

**Paweł Franczak** (franczak.p@op.pl) \*

**Witold Jucha** (witold.jucha@gmail.com) \*\*

**Anna Marszałek** (anna\_marsz@wp.pl) \*\*\*

*\* Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego,  
ul. Gronostajowa 7, 30-348 Kraków*

*\*\* Instytut Geografii Uniwersytetu Pedagogicznego im. Komisji Edukacji Narodowej  
w Krakowie, ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków*

*\*\*\* Studenckie Koło Naukowe Geografów Uniwersytetu Pedagogicznego im. Komisji Edukacji  
Narodowej w Krakowie, ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków*

## **Przydatność numerycznych modeli terenu wygenerowanych z chmury punktów ALS (ISOK) w interpretacji wybranych elementów koryta ciekę – analiza na przykładzie Sopotni Wielkiej**

### **The usefulness of digital elevation models generated from ALS point cloud (ISOK program) to the chosen stream bed elements interpretation - analysis on the example of Sopotnia Wielka stream**

#### **STRESZCZENIE**

Numeryczne Modele Terenu (NMT) wygenerowane z danych pochodzących ze skanowania laserowego (ang. *Airborne Laser Scanner*, ALS) cechują się dużą dokładnością i zagęszczeniem informacji. Duża liczba pomiarów (liczona w punktach na m<sup>2</sup>) powoduje odwzorowanie w modelu wielu form ukształtowania terenu o niewielkich wymiarach; obiekty te nazywane są czasem błędami interpolacji lub artefaktami NMT. Mogą one wywierać istotny i negatywny wpływ na analizy GIS związane z użyciem NMT, takie jak modele hydrologiczne. Z drugiej strony można podjąć próbę wykorzystania ich obecności do detekcji niewielkich form ukształtowania powierzchni, związanych z istnieniem różnych obiektów naturalnych oraz dawnych lub współczesnych śladów zagospodarowania terenu.

Artykuł zawiera rozważania na temat interpretacji NMT wygenerowanych z danych ALS LiDAR. Artefakty modelu wykorzystano w nim do detekcji niektórych form związanych z korytami rzeczny. Materiałem źródłowym był model powstały w ramach projektu ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju). Jako obszar badań wybrano potok Sopotnia Wielka, położony w województwie śląskim, w gminie Jeleśnia na terenie powiatu żywieckiego.

Badaniem objęto formy naturalne – progi założone na wychodniach skalnych oraz elementy zabudowy poprzecznej koryta. Najstarszymi poszukiwanymi obiektami antropogenicznymi były elementy dawnego zagospodarowania cieków w postaci dawnych kanałów prowadzących wodę do zakładów posiadających koła wodne. Informacje wstępne o ich obecności zebrano z XVIII- i XIX-wiecznych map austriackich dla terenu badań. Współczesnymi elementami zbudowanymi przez człowieka były stopnie przeciwerozyjne betonowe lub zbudowane z drewna oraz zapory zbudowane z kamieni o różnym stopniu

trwałości (niekiedy ich konstrukcja była wzmocniana materiałami budowlanymi; w większości jednak były to proste, luźne budowle o niewielkiej wysokości).

Na podstawie map archiwalnych ustalono sześć lokalizacji młynów. W miejscu ich przypuszczalnego położenia na NMT stwierdzono obecność artefaktów modelu o liniowym przebiegu (dawnych młynówek). Z powodu charakteru danych oraz wieku form otrzymane wyniki uznano za dyskusyjne i wstępne do dalszych badań.

Porównując otrzymane wyniki z interpretacji NMT i kartowania terenowego progów naturalnych można stwierdzić, że możliwości pozyskania danych o progach naturalnych metodą interpretacji modelu są wciąż niezadowalające. Stosunek liczby stwierdzonych obiektów wynosi 2 do 3 na korzyść badania w terenie (różnica ta jest istotna statystycznie). W sposób szczególny dotyczy to progów o niewielkiej wysokości (poniżej 1,0 m) których też było najwięcej. Należy jednak zaznaczyć, że deklarowany przez producenta danych błąd maksymalny pomiaru wynoszący 0,8 m został potwierdzony – powyżej tej wartości widoczne są wszystkie objekty.

W NMT widoczne są prawie wszystkie trwałe (stopnie) lub utrwalone (zapory) elementy modyfikowania spadku koryta dodane przez człowieka w postaci artefaktów modelu. Ich wysokość wahała się w granicach 60-250 cm. Nieistotna statystycznie różnica świadczy o dużym potencjale drzemącym w NMT z ALS pod kątem interpretacji współczesnych antropogenicznych obiektów występujących w korycie.

## SUMMARY

Digital Terrain Models (DTM) generated from Airborne Laser Scanner (ALS) data are characterized by high accuracy and density of information. A large number of measurements (calculated in points per sq. m) causes a reproduction of many small forms in the model. These objects are sometimes called DTM interpolation errors. They can have a significant and negative impact on GIS analysis associated with the use of DTM, such as hydrological modeling. On the other hand, it is possible to use them to detect some objects in topography, for example natural objects and ancient and contemporary forms of land use.

The article contains a discussion on the interpretation of DTM generated with ALS LiDAR data for use small forms seen in model for the detection of some forms associated with troughs river. It uses the model created by the ISOK project (pol. *Informatyczny System Ochrony Kraju* – Country's Protection System Against Extreme Hazards). As an area of study was selected stream Sopotnia Wielka, located in the south of śląskie voivodeship, in the in the Żywiec district and municipality of Jeleśnia.

In the study were included natural forms – knickpoints in the riverbed of Sopotnia Wielka, and anthropogenic forms: former channels connected with watermills and contemporary constructions: bridges, barrages and dams (made of river stones). Comparative information about the watermills was collected from the 18<sup>th</sup>- and 19<sup>th</sup>-century Austrian maps of the study area. Material about modern elements built in the river and natural forms was collected during field works.

On the basis of archival maps were established six locations of the watermills. In place of their supposed position in the DTM were revealed linear forms of relief. Due to the nature of data and age forms the results were controversial and were designed for further research.

Comparing the results from the interpretation of DTM and field works of the knickpoints it can be said, that the possibility of obtaining these forms in DTM is still too small. It's only about 2/3 of these forms were recognized in the model (this difference is statistically significant). In particular, it relates to a low height of the lot of knickpoints (below 1,0 m). However, the maximum error of localization declared by the manufacturer of the data (of 0,8 m) was confirmed – all objects above this value of highness are visible in DTM.

In the DTM can be seen almost all of the modern anthropogenic elements in the riverbed (barrages, dams). Their height was ranged from 60-250 cm. Statistically insignificant difference shows large potential of interpretation of anthropogenic objects found in the riverbed.

**Słowa kluczowe:** LiDAR, ALS, zdjęcie wojskowe, progi rzeczne, stopnie, Karpaty

**Key words:** LiDAR, ALS, Military Survey, knickpoints, barrages, Carpathians

## WSTĘP

Cyfrowe modele wysokościowe i numeryczne modele terenu znajdują różnorodne zastosowania. Są one szeroko wykorzystywane w modelowaniu hydrologicznym, od określenia parametrów zlewni (powierzchnia, granice, wielkość nachylenia, linie spływu) do szczegółowych zastosowań praktycznych (np. map zagrożenia powodziowego).

Oprócz wskazanych możliwości dokonywania pomiarów i prognozowania ryzyka (Gołuch 2002; Jarząbek i in. 2011; Baszkiewicz i in. 2014) możliwe jest także interpretowanie ukształtowania widocznego na NMT (zwłaszcza cieniowanym) w celu poszukiwań historycznych i archeologicznych (Zapłata 2013; Szady, Zapłata 2014; Franczak, Jucha 2015a). O jakości zarówno analiz jak i interpretacji form decydujące jest użycie możliwie dokładnego źródła informacji przestrzennej. Pierwsze modele wysokościowe powstawały w oparciu o interpolację punktów wysokościowych zebranych w wyniku wektoryzacji poziomic. Następne powstawały na podstawie pomiarów radarowych z satelitów (np. model SRTM lub ASTER). Te drugie charakteryzowały się rozdzielczością rastra rzędu kilkudziesięciu metrów (np. SRTM: od około 30 do 90 m) i dokładnością pionowego pomiaru rzędu metrów, zależnie od charakteru terenu (nizinny/górski; Ilba 2013). Obecnie wymienione modele wysokościowe są coraz rzadziej używane z powodu nowego źródła informacji geograficznej, jakim są dane pochodzące ze skanowania laserowego.

W niniejszym studium poruszono kwestię interpretacji numerycznego modelu terenu, wygenerowanego z chmury punktów pochodzących z lotniczego skanowania laserowego (ALS). Skupiono się w nim na detekcji dawnych i współczesnych śladów koryt/kanałów oraz innych form towarzyszących – zarówno naturalnych, jak i antropogenicznych. Do realizacji postawionego założenia wybrano zlewnię Sopotni Wielkiej (Ryc. 1), potoku górskiego znajdującego się w Beskidach Zachodnich.

## Przegląd literatury

LiDAR (ang. *Light Detection And Ranging*) jest teledetekcyjną metodą pozyskania danych przestrzennych za pomocą optycznego skanera laserowego (Ackermann 1999). Określeniami stosowanymi w literaturze polskiej w stosunku do pozyskiwania i przetwarzania danych tego typu są:

- skanowanie/skaning LiDAR (czynność pozyskania danych; skaning jest anglicyzmem pochodzącym od słowa *scanning*)

- dane skaningowe, dane LiDAR, chmura punktów (ang. *point cloud*; określenie oddające wygląd danych w postaci wektorowej w środowisku komputerowym).

Technologię tą określa się również za pomocą skrótu LS (ang. *Laser Scanner*), z przedrostkiem oznaczającym sposób powstania danych, na podstawie położenia urządzenia skanującego:

- **TLS** (ang. *Terrestrial Laser Scanner*) – urządzenie skanujące jest umieszczone na statywie geodezyjnym. Umożliwia to precyzyjne dowiązanie do układu współrzędnych oraz pozyskanie bardzo dokładnej, zagęszczonej chmury punktów dla pojedynczych obiektów i niewielkich obszarów, np. osuwisk. Tym sposobem można uzyskać liczby punktów rzędu nawet tysięcy na m<sup>2</sup> powierzchni gruntu. (Cebulski 2015).
- **ALS** (ang. *Airborne Laser Scanner*) – urządzenie znajduje się na pokładzie samolotu, śmigłowca lub bezzałogowca (tzw. drona). Metoda ta umożliwia szybkie powstanie skanu dla dość dużej powierzchni (rzędu kilometrów kwadratowych podczas jednego nalotu), co stanowi rozwiązanie kompromisowe pomiędzy dużą dokładnością a wielkością obszaru objętego skanowaniem. W Polsce (program ISOK) przyjęto dwa standardy zagęszczenia chmury: między 12 a 16 pkt./m<sup>2</sup> dla obszarów dużych miast (np. wojewódzkich), oraz między 4 a 6 pkt./m<sup>2</sup> dla pozostałych terenów (Ackermann 1999; Affek 2014).
- **SLS** (ang. *Satellite Laser Scanner*) – urządzenie jest umieszczone na pokładzie satelity okołozemskiego i umożliwia skan dużych powierzchni w skali całej planety. Dane pozyskane tą metodą charakteryzują się niewielką dokładnością i zagęszczeniem, rzędu jednego punktu pomiarowego na kilkadziesiąt/kilkaset metrów kwadratowych powierzchni gruntu. Przykładem takiego wykorzystania skanowania laserowego była misja ICESat (ang. *Ice, Cloud and land Elevation Satellite*), w ramach której w latach 2003-2010 dokonywano pomiarów satelitarnych powierzchni Ziemi ze szczególnym uwzględnieniem obszarów polarnych (Schutz i in. 2005).
- **MLS** (ang. *Mobile Laser Scanner*) – urządzenie jest zamontowane na pojeździe (np. samochodzie) lub przenoszone przez badacza bez użycia statywów. Metoda ta jest wykorzystywana do badania ukształtowania terenu, zazwyczaj wzdłuż liniowych obiektów (np. korytarzy jaskiń, gdzie niemożliwa jest pełna lokalizacja urządzenia z GPS). W oparciu o ciągłe skanowanie przestrzeni wokół pojazdu z użyciem skanera laserowego powstała i jest obecnie testowana jedna z technologii autonomicznego przemieszczania się samochodów (Jakubiec 2014).

