zasobnikiem (głowicą optoelektroniczną)

- zestaw hydrograficzny złożony z echosondy zintegrowanej z odbiornikiem DGPS, którym wykonano pomiary batymetryczne fragmentów koryta niedostępnych dla komponentu powietrznego.



Rys. 2. Zestaw hydrograficzny złożony z echosondy zintegrowanej z odbiornikiem DGPS

W wyniku przeprowadzonej przez zespół badawczy ITWL - SGGW analizy określone zostały zadania i cele badawcze:

- wybór odpowiednich sensorów do zamontowania na platformie powietrznej;
- wykonanie zobrażeń koryta w różnych warunkach hydrologicznych;
- łączna analiza obrazu uzyskanych materiałów teledetekcyjnych i konfrontowanie go z wynikami badań terenowych;
- opracowanie założeń i wykonanie aplikacji klucza fotointerpretacyjnego;
- weryfikacja klucza fotointerpretacyjnego,

których realizacja powinna umożliwić weryfikację przyjętego założenia:

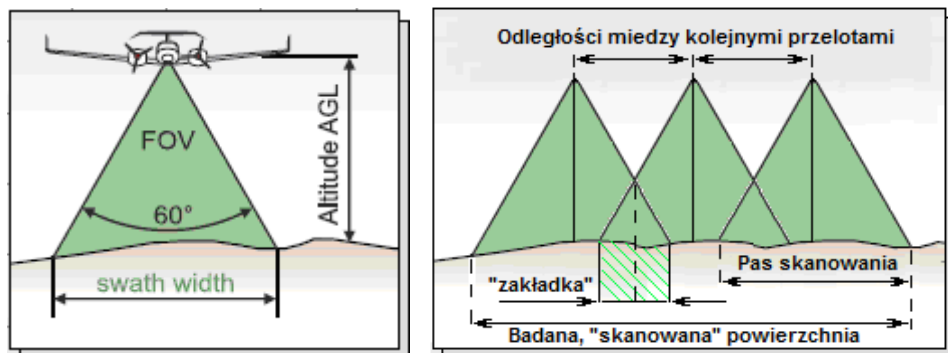
Lotnicze rozpoznanie obrazowe z niskiego pułapu zapewnia identyfikację charakterystycznych cech koryta dużej rzeki Niżu Polskiego (Wisły i Bugu), które pozwalają ocenić możliwość jego forsowania po dnie przez pojazdy wojskowe.

3. Przeprowadzenie eksperymentu, obejmującego pomiary teledetekcyjne i batymetryczne związane z budową geologiczną i rzeźbą strefy korytowej wybranego odcinka rzeki planowanego do przeprawy

W realizacji eksperymentu, w odniesieniu do komponentu lotniczego, celem było określenie ograniczeń związanych z fizyczną realizacją zapisu danych, zależnych od parametrów lotu, przy których zachowana będzie zdolność do ciągłej, niezakłóconej i jakościowo pożądanej rejestracji przez sensory.

Sposób wykonania zadania lotniczego uwzględniał także techniczne możliwości sensorów obrazowych, wynikające z warunków lotu: wysokość – rozdzielczość/rozdzielczość i zniekształcenia, wysokość – kąt obserwacji.

W realizowanych lotach badawczych wykorzystane zostały metody zapożyczone z lotniczego skaningu laserowego (ALS - Airborne Laser Scanning) i lotniczego rozpoznania fotograficznego.



