

**FOTOGRAFIA NAZIEMNA JAKO POTENCJALNE ŹRÓDŁO DANYCH  
DLA SYSTEMÓW INFORMACJI GEOGRAFICZNEJ**

**TERRESTRIAL PHOTOGRAPHY AS POSSIBLE DATA SOURCE  
FOR GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS**

**Natalia Kolecka**

Zakład Systemów Informacji Geograficznej, Kartografii i Teledetekcji,  
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński

SŁOWA KLUCZOWE: fotografia naziemna, georeferencje, DLT, widoczność, ortofotomapa

**STRESZCZENIE:** Praca przedstawia metodę pozwalającą na wykorzystanie pojedynczej fotografii naziemnej o nieznanych elementach orientacji wewnętrznej i zewnętrznej, jako źródła informacji geograficznej. Idea oparta jest na tworzeniu ortofotomapy ze zdjęć naziemnych, za pomocą zasad obowiązujących w fotogrametrii i widzeniu komputerowym. Danymi wejściowymi są: obraz cyfrowy, fotopunkty oraz numeryczny model terenu w formacie rastrowym. Fotopunkty służą do określenia orientacji kamery poprzez bezpośrednią transformację liniową (Direct Linear Transformation). Wykorzystanie niemetrycznej kamery wymaga użycia dużej liczby fotopunktów, aby można było osiągnąć zadowalającą dokładność. Kolejnym etapem jest eliminacja niewidocznych z danej pozycji fragmentów terenu, do czego wykorzystano analizę widoczności (viewshed). Ostatnim etapem jest ortorektyfikacja zdjęcia przy użyciu widocznych punktów modelu terenu. Produktem powstałym w wyniku działania procedury jest ortoobraz w przyjętym układzie odniesienia przestrzennego. Kompletny algorytm został napisany w języku MATLAB. Metodę przetestowano na współczesnych zdjęciach cyfrowych wykonanych niemetryczną lustrzanką cyfrową Nikon D80, wyposażoną w obiektyw Nikon Nikkor 28–80 mm f/3.3–5.6, a także na archiwalnych pocztówkach z lat 1928–1930. Przedmiotem fotografii w przypadku obu zbiorów danych były Tatry Polskie. Porównanie efektów z tradycyjną ortofotomapą dało zadowalające rezultaty, szczególnie dla obszarów silnie zacienionych.

## **1. WSTĘP**

W systemach informacji geograficznej (GIS) preferuje się do pozyskiwania danych sensory lotnicze i satelitarne. W niektórych przypadkach sposób ich wykorzystania napotyka jednak na trudne do przewyżnienia przeszkody. Na terenach górskich silne zacienienie stromych i urwistych stoków powoduje, że informacja radiometryczna jest niskiej jakości. Alternatywą dla obrazów lotniczych i satelitarnych może być w takim przypadku fotografia naziemna, która daje lepszy wgląd w obszary o pionowej orientacji i pozwala na obrazowanie w dużej skali, jeśli jest wykonana z niewielkiej odległości. Ponieważ rejestracja prostopadła do powierzchni obiektu jest najbardziej efektywna, zdjęcia naziemne powinny być uzupełnieniem obrazów lotniczych na terenach górskich (Buchroithner, 2002). Dotychczas służyły one raczej do dokumentacji. Obecnie, gdy fotografia cyfrowa jest ogólnodostępna, tysiące,

a nawet miliony zdjęć są potencjalnym bardzo tanim źródłem danych. Ich istotną zaletą jest to, że obejmują wiele odległych i trudno dostępnych miejsc na świecie, dla których w bazach danych GIS znajdują się nieliczne dane, głównie zobrazowania satelitarne i ich pochodne. Dlatego dodatkowa informacja, nawet pochodząca ze zdjęć amatorskich, jest krokiem w kierunku budowy kompletnego zasobu danych. Innym interesującym źródłem są archiwalne fotografie, a nawet pocztówki, które mogą służyć do rejestracji wcześniejszych stanów środowiska. Są one niezwykle cenne ze względu na to, że pozwalają sięgnąć w badaniach znacznie dalej wstecz niż obrazy lotnicze i satelitarne (Kaim *et al.*, 2010).