Przykładami publikacji poruszających kwestię wykorzystania danych pochodzących ze skanowania laserowego ALS w geomorfologii fluwialnej i hydrologii są badania wykonane w obrębie rzeki Ebro na Półwyspie Iberyjskim (Ollero 2010), rzeki Yuba w Stanach Zjednoczonych (Ghoshal i in. 2010) czy też rzeki Waipoa w Nowej Zelandii (De Rose, Basher 2011). W Polsce dokonywano implementacji danych ALS do

opracowania map zagrożenia powodziowego i ryzyka powodziowego (Kurczyński 2012; Baszkiewicz i in. 2014). Ponadto w zlewni Izery w Sudetach Zachodnich M. Kasprzak i A. Traczyk (2011) wykorzystali dane z ALS do odtworzenia rzeźby i ewolucji dna doliny tej rzeki.

W Polsce został udostępniony jednolity i wielkoobszarowy zbiór danych ALS. Jest to zasób powstały w ramach Projektu ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju – <http://www.isok.gov.pl/>). Głównym celem tego projektu było „wsparcie osłony społeczeństwa, gospodarki i środowiska przed nadzwyczajnymi zagrożeniami, a także wspomaganie podejmowania decyzji w przypadku wystąpienia groźnych zdarzeń” (cytat za: <http://www.isok.gov.pl/>). Podstawowym przeznaczeniem danych z lotniczego skanowania laserowego powstałych w ramach ISOK było więc zastosowanie praktyczne (Jarząbek i in. 2011). Jednak wysoka szczegółowość, precyzja i zagęszczenie danych oraz duży stopień pokrycia powierzchni kraju umożliwiają wykorzystanie tych danych także do badań naukowych, w tym inwentaryzacji obiektów historycznych i archeologicznych (np. Legut-Pintal 2012; Zapłata 2013; Zawieska i in. 2013; Szady, Zapłata 2014; Franczak, Jucha 2015a, 2015b), w geomorfologii (Wężyk i in. 2008; Cebulski 2015; Migoń, Kasprzak 2015) i w naukach leśnych (Wężyk 2006).

## **Cel, przedmiot badań**

Podstawowym celem niniejszego studium jest ocena przydatności danych źródłowych pochodzących ze skanowania laserowego w badaniach koryt cieków. Aby jej dokonać, zestawiono z tymi danymi informacje pozyskane z innych źródeł. Sprawdzono następnie z użyciem testów statystycznych, jak bardzo poszczególne wyniki różnią się między sobą. Brak różnicy statystycznie istotnej oznaczałoby w tym przypadku wysoką ocenę przydatności – korzystanie z innych źródeł w następnych badaniach nie byłoby konieczne.

W oparciu o powyższe hipotezy badawcze skonstruowano w formie pytań następujące cele szczegółowe:

- Czy w modelu są widoczne ślady dawnego zagospodarowania cieków, zaznaczone na mapach archiwalnych? Czy można określić ich przybliżone parametry?
- Jakie współczesne elementy ukształtowania koryta można oznaczyć za pomocą numerycznego modelu terenu pochodzącego z lotniczego skanowania laserowego? Jaka jest minimalna wielkość obiektów rozpoznawalnych na modelu terenu?

Przedmiotem badań były obiekty zabudowy poprzecznej koryta i progi naturalne znajdujące się na potoku Sopotnia, modyfikujące model ALS. Dokonano także próby identyfikacji kanałów prowadzących wodę do zakładów z kołem wodnym widocznych na mapach archiwalnych, pochodzących sprzed I wojny światowej (I zdjęcie wojskowe Galicji, tzw. Mapa Miega, II i III zdjęcie wojskowe Galicji).

## Podstawowe pojęcia

W artykule użyto określeń i pojęć, które w różnych opracowaniach mogą przyjmować odmienne znaczenie. W celu uniknięcia nieporozumień poniżej przedstawiono ich definicje, zaczerpnięte z literatury przedmiotu.

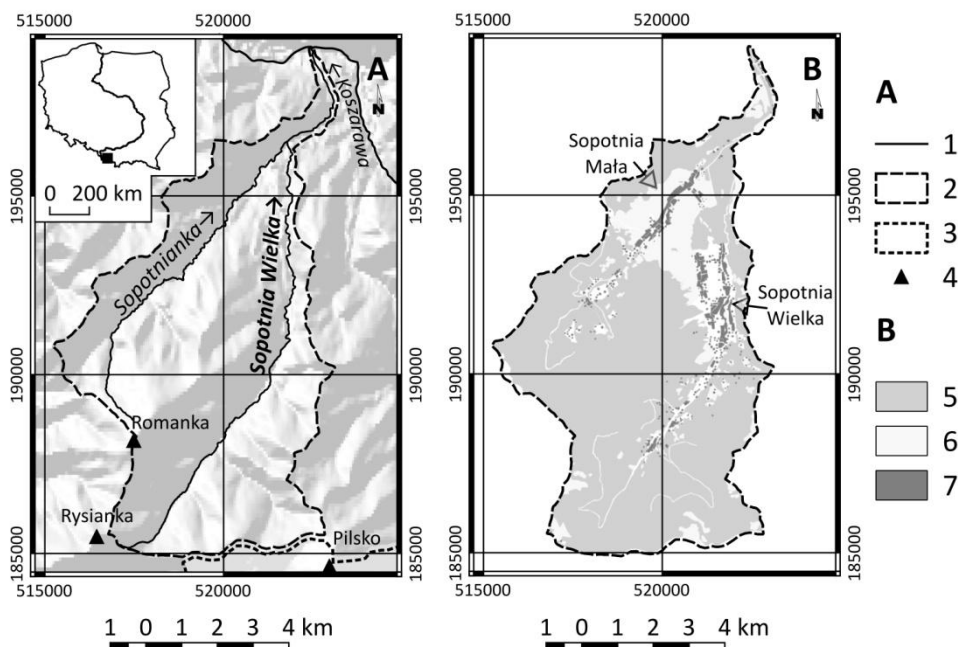
- **Artefakt (GIS)** – informacja przestrzenna powstała w wyniku błędu obliczeniowego (np. kalibracji źródła, interpolacji), nie mająca odzwierciedlenia w rzeczywistości; np. nienaturalne obszary płaskie i wzniesienia niezgodne ze spadkiem ogólnym w korycie, widoczna triangulacja na obszarze pozbawionym danych w (→) Cyfrowym Modelu Wysokościowym lub Numerycznym Modelu Terenu (Longley i in. 2008).
- **Chmura punktów** (ang. *point cloud*) – określenie oddające wygląd przestrzenny danych wektorowych powstałych z użyciem skanera laserowego. Każdy punkt w chmurze ma przypisane współrzędne w trzech wymiarach (x,y,z) oraz klasę punktu (na podstawie klucza interpretacyjnego w oprogramowaniu GIS wszystkim punktom przypisywany jest rodzaj powierzchni, od której odbiła się wiązka lasera).
- **Cyfrowy Model Wysokościowy / CMW** (ang. *Digital Elevation Model / DEM*) - cyfrowy obraz powierzchni Ziemi, powstały jako rastrowa, dwuwymiarowa macierz wysokości terenu, będąca zazwyczaj wynikiem interpolacji (Moore i in. 1991; Zwoliński 2010).
- **GIS** (ang. *Geographic / Geographical Information System*) – system informacji geograficznej, w niniejszym artykule jest rozumiany jako sprzęt i oprogramowanie służące do pozyskania, przetwarzania, analizy i wizualizacji informacji przestrzennej (Jucha 2015). Pojęcia oznaczone tym skrótem w niniejszym słowniku przyjmują różne znaczenia w innych naukach (np. artefakt).
- **Kartometryczność** – cecha mapy wynikająca ze sposobu utworzenia rysunku powierzchni Ziemi na płaszczyźnie (podstaw astronomicznych i matematycznych rzutowania powierzchni elipsoidy ziemskiej na płaszczyznę mapy), umożliwiającą dokonywanie prawidłowych pomiarów ilościowych dotyczących fizycznych wymiarów przedstawionych obiektów i zjawisk (długości, odległości, powierzchnie, kształty, topologia itp.).
- **Model cieniowany** (ang. *shaded relief model*) – modyfikacja modelu terenu (zob. numeryczny model terenu) służąca uwypukleniu rzeźby, wykorzystująca zdefiniowany podczas tworzenia warstwy stopień oświetlenia komórki rastra: intensywność oświetlenia/zacienienia obszaru zależy od predefiniowanych wartości azymutu i kąta pionowego źródła światła. Model ten zastąpił wcześniejsze metody plastycznej prezentacji rzeźby terenu, takie jak metoda kopczykowa, czy kreskowanie Lehmana. Zazwyczaj wykorzystuje się model cieniowania, w którym źródło oświetlenia znajduje się w północno-zachodnim narożniku mapy, o kącie pionowym 40-45° – model ten cechuje właściwe postrzeganie przez użytkownika form wklęsłych i wypukłych (Urbański 2011; Medyńska-Gulij 2012).

- **Modelowanie hydrologiczne (GIS)** – jedno z podstawowych zastosowań praktycznych numerycznego modelu terenu, wynikające ze wzajemnych powiązań pomiędzy charakterem spływu a kształtowaniem powierzchni ziemi. Do podstawowych analiz hydrologicznych z wykorzystaniem GIS należą: wyznaczanie obszaru zlewni, modelowanie spływu wody w zlewni, modelowanie ryzyka powodziowego i kreślenie map zagrożenia powodziowego (Gudowicz, Zwoliński 2009; Urbański 2011).
- **Numeryczny Model Terenu / NMT** (ang. *Digital Terrain Model / DTM*) – wskaźnik przestrzenny będący pochodną Cyfrowego Modelu Wysokościowego, np. model cieniowany, mapa spadków lub mapa ekspozycji (Zwoliński 2010).
- **Topologia (GIS)** – dział narzędzi GIS zajmujący się analizą położenia obiektów w przestrzeni i poszukiwania powiązań pomiędzy nimi, wykorzystujący założenia topologii matematycznej.
- **Web Map Service / Web Map Tile Service (WMS / WMTS)** – usługi internetowe GIS umożliwiające wyświetlanie i nakładanie warstw rastrowych (najczęściej map) z predefiniowanym układem współrzędnych i skalą z rozproszonych źródeł w sieci. Różnią się one sposobem przesyłu danych: WMTS jest skonstruowana w oparciu o fragmentaryzację mapy na predefiniowane części do wyświetlenia, tzw. kafle, natomiast WMS za każdym razem po wysłaniu żądania przez program (np. przesunięcia lub przybliżenia mapy) generuje osobno fragment mapy dopasowany do okna przeglądarki / programu GIS. Różnica ta powoduje m.in. szybsze renderowanie mapy w ramach usługi WMTS (Kubik 2009; Jucha 2012).

## TEREN BADAŃ

Jako teren badań wybrano potok Sopotnię Wielką (Ryc. 1). Jej zlewnia znajduje się na obszarze Karpat Zewnętrznych zachodnich.

Sopotnia Wielka (w opracowaniu używana jest nazwa ciek z członem „Wielka”, w celu odróżnienia go od potoku będącego jego największym dopływem, noszącego nazwę Sopotnia Mała lub Sopotnianka – nazwy stosowane są zamiennie) jest lewobrzeżnym dopływem Koszarawy, znajdującym się w zlewni Soły. Potok jest ciekim IV rzędu w dorzeczu Wisły. Jego długość wynosi 18 km. Obszar źródłowy Sopotni Wielkiej znajduje się na północno – wschodnich stokach Rysianki (Ryc. 1A) na wysokości około 1210 m n.p.m. Zlewnia Sopotni obejmuje wschodnie stoki Grupy Lipowskiego Wierchu i Romanki oraz zachodnie stoki Grupy Pilska (Ryc. 1A). Jej ujście do Koszarawy mieści się na wysokości 410 m n.p.m. Spadek koryta wynosi 41,1‰.