Rys. 3. a) Pojedynczy pas

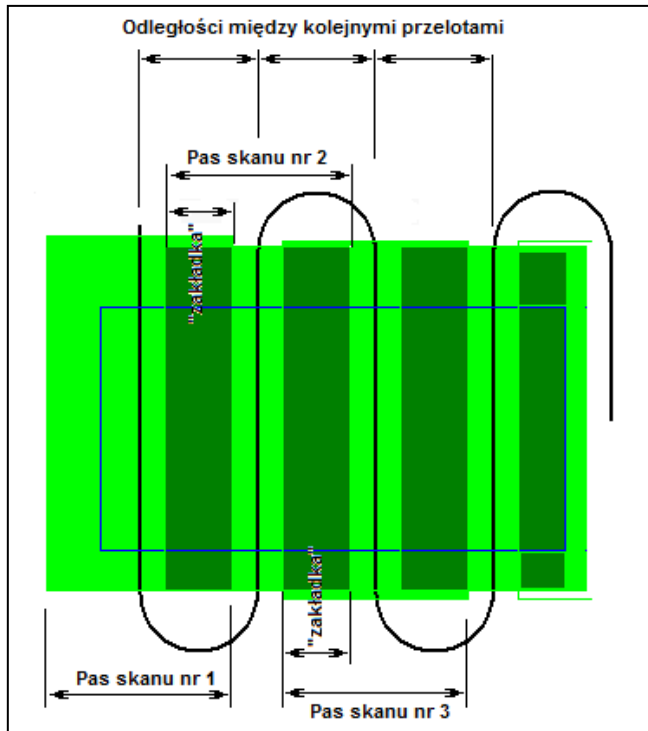
b) Wielokrotne nakładające się pasy skanowania

W przypadku obiektów rozległych powierzchniowo niezbędne jest wykonanie szeregu kolejnych nalołów z nakładaniem się części pasa wcześniej już zarejestrowanego. Pozwala to na złożenie koordynat poszczególnych pasów w jedną całość odwzorowującą badaną powierzchnię. Ideę takich lotów z nakładającymi się pasami rejestrowanego obrazu badanego obiektu powierzchniowego przedstawiają powyższe schematy.

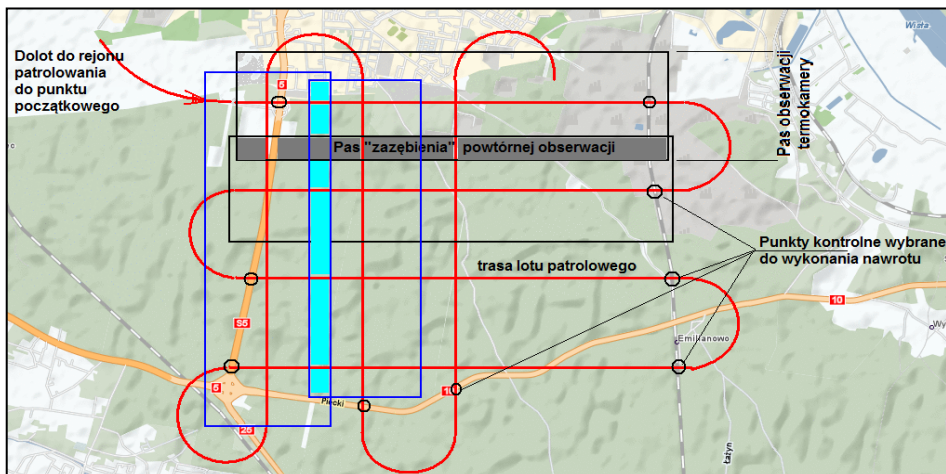
Poniżej przedstawiony jest rzut poziomy wielokrotnych (równoległych) nalołów filmujących powierzchnię terenu z nakładającymi się pasami („na zakładkę”) podczas kolejnych przelotów. Na ogół stosuje się „zakładki” o szerokości 25% do 30% zasadniczego (pojedynczego) pasa.

W przypadku terenów o zróżnicowanej rzeźbie, potrzeby dokładnej korelacji współrzędnych mogą wymagać zastosowanie większej części wspólnej zobrazowań.