Podczas pracy ze zdjęciami naziemnymi pojawiają się problemy, które nie występują podczas opracowania danych lotniczych. Najważniejszym jest problem widoczności, czyli przesłonięcia obiektów położonych dalej przez obiekty znajdujące się bliżej kamery. Aby zdjęcia naziemne mogły być wykorzystane w GIS konieczne jest przeprowadzenie ortorektyfikacji i nadanie im georeferencji. Żadna ze standardowych procedur zaimplementowanych w GIS nie daje takiej możliwości.

Pojedyncze fotografie w analizach geograficznych wykorzystywali Aschenwald *et al.* (2001) oraz Corripio (2004). Ich metody mogą być jednak stosowane w przypadku zdjęć, które spełniają pewne wymogi początkowe. Pierwszy to znajomość położenia stanowiska, z którego wykonane zostało zdjęcie. Znacznie ogranicza to potencjalny zbiór danych źródłowych do zdjęć nowych lub posiadających odpowiednią dokumentację. Drugi to przybliżone współrzędne terenowe celu (*target*), czyli punktu w terenie leżącego na osi kamery. Należy je podać w celu określenia kątowych parametrów orientacji kamery. Znalezienie odpowiedniego punktu jest zadaniem trudnym i może przyczyniać się do powstawania dużych błędów. Corripio (2004) ponadto wprowadził korekcję skrzywienia osi kamery. Aschenwald *et al.* (2001) zaimplementowali algorytm optymalizujący współrzędne terenowe celu. W obu pracach stwierdzono, że te informacje wejściowe są kluczowe dla osiągnięcia zadowalających rezultatów. Fotopunkty (*Ground Control Points* – GCPs) służyły w obu przypadkach jedynie do detekcji błędów w danych wejściowych. Jednak prace Aschenwald *et al.* (2001) i Corripio (2004) koncentrowały się na zastosowaniu fotografii naziemnych nie wymagających wysokich dokładności. Oczko siatki numerycznego modelu terenu (NMT, DTM) i pola podstawowego analiz wynosiły odpowiednio 5 m i 10 m, co wystarczało do przeprowadzenia przestrzenno-czasowych analiz krajobrazu (Aschenwald *et al.*, 2001) lub określania albedo śniegu (Corripio, 2004).

Celem pracy jest wypracowanie metody pozwalającej na wykorzystanie pojedynczej fotografii naziemnej o nieznanych elementach orientacji zewnętrznej i wewnętrznej, jako źródła informacji geograficznej. Idea opiera się na tworzeniu ortoobrazów z fotografii naziemnych na podstawie zasad stosowanych w fotogrametrii i widzeniu komputerowym.

## 2. METODYKA PRACY

Metoda przedstawiona w pracy składa się z trzech głównych etapów: orientacji obrazów, analizy widoczności i tworzenia ortofotomapy. Do jej zastosowania konieczne jest wstępne przygotowanie danych wejściowych w odpowiedniej postaci oraz identyfikację i pomiar fotopunktów na zdjęciu i w terenie. Kompletna procedura została napisana w języku MATLAB. To interaktywne środowisko programistyczno-obliczeniowe pozwala na przeprowadzanie obliczeń matematycznych i wizualizację danych, współpracując jednocześnie z obrazami i geodanymi.