Ryc.1. Lokalizacja terenu badań (A) i podstawowe typy pokrycia obszaru zlewni (B): A: 1 – ciek, 2 – granice zlewni (także na mapie B), 3 – granice państwa, 4 – szczyty wspomniane w tekście, napisy kursywą – nazwy cieków, napisy zwykłym pismem – nazwy szczytów; B: 5 – lasy, 6 – tereny nieleśne, 7 – zabudowania, napisy – nazwy miejscowości. (źródło: opracowanie własne)

Fig.1. Localization research area and basic types of land cover in basin area (B): A: 1 – streams, 2 – borders of basin (as well as map B), 3 – state borders, 4 – peaks mentioned in the article, inscriptions by italic – names of streams, inscriptions by normal typeface – names of peaks; Map B: 5 – forests, 6 – non-forest area, 7 – buildings, inscriptions – names of towns. (source: own study)

Pod względem fizycznogeograficznym zlewnia Sopotni Wielkiej położona jest na obszarze Beskidu Żywieckiego (Kondracki 2009, Balon, Jodłowski 2014). Można w niej wyróżnić trzy części:

**Górna część zlewni:** jest niemal w całości pokryta przez lasy; tereny bezleśne występują jedynie w obrębie hal grzbietowych (m.in. Hala: Pawlusia i łyśniewska) oraz w miejscach wyrębów (Ryc. 1B). Koryto potoku ma przebieg z SW ku NE, a jego średni spadek wynosi 74,6%. Granica pomiędzy tym a środkowym odcinkiem potoku przebiega w pobliżu linii nr 19000 siatki układu współrzędnych prostokątnych użytej na rycinie 1.

**Środkowa część zlewni:** posiada ona wyraźnie odmienny charakter względem części górnej. Dolina potoku rozszerza się, a w obrębie zboczy dolinnych występują liczne terasy nadzalewowe. Koryto Sopotni Wielkiej zmienia kierunek na N. Zmienia się także użytkowanie terenu: tę część w większości pokrywają pola uprawne i nieużytki oraz zabudowania wsi Sopotnia Wielka i Sopotnia Mała (Ryc. 1B). Spadek podłużny potoku na tym odcinku wynosi 28,5%.

**Dolna część zlewni:** jest wyznaczona od ujścia potoku Sopotnianki. Znajduje się ona w obrębie rozległego stożka napływowego, powstałego w obrębie niewielkiej kotliny śródgórskiej (Kotlina Jeleśni) powstałej u zbiegu następujących rzek i potoków:



Koszarawy (recypient pozostałych), Sopotni Wielkiej, Krzyżówki i Pewlicy. Obszar ten jest pokryty w większości lasem łęgowym, przez który prowadzi ścieżka dydaktyczno-przyrodnicza; część zachodnia jest bezleśna (Ryc. 1B). Spadek podłużny potoku wynosi na tym odcinku 13,9‰.

Zlewnia znajduje się w całości w województwie śląskim, w powiecie żywieckim, na terenie gminy Jeleśnia. W części środkowej zlewni, w dolinach potoków Sopotnia Wielka i Sopotnia Mała (Sopotnianka) znajdują się dwie miejscowości o nazwach tożsamych z potokami. Toponim „Sopotnia” pochodzi od występującego w gwarze żywieckiej określenia oznaczającego „wodospad”, „próg wodny”. W innych rejonach Polski hydronim ten oznacza także „szumiący potok” (por. Sopot; Rospond 1986).

## **PROBLEMATYKA BADAWCZA**

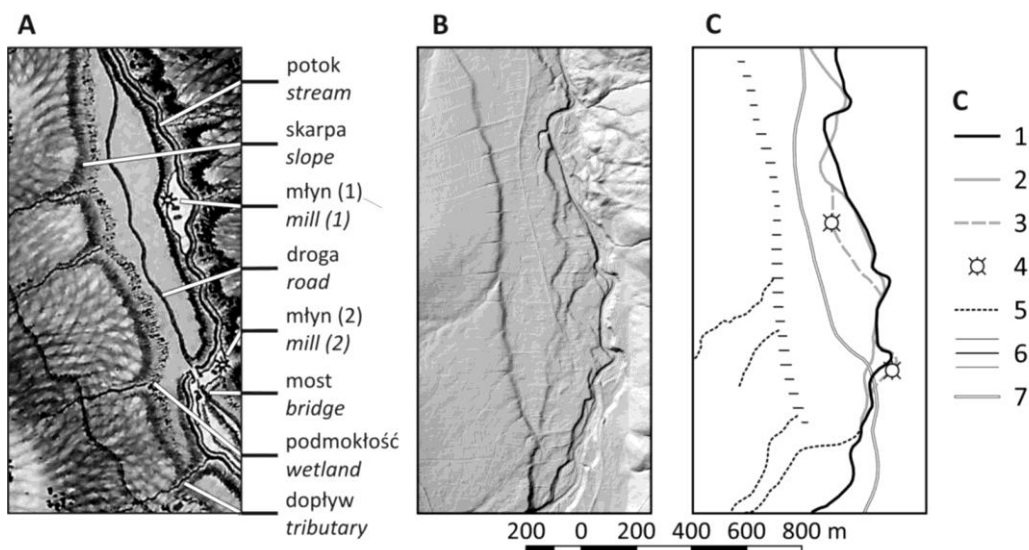
### **Poszukiwanie śladów dawnego zagospodarowania cieków w modelu pochodzącym z danych ALS**

Informacja hydrograficzna jest zawsze przedstawiana na mapach topograficznych, nieraz w bardzo bogaty i wyszukany sposób (Kaniecki 2010). W pierwszych opracowaniach kartograficznych (do końca XVIII wieku) stanowiła ona treść szkieletową, względem której zaznaczano pozostałe obiekty. Przyjęcie takiego rozwiązania, nie opartego na podstawach matematyczno-astronomicznych powoduje niekartometryczność map, tj. niemożność dokonywania na nich pomiarów ilościowych – odległości, długości i powierzchni. Choć trwają próby ich kalibracji i transformacji do układów współrzędnych z użyciem narzędzi GIS (Podobnikar 2009; Affek 2013; Janeczek 2013), utwierdzają one tylko przekonanie o obarczeniu dużym błędem położenia większości treści przedstawionej na mapie. Powyżsi autorzy oceniają błąd liniowy położenia na skalibrowanych arkuszach na kilkaset metrów do kilku kilometrów. Tę samą wielkość błędów mają pomiary odległości, powierzchni i kształtu obiektów. Mapa niekartometryczna może dostarczyć jednak informacji jakościowej, takiej jak obecność poszukiwanego obiektu (w tym jego liczebność, np. liczba budynków w miejscowości, liczba młynów), jego przybliżony kształt oraz położenie w topografii (w tym także położenie względem innych; Noga 2014). Przykładem takiej mapy jest I zdjęcie topograficzne Austrii z lat 1763-1787, nazywane również Zdjęciem Józefińskim lub Mapą Miega i Waldaua (od nazwisk głównych twórców; Noga 2014). W jej zasięgu z powodu I zaboru austriackiego znajduje się badana zlewnia.

W wieku XIX problem ten został zlikwidowany przez wprowadzenie pomiarów topograficznych opartych na sieci triangulacyjnej. Mapy z tego okresu są z powodzeniem kalibrowane i wykorzystywane do analizy zmian przestrzennych z użyciem GIS (Kozak 2003; Timár i in. 2006). W takich przypadkach można dokonywać na ich podstawie rekonstrukcji długookresowych zmian w przestrzeni geograficznej, np. powstania i zaniku melioracji, form użytkowania, czy obiektów dawnego zagospodarowania. Przykładem takiej mapy jest II zdjęcie topograficzne Cesarstwa Austrii / Austro-Węgier z lat 1806-1869, nazywane również zdjęciem cesarza

Franciszka, oraz III zdjęcie (tzw. Spezialkarte).

Model terenu wygenerowany z danych pochodzących z lotniczego skanowania laserowego (opis źródła danych w przeglądzie literatury) cechuje się na tyle dużą dokładnością (błąd pomiaru rzędu 0,2 – 0,8 m), że można dokonywać w nim detekcji nawet niewielkich powierzchniowo i płytkich obiektów, które często są pomijane nawet przy obserwacji bezpośredniej w terenie. Dlatego podjęto próbę odszukania w modelu terenu pochodzącym z ALS obiektów wodnych (koryta cieków, rowy, kanały) zaznaczonych w zlewni Sopotni Wielkiej na mapach archiwalnych, zarówno porównując model z treścią mapy niekartometrycznej, jak i późniejszych opracowań o różnym stopniu kartometryczności i dokładności (Ryc. 2).



**Ryc.2.** Fragment Mapy Miega z XVIII wieku z oznaczonymi sygnaturami (A), numeryczny model terenu z ALS (B), interpretacja modelu ALS pod kątem informacji z mapy Miega (C): 1 – potok Sopotnia Wielka (przebieg obecny), 2 – potok Sopotnia Wielka (domniemany przebieg w XVIII wieku na podstawie Mapy Miega i ALS), 3 – kanał (młynówka) z XVIII wieku, 4 – lokalizacja młyna (Mapa Miega), 5 – dawne koryta dopływów potoku, 6 – dawny obszar podmokły u podnóża skarpy, 7 – droga (przebieg obecny). (źródło: opracowanie własne)

**Fig.2.** Part of Mieg Map from 18<sup>th</sup> century with described signatures (A), digital terrain model from ALS (B), interpretation of ALS DTM in terms of Mieg Map information (C): 1 – Sopotnia Wielka stream (current), 2 – Sopotnia Wielka stream (assumed on the basis of Mieg Map and ALS), 3 – channel (for mill) from XVIII century, 4 – localization of the mill (Mieg Map), 5 – formed tributaries, 6 – formed wetland area next to slope, 7 – road (current). (source: own study)

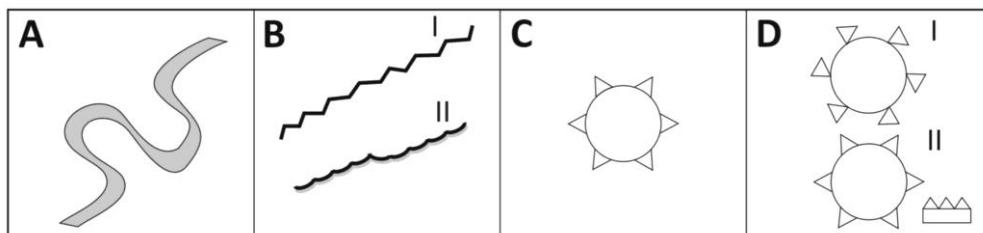
Cieki były przedstawiane na ogół dość podobnie jak na współczesnych opracowaniach, tj.:

- niebieską sygnaturą liniową;
- niebieską sygnaturą powierzchniową w przypadku cieków o dużej szerokości.

Występujące na każdym cieku z dużą regularnością meandry są jednak interpretowane jako maniera rysunku, a nie próba przedstawienia rzeczywistego kształtu na mapie (Kaniecki 2010; Ryc 3A). Dotyczy to także map wydanych w skali szarości (III zdjęcie topograficzne), w których użyta czarna linia o zygawkowatym przebiegu na sygnaturę

cieku (Ryc. 3B, I) ma służyć odróżnieniu ich od dróg, oznaczanych linią prostą. Rozwinięciem tej metody było przedstawienie cieków na mapie WIG (Ryc. 3B, II), gdzie falista linia była dodatkowo podcieniowana kreską o barwie niebieskiej (na rycinie przedstawionej kolorem szarym). Mosty na mapach przedstawiano w analogiczny sposób, w jaki umieszcza się je na dziełach współczesnych. W przypadku braku sygnatury mostu oznaczało to, że w danym miejscu funkcjonował bród (II zdjęcie topograficzne i późniejsze: z podaną głębokością przeprawy w różnych jednostkach miar).