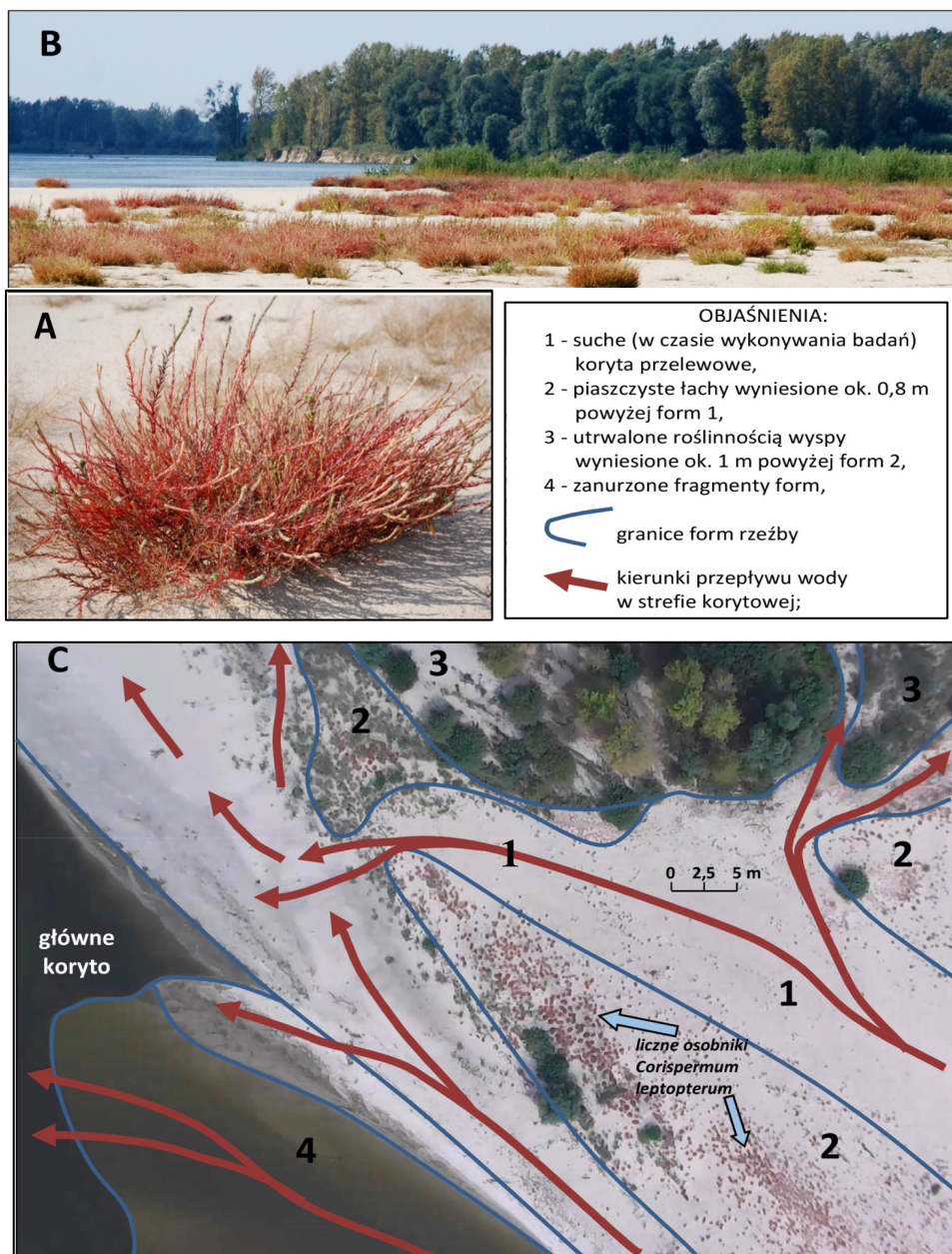
Można też zastosować tzw. „krzyżową” metodę nalołów, której szkic pokazano poniżej [2].