Powszechnym sposobem zagospodarowania rzek i potoków było wykorzystanie energii wód płynących do wytwarzania energii mechanicznej. Zakłady posiadające koła wodne były istotnymi elementami infrastruktury danego terenu, dlatego były zaznaczone na każdej z map archiwalnych. Na każdej z nich stosowano podobny sposób przedstawienia (sygnatury Mapy WIG były częściowo wzorowane na mapach austriackich). Były one zaznaczane symbolicznie jako „kółeczko z sześcioma symetrycznie wyrastającymi ząbkami” (za: Libiński 1912). Sygnatura była stosowana w dwóch wariantach: zwykłym (wodne młyny zbożowe) oraz z przekręconymi o 90° ząbkami lub z ideogramem piły o trzech zębach (III zdjęcie), oznaczających tartak z kołem wodnym (Ryc. 3D). Wypustki te mogły być na mapach wypełnione kolorem czarnym; w niektórych przypadkach były też smuklejsze niż przedstawione na poniższym schemacie (Ryc. 2), w zależności od stosowanej przez kartografa manieri ręcznego rysunku (Ryc. 3).



Ryc.3. Wybrane przykłady sygnatur: cieków jako obiekt powierzchniowy (A) i liniowy (B: I – cieków na III zdjęciu topograficznym, II – cieków na Mapie WIG), młyn z kołem wodnym (C) i tartak wodny (D). (źródło: opracowanie własne)

Fig.3. Selected examples of signatures: channels / areas (A), channels / polylines (B: I – channels on 3<sup>rd</sup> topographic map of Austria-Hungary, II – Map of Polish WIG Cartographic Institution), watermill (C), saw-watermill (D). (source: own elaboration)

### Poszukiwanie obiektów modyfikujących obraz koryta w modelu LiDAR

O ile poszukiwanie śladów przeszłości w modelu LiDAR ma wymiar głównie poznawczy, to w przypadku detekcji współczesnych obiektów w korycie mogą mieć one zastosowanie metodyczne i praktyczne. Artefakty (zaburzenia modelu) będące odzwierciedleniem tych obiektów mogą wpływać na analizy związane z modelami hydrologicznymi. W niektórych przypadkach powodują one przerwanie spadku koryta i terenów przyległych w modelu – będą to niezgodne z jego ogólnym przebiegiem nachylenia lub obszary płaskie. W innych artefakty NMT mogą powodować obecność

nierzeczywistych dołów bezodpływowych lub nadmiernie powiększać spadki na poszczególnych odcinkach (Urbański 2011).

Zwykle temat artefaktów modeli CMW/NMT podejmuje się w celu określenia metod ich usuwania, aby możliwie ograniczyć ich wpływ na modelowanie hydrologiczne (Bryndał, Krocak 2016). W przypadku niniejszego studium postanowiono również zastanowić się nad ich możliwościami interpretacyjnymi. Sprawdzono w tym celu, jakie formy ukształtowania koryta są widoczne w modelu terenu wygenerowanym z danych ALS.

Artefakt w GIS powstaje przy interpolacji punktów do tworzonego CMW, wśród których znajdują się pomiary zaburzające model. Sytuacja ta może być wywołana zarówno odbiciem wiązki lasera od skał o zróżnicowanej wysokości na krótkich dystansach (w ten sposób uwidaczniają się różnego rodzaju progi występujące w korytach), jak i pomiarem błędnym lub (zwłaszcza) jego brakiem. Dla obiektów w korytach brak danych występuje najczęściej w dwóch sytuacjach:

- Dany odcinek koryta znajduje się pod mostem; jeśli obiekt ma odpowiednio dużą szerokość, nie ma możliwości zeskanowania powierzchni gruntu pod nim. Interpretację w kierunku elementów infrastruktury ułatwia fakt, że droga (lub linia kolejowa) często poprowadzona jest w pobliżu koryta na nasypie (doskonale i w charakterystyczny sposób widocznym w modelu terenu pochodzącym z danych ALS).
- Jeśli w korycie znajduje się zbiornik, wtedy wiązka lasera jest w dużej części pochłaniana przez jego toń wodną (obszar ten charakteryzuje się brakiem nachylenia lub niewielkim nachyleniem o losowej ekspozycji, uwidaczniającej triangulację).

Wspomniane sytuacje zostały przedstawione w podrozdziale dotyczącym wyników, na rysunku 7.

Podany przez producenta i instytucje udostępniające dane ALS zakres błędu pomiaru (0,2 – 0,8 m) powinien umożliwiać obserwację wszystkich obiektów, które mają większe wymiary (progi skalne i obiekty inżynierii wodnej o wysokości powyżej 80 cm), a także pewną część mniejszych.

## **MATERIAŁY I METODY**

### **Materiały**

W niniejszym opracowaniu przyjęto założenie, że ocena przydatności danych pochodzących z nowego materiału źródłowego jakim jest ALS zostanie dokonana na podstawie analizy porównawczej z informacjami pozyskanymi w inny sposób, najlepiej taki, by stanowiły one najpełniejszy i najdokładniejszy spis badanych obiektów. Charakter poszukiwanych informacji spowodował konieczność skorzystania z wielu źródeł oraz dokonanie badania terenowego. W związku z tym na potrzeby artykułu pozyskano następujące materiały, podzielone na cztery typy:

### **Dane ALS:**

- Cyfrowy Model Wysokościowy powstały z danych ALS, z projektu ISOK – udostępniony dla Zbiorów Kartograficznych IGI GP UJ. Rozmiar komórki rastra wynosił 1x1 m, każdy plik obejmował swym zasięgiem 4 km<sup>2</sup> (kwadrat o bokach 2 km). Model ten w dniu 31.12.2015 był niekompletny dla obszaru całej zlewni, brakowało części jej terenu na południowym wschodzie (Marszałek i in. 2016);
- Numeryczne Dane Wysokościowe (pliki .las) pochodzące ze skanowania ALS projektu ISOK – zakupione w Centralnym Ośrodku Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (DFT.7211.2475.2016\_PL\_CL1) na potrzeby niniejszego studium, zlokalizowane wzdłuż koryta Sopotni Wielkiej (19 plików o powierzchni 1 km<sup>2</sup>);
- Model cieniowany ALS LiDAR (ISOK) – udostępniony w ramach usługi WMTS (<http://www.geoportal.gov.pl/>). Użyto go pomocniczo podczas badań wstępnych.

### **Dane archiwalne:**

- I zdjęcie topograficzne Austrii, tzw. Mapa Miega – podgląd mapy udostępniony w ramach projektu Mapy Imperium Habsburgów (Historische Karten des Habsburger Monarchie – <http://www.mapire.eu/>);
- II zdjęcie wojskowe Cesarstwa Austriackiego – podgląd mapy udostępniony w ramach projektu Mapy Imperium Habsburgów (Historische Karten des Habsburger Monarchie – <http://www.mapire.eu/>);
- III zdjęcie wojskowe Monarchii Austro-Węgierskiej – arkusz mapy pobrany z witryny projektu Mapy Wojskowego Instytutu Geograficznego (<http://www.mapywig.org/>).

### **Dane pochodzące z kartowania terenowego:**

- Informacje terenowe pozyskane z użyciem odbiornika GPS dla koryta potoku Sopotnia Wielka, wykonane przez W. Juchę i A. Marszałek w dniach 17-23.09.2015.

### **Poszukiwanie informacji na mapach archiwalnych**

W poszukiwaniach śladów dawnego zagospodarowania koryta Sopotni Wielkiej wykorzystano dawne mapy austriackie / austro-węgierskie z terenu badań (w XIX wieku znajdował się on w całości w zaborze austriackim). Dostępne mapy pochodzące z dwudziestolecia międzywojennego (mapy WIG) w skali 1:25 000 są arkuszami pochodzącymi z III zdjęcia wojskowego i poddanymi reambulacji (jest to widoczne zwłaszcza w stosowanych czcionkach napisów i nazwach własnych), dlatego nie użyto ich w badaniu.

Wskazane mapy wykorzystano do odszukania liczby oraz przybliżonego położenia dawnych zakładów posiadających koła wodne. Następnie na podstawie obserwacji liniowych zaburzeń NMT powstałego z danych ALS podjęto próbę oznaczenia ich najbardziej prawdopodobnej lokalizacji i pomiaru długości obiektów liniowych.

## Kartowanie terenowe

W celu przeprowadzenia oceny widoczności form ukształtowania koryta wykonano referencyjne kartowanie poszukiwanych obiektów w terenie. Lokalizacji kolejnych elementów dokonano z użyciem odbiornika GPS. W toku kartowania terenowego wykonano klasyfikację obiektów, grupując je w następujące rodzaje:

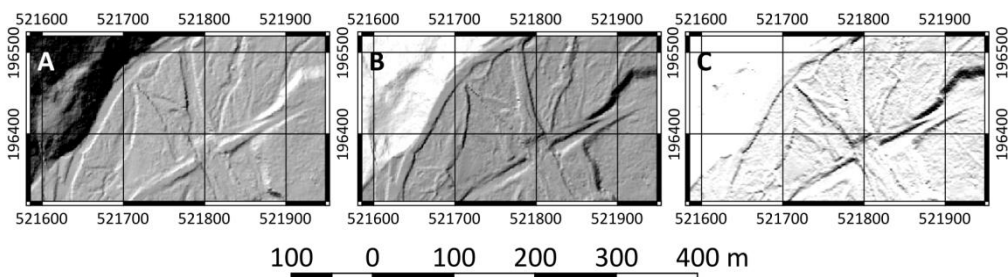
- Progi naturalne na rzece powstałe na wychodniach skalnych;
- Stopnie betonowe lub metalowe (jazy, progi przeciwoerozyjne itp.; Skatula 1964);
- Stopnie zbudowane z drewna;
- Zapory na rzece (dwa rodzaje):
  - Wzmocnione materiałami budowlanymi (np. uszczelnione folią);
  - Niewzmocnione („rekreacyjne”);
- Obiekty infrastruktury (mosty, rurociągi itp.);

W terenie zmierzono wysokości wszystkich obiektów o charakterze progów (naturalnych i sztucznych). Wyniki pomiarów zapisywano z dokładnością do 5 cm. Zdjęcia przykładowych skartowanych obiektów zamieszczono poniżej (Fot. 1-6). Badanie wykonano we wrześniu, w okresie niskich stanów wody w potoku.

## Interpretacja modelu terenu z danych ALS i opracowanie wyników

Pliki chmur punktów poddano interpolacji do modelu GRID w programie FUSION/LDV (). Następnie z powstałego CMW wygenerowano profil podłużny koryta Sopotni, a także cieniowany model terenu o trzech wariantach (Ryc. 4):

- Azymut poziomy  $315^\circ$ , azymut pionowy  $45^\circ$  (cieniowanie z lewego górnego rogu, formy wklęsłe i wypukłe są postrzegane w nim z właściwą percepcją);
- Azymut poziomy  $135^\circ$ , azymut pionowy  $45^\circ$  (cieniowanie z prawego dolnego rogu, formy wklęsłe są w nim postrzegane jako wypukłe i na odwrót);
- Azymut poziomy  $0^\circ$ , azymut pionowy  $90^\circ$  (cieniowanie z zenitu; uwidacznia niewielkie zaburzenia w modelu, np. płytkie zagłębienia).



**Ryc.4.** Użyte w interpretacji modelu warianty cieniowania: A –  $315^\circ$ ,  $45^\circ$ ; B –  $135^\circ$ ,  $45^\circ$ ; C –  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ . (źródło: opracowanie własne)

**Fig.4.** Shaded relief model options used during interpretation: A –  $315^\circ$ ,  $45^\circ$ ; B –  $135^\circ$ ,  $45^\circ$ ; C –  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ . (źródło: opracowanie własne)



Fot.1-6. Przykłady obiektów skartowanych podczas badania terenowego: 1 – próg naturalny powstały na wychodni skalnej, 2 – stopień betonowy (przeciwerozyjny + punkt poboru wody), 3 – stopień zbudowany z drewna, 4 – zapora kamienna o wzmocnionej konstrukcji, 5 – zapora kamienna o luźnej konstrukcji, 6 – most drogowy. (źródło: fot. W. Jucha, A. Marszałek, 2015)

Fot.1-6. Examples of objects detected during field works: 1 – knickpoint, 2 – concrete barrage, 3 – wooden barrage, 4 – stone dam with strengthened construction, 5 – stone dam with simple construction, 6 – road bridge. (surce: photo by W. Jucha, A. Marszałek, 2015)

Przygotowane w ten sposób modele posłużyły do interpretacji wizualnej pod kątem odszukania śladów dawnego zagospodarowania i próby oznaczenia obiektów o charakterze progów w korycie. Użycie trzech wariantów było spowodowane koniecznością interpretacji form o różnej ekspozycji (azymucie poziomym spadku), przez co formy niewidoczne na modelu o jednym typie cieniowania mogły być oznaczone na innym.

Następnie przeprowadzono poszukiwanie artefaktów na modelu terenu, świadczących o obecności dawnej i współczesnej zabudowy w korycie. Zebrane informacje o widoczności w modelu progów poddano porównaniu z użyciem narzędzi statystycznych z danymi zebranymi w wyniku kartowania terenowego.

## **WYNIKI**

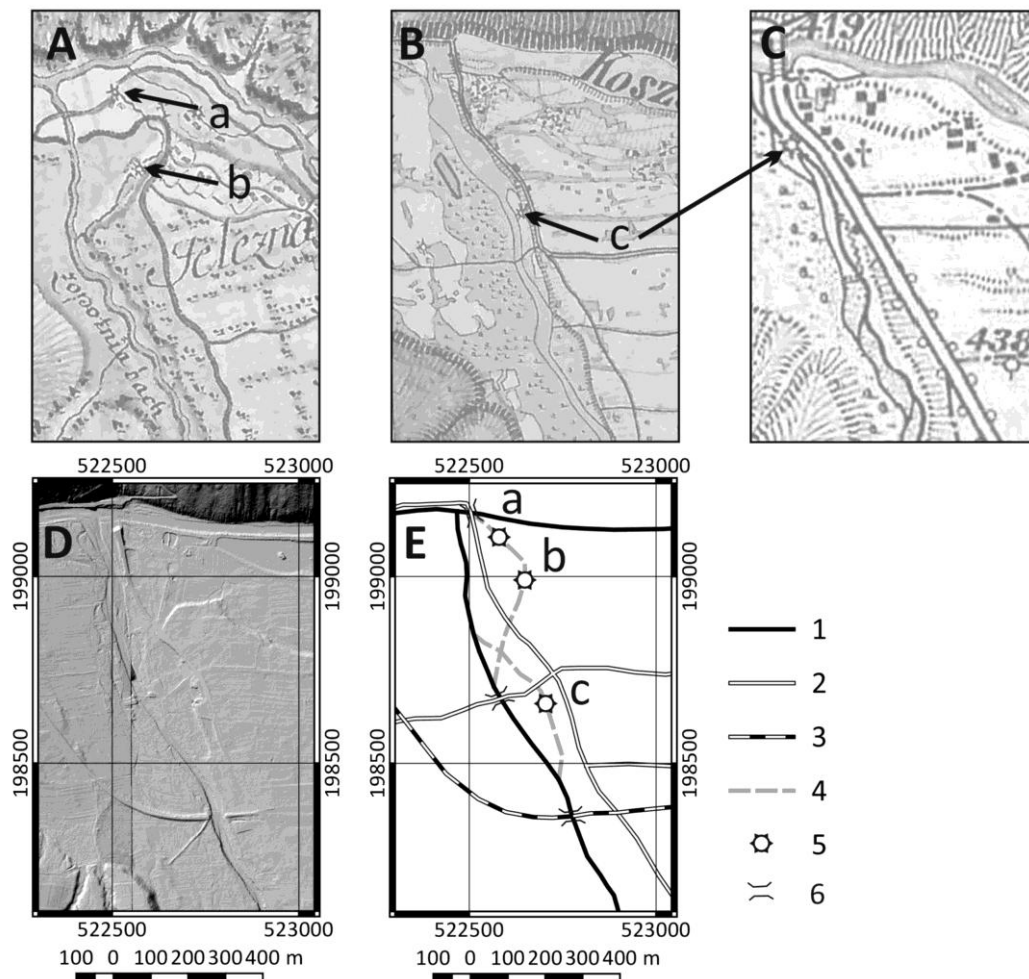
### **Ślady dawnego wykorzystania energii ciek w potoku Sopotnia Wielka**

Podczas badania dawnych przekazów kartograficznych, z XVIII i XIX wieku, stwierdzono istnienie sześciu różnych lokalizacji, w których na potoku Sopotnia Wielka funkcjonowały zakłady posiadające koła wodne. Podzielić je można na dwie grupy po trzy obiekty: pierwsze (a,b,c) znajdowały się na odcinku ujściowym Sopotni do Koszarawy, w sąsiedztwie wsi Jeleśnia (Ryc. 5), natomiast pozostałe (d,e,f) na odcinku środkowym, w okolicach wsi Sopotnia Wielka (Ryc. 6).

W większości oznaczonych miejsc sygnatura koła wodnego została odnaleziona tylko na jednej z użytych map. Najprawdopodobniej zakłady w tych miejscach funkcjonowały tylko w okresach, z których pochodzi dane źródło. W jednym przypadku (c) obecność sygnatury stwierdzono na dwóch kolejnych mapach z XIX wieku (B i C), natomiast w innym (e) na dwóch niesąsiadujących ze sobą mapach (zakład był prawdopodobnie najpierw zlikwidowany, a potem odnowiony w zbliżonej lokalizacji – nie odnaleziono w literaturze potwierdzenia tej informacji).



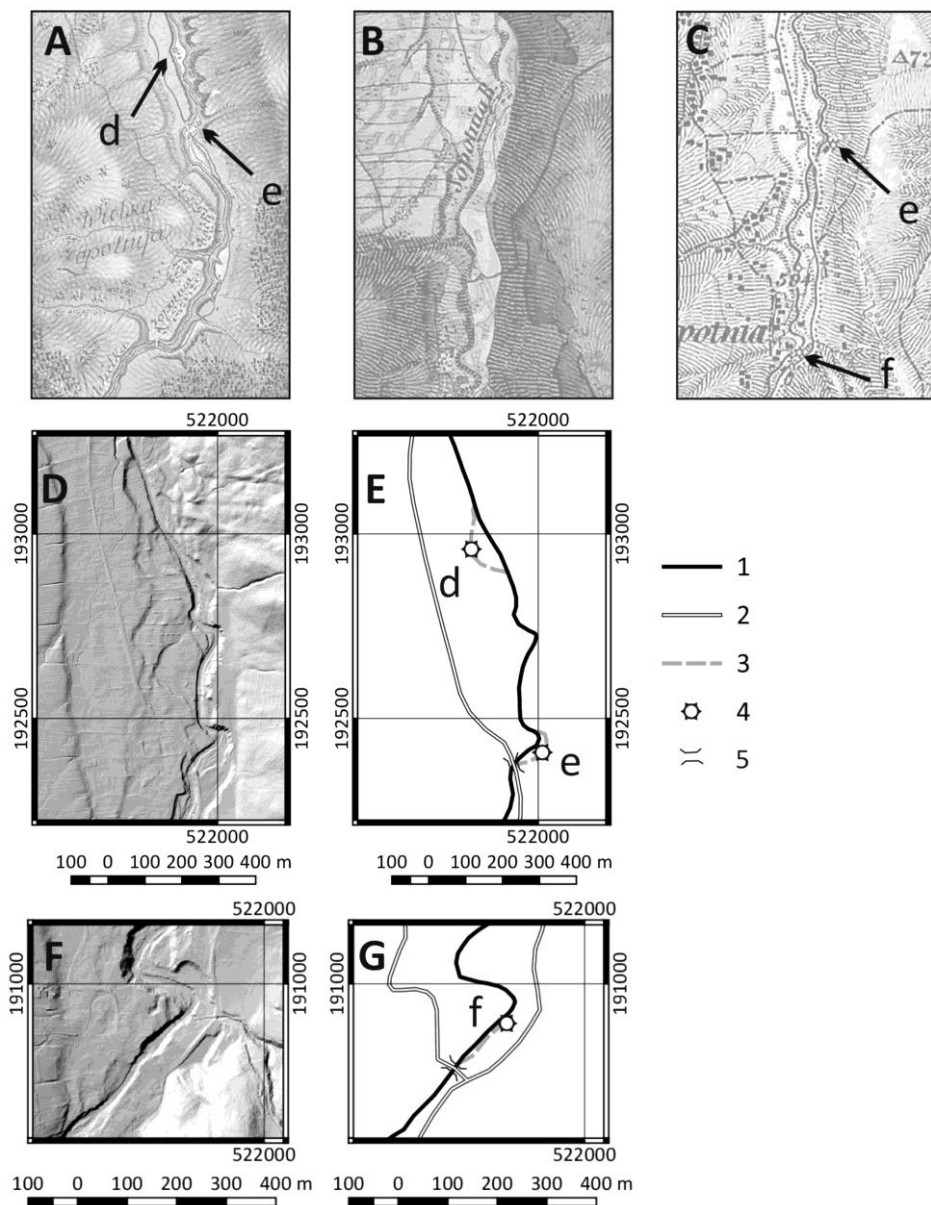
# I. Jeleśnia



Ryc.5. Lokalizacje zakładów z kołami wodnymi w okolicach Jeleśni na mapach austriackich z XVIII i XIX wieku: A – I zdjęcie wojskowe (Mapa Miega i Waldaua, XVIII wiek), B – II zdjęcie wojskowe, C – III zdjęcie wojskowe (mapa Spezialkarte), D – cieniowany model terenu, E – interpretacja modelu: 1 – rzeki (współczesne), 2 – drogi (współczesne), 3 – linie kolejowe, 4 – domniemane młynówki, 5 – domniemane lokalizacje zakładów, 6 – mosty. (źródło: opracowanie własne na podstawie: <http://mapire.eu/>)

Fig.5. Locations of water mills in the nearest of Jeleśnia on Austrian maps from XVIII and XX century: A – 1st military survey (Mieg Map, XVIII century), B – 2nd military survey, C – 3<sup>rd</sup> military survey (Spezialkarte map), D – shaded relief model, E – Interpretation of the model: 1 – rivers (present-day), 2 – roads (present-day), 3 – railroads, 4 – presumed mill canals, 5 – presumed mills, 6 – bridges. (source: own elaboration on the basis of: <http://mapire.eu/>)

## II. Sopotnia Wielka



Ryc.6. Lokalizacje zakładów z kołami wodnymi w okolicach Sopotni Wielkiej (wieś) na mapach austriackich z XVIII i XIX wieku: A – I zdjęcie wojskowe (Mapa Miega i Waldaua, XVIII wiek), B – II zdjęcie wojskowe, C – III zdjęcie wojskowe (mapa Spezialkarte), D – cieniowany model terenu E – interpretacja modelu: 1 – rzeki (współczesne), 2 – drogi (współczesne), 3 – domniemane młynówki, 4 – domniemane lokalizacje zakładów, 5 – mosty. (źródło: opracowanie własne na podstawie: <http://mapire.eu/>)