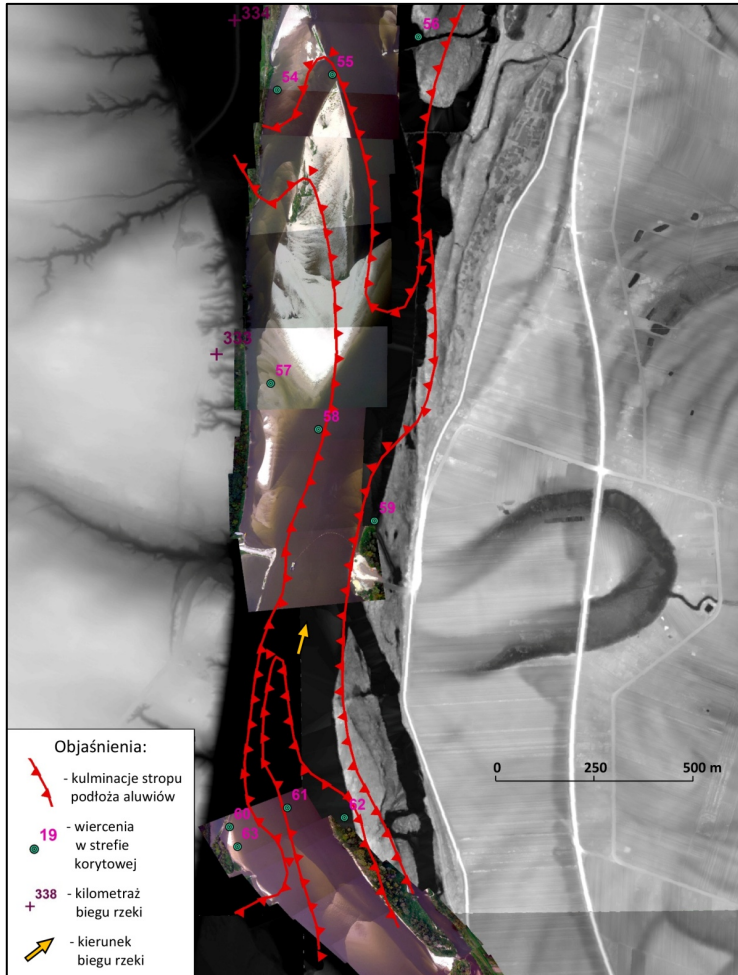
Rys. 4. Rzut poziomy wielokrotnych (równoległych) nalotów filmujących powierzchnię terenu z nakładającymi się pasami



Rys. 5. „Krzyżowa” metoda nalotów



Rys. 6. A – *Corispermum leptopterum* (wrzosowiec cienkoskrzydłkowy) porastający wyżej wyniesione fragmenty piaszczystych łach w korycie – B i widoczny w obrębie tych form (2) na zobrazowaniach lotniczych C w paśmie widzialnym [1,4]



Rys. 7. Rozpoznanie i identyfikacja cech podłoża koryta rzecznej na podstawie danych uzyskanych w podczerwieni

W ramach przeprowadzonego eksperymentu dokonano identyfikacji wybranych form rzeźby strefy korytovej. Kartowanie i pomiary morfometryczne form wykonano z wykorzystaniem odbiorników DGPS¹ i technologii mobilnego GIS-u.

¹ DGPS (ang. *Differential Global Positioning System*) – technika pomiarów GPS pozwalająca na uzyskanie większej dokładności niż przy standardowym pomiarze jednym odbiornikiem. Metoda ta polega na wykorzystaniu stacji bazowej (tzw. referencyjnej) – odbiornika ustawionego w dokładnie wyznaczonym punkcie (np. przez pomiar geodezyjny), który wyznacza na bieżąco poprawki różnicowe dla poszczególnych satelitów, co pozwala na eliminowanie większości błędów.

Dodatkowo wykonano także dokumentację fotograficzną form, która pozwoliła np. na określenie składu gatunkowego występujących w ich obrębie roślin (jako wskaźnika dynamiki procesów korytowych).

Lokalizacja kulminacji stropu podłoża aluwiiów o dużej odporności na erozję na tle numerycznego modelu pokrycia terenu (NMPT) oraz fotoszkiecu na podstawie danych uzyskanych w podczerwieni.