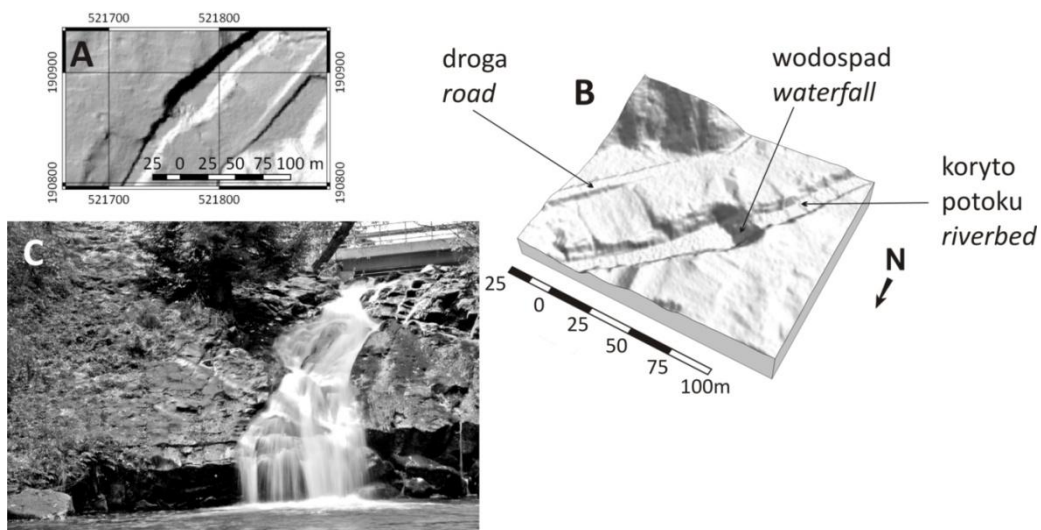
Fig.6. Locations of water mills in the nearest of Sopotnia Wielka (village) on Austrian maps from XVIII and XX century: A – 1st military survey (Mieg Map, XVIII century), B – 2nd military survey, C – 3<sup>rd</sup> military survey (Spezialkarte map), D – shaded relief model, E – Intepretation of the model: 1 – rivers (present-day), 2 – roads (present-day), 3 – presumed mill canals, 4 – presumed mills, 5 – bridges. (source: own elaboration on the basis of: <http://mapire.eu/>)

## Elementy ukształtowania koryta

Za pomocą kartowania terenowego z użyciem GPS udało się zlokalizować w korycie Sopotni:

- 147 progów naturalnych, założonych na wychodniach skalnych;
- 28 progów betonowych;
- 10 progów zbudowanych z drewna;
- 14 zapór zbudowanych z kamieni, wzmocnionych materiałami budowlanymi;
- 36 zapór zbudowanych z kamieni, niewzmocnionych;
- 21 mostów i kładek oraz 1 rurociąg.

Potok Sopotnia jest znany z licznych progów naturalnych co potwierdza sam hydronim. Ich dokładną liczbę określono podczas kartowania terenowego na 147. Zmierzone wysokości spadu wszystkich form wahały się w granicach 0,35 – 11,0 m (ostatnia wartość podana za tablicą informacyjną przy wodospadzie w Sopotni Wielkiej – największym proggu naturalnym i najwyższym wodospadzie w polskich Beskidach). Obraz wymienionego wodospadu w NMT przedstawia rycina 7.



Ryc.7. Wodospad w Sopotni Wielkiej w numerycznym modelu terenu ALS: A – cieniowany NMT, B – blokdiagram, C – zdjęcie wodospadu (fot. W. Jucha, 2015). (źródło: opracowanie własne)

Fig.7. Image of Sopotnia Wielka Waterfall from spatial data documents: A – shaded relief DTM, B – 3d model, C – photograph of the waterfall (photo by W. Jucha, 2015). (source: own elaboration)

Stopnie betonowe najczęściej były zbudowane na potrzeby ograniczenia odcinkowego spadku (pełnić funkcje przeciwerozyjne), bardzo często w parach (Fot. 2). Podobną funkcję spełniają stopnie zbudowane z drewna. Inną funkcją tych obiektów jest ułatwienie dostępu do wody celem jej poboru z ciek (przy każdym stopniu znajduje się tabliczka informująca, że jest to punkt poboru wody).

Zapory na potoku zbudowane z kamieni, zarówno luźno zbudowane jak i uszczelnione folią budowlaną, prawdopodobnie powstały na użytek rekreacji lub w celach poboru wody. Zapory wzmocnione miały nieraz budzący podziw i uznanie dla

twórców wygląd (zarówno obiekt, jak i zbiornik powyżej) oraz wysokość (sięgającą ponad 2,0 m). W jednym przypadku zbiornik miał powierzchnię ponad 700 m<sup>2</sup> (zmierzono na podstawie artefaktu modelu ALS).

Liczba 21 mostów jest zawyżona przez fakt, że policzono każdą funkcjonującą przeprawę zbudowaną na rzece, łącznie z drewnianymi kładkami ułatwiającymi komunikację pieszą. Rzeczywista liczba trwałych mostów (o konstrukcji betonowej lub metalowej) wynosi 15.

Podczas obserwacji ukształtowania koryta w numerycznym modelu terenu pochodzącym z danych ALS stwierdzono widoczność następującej liczby artefaktów:

- 102 związanych z progami skalnymi (obiekty, których zmierzona wysokość podczas kartowania terenowego wynosiła od 0,45 do 11,0 m).
- 28 związanych ze stopniami betonowymi;
- 5 związanych ze stopniami zbudowanymi z drewna;
- 14 związanych z zaporami zbudowanymi z kamieni, z wzmocnionymi zarówno progami, jak i jako zbiornikami;
- 0 związanych z zaporami zbudowanymi z kamieni, niewzmocnionymi - wszystkie formy tego typu są niewidoczne;
- 15 artefaktów związanych z mostami (wszystkie trwałe obiekty komunikacyjne).

Jak można zauważyć, NMT wygenerowany z danych pochodzących ze skanowania laserowego umożliwił detekcję ponad 2/3 poszukiwanych form naturalnych. Z obiektów zbudowanych przez człowieka i w jakiś sposób utrwalonych (mosty, stopnie betonowe i drewniane, zapory o wzmocnionej konstrukcji) został pominięty podczas interpretacji modelu tylko jeden.

Dla sprawdzenia istotności statystycznej różnic pomiędzy obiema wymienionymi seriami badawczymi wykonano dwa testy niezależności  $\chi^2$ , jeden dla obiektów naturalnych, a drugi dla obiektów sztucznych.

W pierwszym teście sprawdzono zależność pomiędzy wysokością progu naturalnego (przedziały co 0,5 m od 0 do 2,5 m; powyżej tej wartości były jedynie dwa obiekty) a jego widocznością w NMT. Różnica pomiędzy wynikiem interpretacji NMT i kartowania terenowego okazała się istotna statystycznie ( $\chi^2 = 12,07$ ;  $df = 5$ ;  $p > 0,05$ ). Oznacza to, że obie zebrane serie danych istotnie różnią się od siebie, zaś wysokość progu ma istotny statystycznie wpływ na jego widoczność.

W drugim teście sprawdzono zależność pomiędzy typem formy antropogenicznej a jego widocznością w modelu – wykluczono przy tym zapory zbudowane wyłącznie z kamieni, jako obiekty nietrwałe. Różnica pomiędzy nimi okazała się nieistotna statystycznie ( $\chi^2 = 6,25$ ;  $df = 3$ ;  $p < 0,05$ ). Potwierdza to fakt, że jedynie jedna forma nie została odnaleziona w postaci artefaktu NMT.

## ANALIZA I DYSKUSJA WYNIKÓW

### Dawne wykorzystanie energii ciek w potoku Sopotnia Wielka - możliwości wykorzystania modeli pochodzących z ALS w badaniach hydrograficznych dawnych przekazów kartograficznych

W badaniu poszukiwano zaburzenia modelu terenu pochodzącym z danych ALS o charakterze liniowym, o kształcie zbliżonym do oznaczonych na archiwalnych mapach kanałów doprowadzających wodę do zakładów wyposażonych w koła wodne (tzw. młynówek – słowo to w poniższym tekście będzie stosowane zamiennie z opisem słownym). Miejsca poszukiwań wskazano na podstawie analizy treści map w otoczeniu sześciu młynów, które znajdowały się w XVIII i XIX wieku nad potokiem Sopotnia (Ryc. 5, Ryc. 6).

Na zamieszczonych rycinach przedstawiających mapy z kolejnych okresów można zauważyć zmiany manieri rysunku, a także większości sygnatur. Odnotować można również jako ciekawostkę sposób zapisu nazw polskich przez kartografów zaboru austriackiego w XVIII wieku (*Jelesnia* = Jeleśnia, *Zopotnia Bach* = Potok Sopotnia, *Wielka Zopotnya* = Sopotnia Wielka).

NMT wygenerowany z danych ALS okazał się być bardzo dokładnym oraz oddającym ukształtowanie terenu w takiej szczegółowości, że dostrzeżono w nim artefakty o kształtach zbliżonych do dawnych młynówek zaznaczonych na mapach archiwalnych (Ryc. 5D-E, Ryc. 6D-G). Sytuacja ta dotyczyła wszystkich obiektów, w tym zaznaczonych jedynie na mapie Miega, pochodzącej z końca XVIII wieku (a,b). W niektórych przypadkach użycie cieniowania zenitalnego (Ryc. 5C) ujawniło dalsze szczegóły, takie jak czworokątne zarysy w miejscach prawdopodobnych lokalizacji młynów (c).

W tym miejscu należy się zastanowić, czy artefakty odnalezione w modelu i zinterpretowane jako ślady po młynówkach mogą jednak być związane z późniejszą działalnością człowieka lub przyrody (naturalne zmiany przebiegu koryta Sopotni).

Tylko w przypadku (a) i (b) kanał doprowadzający wodę do kół wodnych nie znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie łóżyska potoku, czyli teoretycznie forma ta nie może być zinterpretowana jako element ukształtowania koryta (jego dawny odcinek). Jednak równocześnie te dwa obiekty pochodzą sprzed prawie 250 lat. Znajdują się w obszarze, który był w XIX i XX wieku użytkowany i zagospodarowany (m.in. powstały na nim nowe zabudowania, wytyczono nowe drogi). Być może więc jest to inna, zupełnie niezwiązana z badanym obiektem forma o podobnym przebiegu, która została błędnie zinterpretowana jako dawny kanał. Potwierdzenie bądź wykluczenie tej tezy wymagałoby dalszych prac badawczych.

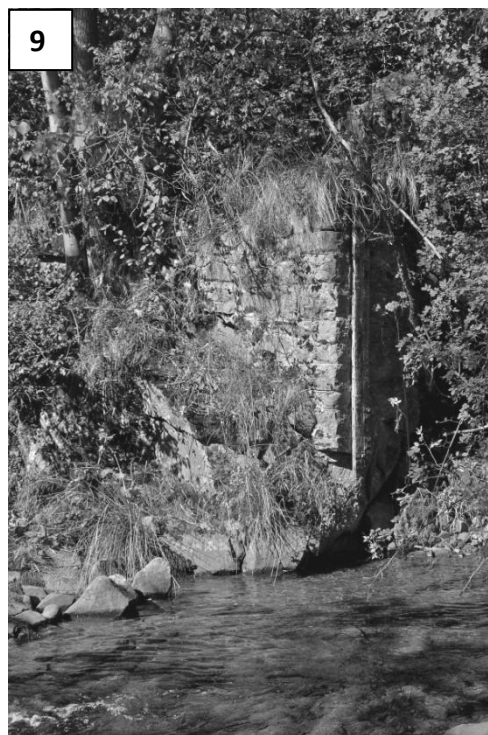
Pozostałe oznaczone młynówki zostały założone poprowadzone na planie półkola wzdłuż osi potoku i wewnątrz jego łóżyska (Ryc. 5E, 6E, 6G). Należy zaznaczyć, że na całej długości ciek są widoczne w użytym NMT różne dawne odcinki koryta świadczące o dynamicznych zmianach jego przebiegu w przeszłości. Ponownie nasuwa to podejrzenie, że formom naturalnym przypisano pochodzenie antropogeniczne. Interpretacja modelu pochodzącego z danych ALS nie pozwala na stwierdzenie w tym

przypadku, czy wskazane obiekty powstały w wyniku oddziaływania przyrody czy człowieka.

Poniżej zebrano informacje o każdym przypadku osobno:

- (a): młyn znajdował się w pobliżu Jeleśni, w pobliżu ujścia potoku do Koszarawy; czas jego funkcjonowania to XVIII wiek. Brak jest oznaczenia kanału od tego zakładu do Sopotni lub Koszarawy na Mapie Miega. W miejscu teoretycznego położenia obiektu znajduje się artefakt modelu – nieregularna forma wklęsła. Jedna z dwóch form najbardziej oddalonych od obecnego koryta potoku. Geneza zinterpretowanego artefaktu modelu jest niepewna z uwagi na to, że jest to forma bardzo stara.
- (b): młyn był położony w pobliżu Jeleśni, przy tej samej młynówce co (a); czas funkcjonowania również przypadł na XVIII wiek. Odległość między jednym i drugim zakładem z kołem wodnym wynosi około 120 m wg materiałów współczesnych, 500 m wg Mapy Miega (widoczna różnica w przebiegu – Ryc. 5A i 5E). Jego lokalizacja jest również bardzo niepewna z uwagi na to, że jest to forma bardzo stara, występuje znaczna różnica w pomiarze na obu materiałach źródłowych i brak jest artefaktu (np. zarysu, formy wklęsłej).
- (c): młyn znajdował się w pobliżu Jeleśni, przy młynówce w pobliżu koryta na południe od poprzednich (Ryc. 5B i 5C); jego czas funkcjonowania to XIX wiek. Odnaleziono artefakt młynówki, jak również zarys płytkiej, czworokątnej formy wklęsłej w domniamanym położeniu młyna. Jego lokalizacja jest bardziej prawdopodobna od pozostałych, ponieważ na wysokości domniemanego początku kanału stwierdzono w trakcie kartowania terenowego istnienie pozostałości budowli o charakterze jazu (Fot. 7).
- (d): młyn był zlokalizowany w pobliżu Sopotni Wielkiej (miejscowości), przy lewym brzegu potoku (jedyne taki przypadek – pozostałe są przy prawym); czas jego funkcjonowania przypadł na XVIII wiek. Interpretacja śladu młynówki jest utrudniona, a także położenie jest niepewne z uwagi na obecne przekształcenie koryta potoku na tym odcinku (umocnienia brzegu, kilka współczesnych sztucznych stopni na rzece i zbiorników w korycie na tym odcinku – Fot. 9).
- (e): młyn był położony w pobliżu Sopotni Wielkiej (miejscowości), w miejscu, w którym koryto zmienia kierunek z NE na NW, na zewnątrz tego zakola; jego czas funkcjonowania był podzielony między XVIII i drugą połowę XIX wieku. Zakład mógł przestać funkcjonować w I połowie XIX wieku (brak jest sygnatury na drugiej zbadanej mapie). Ukształtowanie modelu terenu tego miejsca sugeruje, że formy te mogły mieć dwie nieznacznie różniące się lokalizacje (znajduje się tu kilka równolegle biegnących artefaktów NMT). Lokalizacja pewniejsza; spośród dawnych zakładów z kołem wodnym położonych w bezpośrednim sąsiedztwie koryta (c-f) jest to jedyny, w którym działka z domniamanym młynem pozostaje zabudowana i użytkowana.
- (f): lokalizacja młyna w pobliżu Sopotni Wielkiej (miejscowości), poniżej wodospadu na Sopotni (najwyższego w Beskidach), czas funkcjonowania druga połowa XIX wieku. Z uwagi na dominujące w obrazie NMT formy

związane z wyżej wymienionym wodospadem jest ona bardzo trudna do zweryfikowania. Początek młynówki znajdował się tuż poniżej mostu w Sopotni Wielkiej (istnieje on do dziś w tym samym miejscu). Podczas kartowania terenowego udokumentowano ślady budowli w korycie pomiędzy wymienionymi obiektami – mostem i wodospadem Fot. 9).



Fot.7-9. Przykłady prawdopodobnych śladów obiektów inżynierskich związanych z dawnym zagospodarowaniem potoku Sopotnia: 7 – fragment muru (zbudowanego z kamieni rzecznych związanych zaprawą) w korycie, być może jazu i śluzy kierującej część wód potoku do młynówki (przy obiekcie c, Ryc. 5); 8 – odcinek prawdopodobnego ujścia młynówki (przy obiekcie d, Ryc. 6), widoczne linijne, zakręcające w lewo zagłębienie ponad współczesnym progiem (zbudowany m.in. z szyn kolejowych); 9 – pozostałość budowli w korycie Sopotni pomiędzy mostem i wodospadem przy obiekcie f, Ryc. 6). (źródło: fot. W. Jucha, 2015)

Fot.7-9. Examples of probably old river engineering constructions in Sopotnia riverbed: 7 - fragment of the wall in the riverbed, probably the dam and beginning of mill canal (object c, Fig 5) 8 - probably the end of the mill canal - line, curve hollow above nowadays knickpoint (object d, Fig. 6), 9 - ruins of construction in the riverbed in the near of Sopotnia waterfall (object f, Fig. 6). (source: photo by W. Jucha, 2015).

W praktycznie każdym przypadku ocena dokładności położenia dawnego zakładu i młynówki była dość niska (wyrażono ją słownie – lokalizacja niepewna). Możliwe, że jest ona w znacznym stopniu zaniżona (zbyt niski poziom ufności dotyczący dokładności modelu, zdolności interpretacyjnych zespołu badawczego lub możliwości dobrego zachowania tych obiektów w terenie).

Jednym z podstawowych uwarunkowań takiego wniosku był fakt, iż poszukiwano form ponad stuletnich (niekiedy sprzed 200 lat). W literaturze są jednak opisywane przykłady detekcji w NMT pochodzącym z danych ALS obiektów znacznie starszych. Przykładowo w niektórych studiach badawczych autorów tego artykułu wskazywano na widoczność w NMT wygenerowanym z danych ALS zarysów średniowiecznych stanowisk archeologicznych (grodzisk), wskazując na potencjał inwentaryzacyjny tego źródła danych (Jucha, Marszałek 2016). Niewielkie formy antropogeniczne o charakterze rowów (np. okopy z II wojny światowej) również można kartować z użyciem NMT z ALS (Franczak, Jucha 2015b), lecz jest to uwarunkowane zachowawczym sposobem użytkowania terenu (np. zalesieniem).

Następnym powodem wnioskowania o dyskusyjnym charakterze osiągniętych wyników jest typ poszukiwanych informacji i miejsca, w których one występują. Poszukiwano form związanych z zagospodarowaniem energii wód płynących wewnątrz łożyska nieuregulowanego potoku. Mógł on w czasie ostatnich 200 lat wielokrotnie zmienić położenie koryta, niszcząc w pewnym momencie zbudowane przez człowieka urządzenia i zacierając w dużym stopniu ślady jego działalności.

Poza archiwalnymi materiałami kartograficznymi wskazano jednak, że w terenie wciąż można dostrzec fragmenty (ruiny) budowli, które mogły być związane z poszukiwanymi formami. Dołączone fotografie (Fot. 7-9) pochodzą z miejsc, w których na mapach widnieją odcinki początkowe lub końcowe kanałów doprowadzających wodę do zakładów.

Na koniec należy zaznaczyć, że analiza ta służyła sprawdzeniu, czy dawne ślady zagospodarowania są widoczne. Opracowany materiał jest wynikiem wstępnym – osiągnięto cel, jakim było wskazanie na podstawie NMT z ALS domniemanej lokalizacji zakładów z kołem wodnym i młynówek dostarczających do nich wodę. Stanowi on dobrą podstawę do dalszych rozważań nad dawnym zagospodarowaniem wskazanego ciek. Dalszych informacji do analiz należałoby poszukiwać w archiwach państwowych i na innych materiałach źródłowych, np. katastrze austriackim.

## **Elementy ukształtowania koryta**

### **- analiza widoczności**

W NMT wygenerowanym z danych ALS widoczne są prawie wszystkie trwałe elementy modyfikujące spadek koryta a dodane przez człowieka (stopnie przeciwerozyjne i zapory o wzmocnionej konstrukcji). Ich wysokość wahała się w granicach 60-250 cm. Nieistotna statystycznie różnica świadczy o dużym potencjale drzemącym w NMT z ALS pod kątem interpretacji współczesnych antropogenicznych obiektów występujących w korycie.

Natomiast w przypadku progów naturalnych (założonych na wychodniach skalnych) dane pochodzące z interpretacji NMT istotnie się różniły od danych pochodzących z kartowania terenowego. Cechą zauważoną podczas analizy obu tych serii jest fakt, iż przy interpretacji modelu zostały oznaczone wszystkie obiekty mające powyżej 0,8 m wysokości (zmierzonej w terenie). Pośrednio świadczy to o prawdziwości deklarowanego przez producenta danych błędu maksymalnego



(0,8 m). Dokonano także detekcji około połowy form o niższej wysokości progu (minimalna wartość wynosiła 0,45 m). Ponieważ jednak jest ich najwięcej, to wynik ten miał wpływ na analizę statystyczną.

Wynik badania można i tak uznać za satysfakcjonujący z innego powodu. Technicznie rzecz biorąc skanowanie laserowe nie jest najlepszym sposobem detekcji ukształtowania dna koryta, po którym nieustannie płynie woda – jak wspomniano w rozdziale dotyczącym problematyki badawczej, wiązka lasera jest słabo odbijana od słupa wody (zarówno płynącej jak i stojącej).

Oba rodzaje obiektów są widoczne w modelu cieniowanym, jak również ujawniają się w zobrazowaniach trójwymiarowych (Ryc. 7). Oznacza to, że mogą one mieć także wpływ na analizy modelu terenu, zwłaszcza związane z modelowaniem hydrologicznym. Szczególnie oddziaływać mogą one na te modele, w których ważną rolę odgrywają lokalne spadki terenu (powodują istnienie nienaturalnych obszarów płaskich lub nachylonych niezgodnie z podłużnym spadkiem koryta).

Istnieją różne narzędzia pozwalające usunąć tego typu artefakty. Techniki te wywodzą się z eliminacji podobnych do nich błędów, gdy do analiz używano modeli pochodzących z interpolacji punktów wysokościowych zlokalizowanych na poziomicach. Należą do nich (Urbański 2011; Bryndal, Krocak 2016):

- usuwanie nieprawdziwych wgłębień;
- „wypalanie” rzek;
- usuwanie z modelu powstałych przegród koryt cieków na odcinkach zakrytych przez infrastrukturę (mosty, przepusty).

## **WNIOSKI**

Modele terenu pochodzące z danych ALS są już z powodzeniem wykorzystywane do poszukiwania śladów dawnego użytkowania w wielu studiach badawczych. Wskazuje się w nich zarówno możliwości, jak i ograniczenia i pułapki (za: Affek 2014), na jakie mogą natrafić badacze podczas interpretacji obiektów na tym materiale źródłowym.

Z przeprowadzonego badania wyciągnięto następujące wnioski:

- Dokładność NMT z ALS jest na tyle duża, że stanowi on sam w sobie źródło dodatkowej informacji o ukształtowaniu koryta, zwłaszcza o elementach wprowadzonych przez człowieka.
- Potencjał materiału w badaniach nad historycznym zagospodarowaniem cieku jest duży, lecz powinien być używany w oparciu o różne archiwalne materiały źródłowe, zarówno kartograficzne, jak i źródła pisane; analizy oraz dokonane pomiary w oparciu o pojedyncze źródła danych zostały uznane za bardzo dyskusyjne.
- Istotnym ograniczeniem interpretacyjnym w badaniach związanych z hydrografią jest wielkość poszukiwanego obiektu i sama technika wykonania pomiaru (pochłanianie wiązki lasera przez wodę);

Ze współczesnych elementów modyfikujących obraz dna koryta w modelu terenu szczególnie widoczne są obiekty antropogeniczne (zostały zaobserwowane prawie

wszystkie). W przypadku elementów naturalnych ich widoczność zależna jest od wysokości progu (powyżej wartości maksymalnej błędu pionowego były widoczne wszystkie obiekty).

## LITERATURA

Ackermann F. (1999). *Airborne laser scanning – present status and future expectations*. [w:] Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Wyd. ISPRS. (vol. 54): 64-67.

Affek A. (2013). *Georeferencing of historical maps using GIS, as exemplified by the Austrian Military Surveys of Galicia*. [w:] Geographica Polonica. Wyd. IGiPZ PAN. (vol. 86/4). Warszawa: 375-390.