Podstawowym założeniem eksperymentu było porównanie wyników badań terenowych z wynikami analizy materiałów teledetekcyjnych pozyskanych w ramach lotów badawczych przez *Latające laboratorium* Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych. Dlatego też najważniejszą część badań terenowych dokumentujących morfologię koryta (pomiarów batymetrycznych, a także identyfikację i kartowanie wybranych form korytowych) przeprowadzono w czasie wykonywania lotów oraz niezwłocznie po ich zakończeniu.



Rys. 8. Zintegrowany system hydrograficzny SGGW podczas pracy [4]

4. Ocena wyników eksperymentu i kierunek dalszych badań

Wspólna analiza materiałów archiwalnych, wyników badań terenowych i materiałów teledetekcyjnych pozyskanych przez *Latające laboratorium* ITWL pozwoliła na określenie warunków morfodynamicznych i geologicznych występujących w strefach korytowych na wybranych odcinkach rzek Niziny Polskiej ze szczególnym uwzględnieniem cech wskazujących na istnienie warunków dogodnych do przepraw. Na tej podstawie opracowano założenia metodyki wyznaczania takich stref z wykorzystaniem platform powietrznych.

Kontynuacja badań umożliwi opracowanie szczegółowych założeń do budowy *Systemu wyznaczania stref dogodnych dla przepraw z wykorzystaniem platform*

powietrznych, a następnie jego realizację techniczną, jako demonstratora technologii oraz wykonanie badań w środowisku operacyjnym.

W oparciu o rezultaty dotychczas przeprowadzonych badań i doświadczenia zespołu uzyskane w czasie prowadzonego eksperymentu, określone zostały niezbędne komponenty **Systemu**:

- baza danych GIS, zawierająca dane archiwalne oraz bieżąco aktualizowane;
- segment lotniczego rozpoznania obrazowego, którego zadaniem będzie zapewnienie aktualnych danych o warunkach panujących w miejscu potencjalnej przeprawy.

Ponadto na podstawie już przeprowadzonych badań można przyjąć założenie, że **System wyznaczania stref dogodnych dla przepraw z wykorzystaniem platform powietrznych**, w przypadku poprawnego wykonania bazy danych oraz doboru i konfiguracji sensorów rozpoznania obrazowego (pracujących w różnych pasmach promieniowania), cechować będzie wysoka skuteczność, prostota obsługi i szybkość działania.

5. Literatura

1. Falkowski T.: Różnicowanie warunków przepływu wód współczesnych równi zalewowych na Nizinie Polskiej na przykładzie doliny środkowej Wisły, *Przegląd Geologiczny*, vol. 63, nr 10/2, 2015.
2. Opracowanie systemu do oceny możliwości forsowania koryta dużych rzek - etap I. Opracowanie zbiorowe, zarejestrowano w bibliotece ITWL Nr 8837/50 – 2016.
3. Opracowanie systemu do oceny możliwości forsowania koryta dużych rzek - etap II. Opracowanie zbiorowe, zarejestrowano w bibliotece ITWL Nr 10217/50 – 2017.
4. Ostrowski P., Falkowski T., Karczmarz D., Mądrzycki P., Szkudlarz H.: The usefulness of low-altitude aerial photography for the assessment of channel morphodynamics of a lowland river. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Land Reclamation*, Nr 49 (2), s. 96-106, 2017.
5. Ostrowski P.: Zróżnicowanie erozyjnych form rzeźby dna doliny w strefie podlaskiego przełomu Bugu/The diversity of erosional landforms in the Bug river valley in the Podlasie Region (NE Poland), *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, nr 70, 350–360, 2015.

Udział autorów w przygotowaniu publikacji: D. Karczmarz 20%, P. Mądrzycki 15%, H. Szkudlarz 15%, W. Puchalski 10%, J. Gorczyca 5%, M. Ciepłiński 5%, T. Falkowski 15%, P. Ostrowski 15%.