Affek A. (2014). *Lotniczy skaning laserowy (ALS) w modelowaniu rzeźby terenu – nowe możliwości i pułapki*. [w:] Problemy ekologii krajobrazu. Wyd. Polska Asocjacja Ekologii Krajobrazu. (nr 38). Warszawa: 217-236.

Balon J., Jodłowski M. (2014). *Regionalizacja fizycznogeograficzna Karpat Zachodnich – studium metodologiczne*. [w:] W. Ziąja, M. Jodłowski (red.), *Struktura środowiska przyrodniczego a fizjonomia krajobrazu*, Wyd. IGiP UJ, Kraków: 85-105.

Baszkiewicz K., Kolanowski B., Kaczmarek I., Latos D., Paciorek A. (2014). *Wykorzystanie danych z lotniczego skanowania laserowego w zarządzaniu zagrożeniem powodziowym*. [w:] Logistyka. Wyd. ILIM. (nr 5). Poznań: 68-84.

Bryndał T., Krocak R. (2016). *Wykorzystanie Numerycznego Modelu Terenu (NMT) do odtwarzania rzeczywistych linii spływu skoncentrowanych podczas opadów nawalnych*. Materiały konferencyjne: LXI Zjazd Polskiego Towarzystwa Geograficznego, UP im. KEN w Krakowie, Kraków, 27-29.06.2016.

Cebulski J. (2015). *Naziemny skaning laserowy jako narzędzie do określenia aktywności osuwiska*. [w:] Prace Studenckiego Koła Naukowego Geografów Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie. Wyd. SKNG UP. (vol. 4). Kraków: 12-20.

De Rose R.C., Basher L.R. (2011). *Measurement of river bank and cliff erosion from sequential LiDAR and historical aerial photography*. [w:] Geomorphology. Wyd. Elsevier. (vol. 126, 1-2): 132-147.

Franczak P., Jucha W. (2015a). *Porównanie przydatności danych z kartowania terenowego i interpretacji modelu terenu wygenerowanego z danych LiDAR do rozpoznania infrastruktury obronnej z II wojny światowej w Paśmie Jałowieckim*. [w:] Prace Studenckiego Koła Naukowego Geografów Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie. Wyd. UP. (vol. 4). Kraków: 36-48.

Franczak P., Jucha W. (2015b). *Odtworzenie przebiegu linii okopów z II wojny światowej (OKH Stellung b1) w Paśmie Jałowieckim i Grupie Mędralowej na podstawie numerycznego modelu terenu z danych LiDAR i badań terenowych*. [w:] Folia Geographica Socio-Oeconomica. Wyd. UŁ. (nr 22). Łódź: 87-108.

Gołuch P. (2002). *Numeryczny Model Terenu i Ortofotomapa – źródło danych do określenia cech hydraulicznych doliny rzeki*. [w:] Acta Scientiarum Polonorum: Geodesia et Descriptio Terrarium. Wyd. UP. (n 1-2). Wrocław: 33-43.

- Ghoshal S., James L.A., Singer M.B., Aalto R. (2010). *Channel and floodplain change analysis over a 100-year period: lower Yuba river, California*. [w:] Remote Sensing. Wyd. MDPI AG. (vol. 2, 7). Bazylea: 1797-1825.
- Gudowicz J., Zwoliński Z. (2009). *Geoinformacyjne modelowanie hydrologiczne*. [w:] Zwoliński Z. (red.): GIS – platforma integracyjna geografii. Wyd. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań: 101-114.
- Ilba M. (2013). *Wykorzystanie danych SRTM do generowania warstw na potrzeby map topograficznych*. [w:] Prace Studenckiego Koła Naukowego Geografów Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie. Wyd. SKNG UP. (vol. 2). Kraków: 54-62.
- Janeczek A. (2013). *Pierwsze zdjęcie wojskowe Galicji (tzw. Mapa Mieg'a) z lat 1779-1783. Znaczenie, wartość źródłowa i perspektywy wykorzystania*. [w:] Ostrowski J., Weszpiński P.E. (red.): Kamienie milowe kartografii. Z dziejów kartografii. Wyd. Instytut Historii Nauki PAN. (t. 17). Warszawa: 205-208.
- Jakubiec B. (2014). *Samochody autonomiczne*. [w:] Logistyka. (nr 3/2014). Warszawa: 2470-2476.
- Jarząbek J., Kurczyński Z., Woźniak P. (2011). *Informatyczny System Ochrony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami*. [w:] Geodeta. (nr 5/2011). Warszawa: 12-17.
- Jucha W. (2012). *Multimedialna mapa cyfrowa jako narzędzie przekazu informacji na stronie internetowej Parku Narodowego*. [w:] Prace Studenckiego Koła Naukowego Geografów Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie. Wyd. SKNG UP. (vol. 1). Kraków: 63-75.
- Jucha W. (2015). *Tworzenie bazy danych do projektu GIS – źródła danych i założenia wstępne*. [w:] Prace Studenckiego Koła Naukowego Geografów Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie. Wyd. SKNG UP. (vol. 4). Kraków: 70-79.
- Jucha W., Marszałek A. (2016). *Zastosowanie danych ALS do interpretacji dawnych i współczesnych form użytkowania terenu na przykładzie wzgórza Grojec*. [w:] Roczniki Geomatyki, wyd. PTIP. (t. XIV, z.4). Warszawa: 465-476.
- Kaniecki A. (2010). *Obiekty wodne na starych przekazach kartograficznych*. [w:] Zwoliński Z. (Red.): GIS – woda w środowisku. Wyd. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań: 11-20.
- Kasprzak M., Traczyk A. (2011). *Rzeźba i rozwój doliny Izery w Sudetach Zachodnich*. [w:] Opera Corcontica. Wyd. Krkonoski narodni park. (vol. 48). Vrchalbi: 7-34.
- Kondracki J. (2009). *Geografia regionalna Polski*. Wyd. PWN. Warszawa: 323-335.
- Kozak J. (2003) *Forest cover change in the Western Carpathians in the past 180 years: a case study in the Orawa region in Poland*. [w:] Mountain Research and Development. Wyd. University of Bern. (vol. 23/4). Berno: 369-375.
- Kubik T. (2009). *GIS Rozwiązania sieciowe*. Wyd. PWN. Warszawa: 122-126.
- Kurczyński Z. (2012). *Mapy zagrożenia powodziowego i mapy ryzyka powodziowego a dyrektywa powodziowa*. [w:] Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. Wyd. ZGSGP. (vol. 23). Warszawa: 209-217.
- Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Hind. D.W. (2008). *GIS Teoria i praktyka*. Wyd. PWN. Warszawa: 133-149.

- Libiński J. (1912). *Jak czytać austriackie mapy wojskowe*. Wyd. Gebethner i sp., Kraków: 36-38.
- Marszałek A., Jucha W., Franczak P. (2016). *Zastosowanie danych LiDAR w badaniach koryt rzecznych na przykładzie Skawicy i Sopotni Wielkiej*. [w:] Współczesne problemy i kreunki badawcze w geografii. Wyd. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ. (t. 4). Kraków: 207-224.
- Medyńska-Gulij B. (2012). *Kartografia i geowizualizacja*. Wyd. PWN. Warszawa: 162-166.
- Migoń P., Kasprzak M. (2015). *Analiza rzeźby stoliwa Szczelińca Wielkiego w Górach Stołowych na podstawie numerycznego modelu terenu z danych LiDAR*. [w:] Przegląd Geograficzny. Wyd. PAN. (nr 87/1). Warszawa: 27-52.
- Moore I.D., Grayson R.B., Ladson A.R. (1991). *Digital terrain modeling – a review of hydrological, geomorphological and biological applications*. [w:] Hydrological processes. Wyd. J. Wiley & Sons. (vol. 5): 3-30.
- Noga Z. (2014). *Mapa Topograficzna Galicji, tzw. Mapa Miega, jako źródło do dziejów lokalnych*. [w:] Małopolska: regiony – regionalizmy – małe ojczyzny. Wyd. Wojewódzka Biblioteka Publiczna w Krakowie. (t. 16), Kraków: 39-44.
- Ollero A. (2010). *Channel changes and floodplain management in the meandering middle Ebro river, Spain*. [w:] Geomorphology. Wyd. Elsevier. (vol. 117, 3-4): 247-260.
- Podobnikar T. (2009). *Georeferencing and quality assessment of Josephine Survey maps for the mountainous region in the Triglav National Park*. [w:] Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica. (vol. 44/1), Budapeszt: 49-66.
- Rospond S. (1986). *Dialektologia a Toponimia*. [w:] Acta Universitatis Lodziensis, Folia Linguistica. Wyd. UŁ. (vol. 12), Łódź: 55-67.
- Schutz B.E., Zwally H.J., Shuman C.A., Hancock D., DiMarzio J.P. (2005). *Overview of the ICESat mission*. [w:] Geophysical Research Letters. Wyd. AGU, J. Wiley & Sons. (vol. 32, z. 21).
- Skatula L. (1964). *Zabudowa rzek i potoków górskich*. Wyd. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa: 416.
- Szady B., Zapłata R. (2014) *Analiza danych, weryfikacja terenowa i próba interpretacji* [w:] Sztampke M. (red.) Laserowi odkrywcy. Nieinwazyjne badanie i dokumentowanie obiektów archeologicznych i historycznych województwa świętokrzyskiego, Wyd. Centrum GeoHistorii, Stare Babice, 111-162.
- Timár G., Molnár G., Székely B., Biszak S., Varga J., Jankó A. (2006). *Digitized maps of the Habsburg Empire – the map sheets of the second military survey and their georeferenced version*. Wyd. Arcanum. Budapeszt: 59.
- Urbański J. (2011). *GIS w badaniach przyrodniczych*. Wyd. UG. Gdańsk: 143-170.
- Wężyk P. (2006). *Wprowadzenie do technologii skaningu laserowego w leśnictwie*. [w:] Roczniki geomatyki. Wyd. PTIP. (t. IV, z. 4). Warszawa: 119-132.
- Wężyk P., Borowiec N., Szombara S., Wańczyk R. (2008). *Generowanie numerycznych modeli powierzchni oraz terenu w Tatrach na podstawie chmury punktów z lotniczego skaningu laserowego (ALS)*. [w:] Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. Wyd. ZGSGP. (vol. 18). Warszawa: 651-661.

Zapłata R. (2013). *Nieinwazyjne metody w badaniu i dokumentacji dziedzictwa kulturowego – aspekty skanowania laserowego w badaniach archeologicznych i architektonicznych*. Warszawa.

Zawieska D., Ostrowski W., Antoszewski M. (2013). *Wykorzystanie danych lotniczego skaningu laserowego w metodyce badawczej zespołów fortyfikacji nowszej w Polsce*. [w:] *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. Wyd. ZGSGP. (vol. 25). Warszawa: 303-314.

Zwoliński Z. (2010). *O homologiczności polskiej terminologii geoinformacyjnej*. [w:] *Zwoliński Z. (red.) GIS - woda w środowisku*. Wyd. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań: 21-30.

### **Źródła internetowe**

Geoportal GUGiK – <http://www.geoportal.gov.pl/> [dostęp z dnia: 1.05.2016]

Informatyczny System Osłony Kraju – <http://www.isok.gov.pl/> [dostęp z dnia: 1.05.2016]

Mapy Imperium Habsburgów – <http://www.mapire.eu/> [dostęp z dnia: 1.05.2016]

Legut-Pintal M. (2012). *LiDAR w badaniach nad średniowiecznymi fortyfikacjami i siedzibami obronnymi. Przykład założeń obronnych Księstwa Biskupów Wrocławskich*: [http://www.academia.edu/3102476/LiDAR\\_w\\_badaniach\\_nad\\_sredniowiecznymi\\_fortyfikacjami\\_i\\_siedzibami\\_obronnymi.\\_Przyklad\\_zalozen\\_obronnych\\_ksiestwa\\_biskupow\\_wroclawskich](http://www.academia.edu/3102476/LiDAR_w_badaniach_nad_sredniowiecznymi_fortyfikacjami_i_siedzibami_obronnymi._Przyklad_zalozen_obronnych_ksiestwa_biskupow_wroclawskich) [dostęp z dnia: 01.01.2016]