## 2.1. Dane wejściowe

Danymi wejściowymi do procedury są obraz cyfrowy, NMT w formacie rastrowym i GCPs. Rozdzielczość NMT determinuje rozdzielczość wynikowego ortoobrazu, zatem w razie potrzeby należy przepróbkować model terenu do pożądanej wielkości oczka. Do obliczenia parametrów orientacji zewnętrznej kamery, to jest współrzędnych stanowiska (X,Y,Z) i kątów orientacji konieczne są fotopunkty, ponieważ algorytm wykorzystuje bezpośrednią transformację liniową (*Direct Linear Transformation* – DLT). Do rozwiązania równań DLT niezbędnych jest co najmniej sześć punktów, rozmieszczonych równomiernie i w miarę możliwości obejmujące cały obszar poddany opracowaniu. Pozwala to zapewnić dobre warunki geometryczne do rozwiązania sieci. Współrzędne fotopunktów w układzie globalnym mogą zostać pomierzone w terenie lub wyznaczone na podstawie analizy NMT i istniejącej ortofotomapy. Wybór i identyfikacja dobrych i godnych zaufania punktów GCPs na zdjęciu naziemnym i ortofotomapie jest trudnym zadaniem, ponieważ przedstawiają one teren z innej perspektywy.

## 2.2. Orientacja zdjęć naziemnych

Metoda DLT (Abdel-Aziz *et al.*, 1971; Luhmann *et al.*, 2006; Kraus, 2007) pozwala na wyznaczenie relacji pomiędzy współrzędnymi punktów na zdjęciu w 2D a przestrzennymi współrzędnymi obiektu w układzie odniesienia, korzystając z zasad transformacji rzutowej. Jedenaście współczynników DLT jest obliczanych z równań liniowych, zatem nie jest wymagana znajomość przybliżonych wartości niewiadomych. W przypadku podania więcej niż sześciu fotopunktów stosuje się dopasowanie metodą najmniejszych kwadratów (*least squares adjustment*) (Kraus, 2007; Luhmann *et al.*, 2006).

$$\begin{aligned}x &= \frac{L_1X + L_2Y + L_3Z + L_4}{L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1} \\y &= \frac{L_5X + L_6Y + L_7Z + L_8}{L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1}\end{aligned}\tag{1}$$

gdzie:

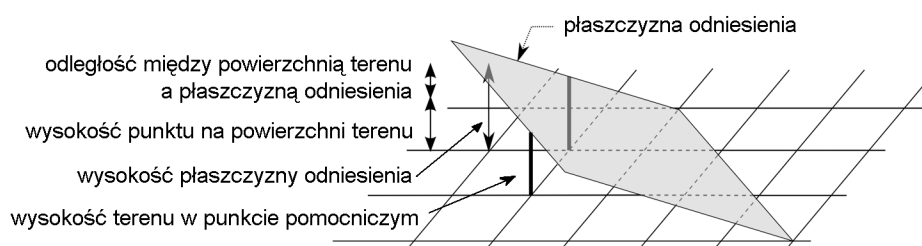
- $L_1 \dots L_{11}$  – parametry DLT,
- $x, y$  – współrzędne obrazowe,
- $X, Y, Z$  – współrzędne terenowe.

Do przeprowadzenia transformacji rzutowej wystarczające są same współczynniki DLT, jednak wykonanie analizy widoczności wymaga znajomości współrzędnych środka rzutów ( $X_0, Y_0, Z_0$ ), które muszą być obliczone z  $L_1 \dots L_{11}$  (Luhmann *et al.*, 2006). Algorytm uwzględnia różnicę między macierzą obrotu dla zdjęć naziemnych i lotniczych.

## 2.3. Analiza widoczności

Aby uniknąć rzutowania niewidocznych punktów NMT na zdjęcie stosuje się analizę widoczności rastrowego modelu terenu wg algorytmu zaprezentowanego przez Wang *et al.* (2000). Korzysta on z koncepcji płaszczyzn odniesienia (*reference planes*), opartych na

punkcie obserwacji i parze punktów pomocniczych, leżących w tej samej kolumnie lub wierszu siatki pomocniczej (*auxiliary grid*). Jeśli badany punkt NMT leży na lub powyżej płaszczyzny odniesienia, to jest widoczny z punktu obserwacji, a w siatce pomocniczej zapisywana jest taka sama wartość jak w oryginalnym NMT. W przeciwnym wypadku punkt zostaje oznaczony jako niewidoczny, a dla dalszych obliczeń odpowiedni punkt w siatce pomocniczej otrzymuje wartość identyczną z płaszczyzną odniesienia (rys. 1). Procedura działa w kierunku zewnętrznym od punktu obserwacji. Mapa widoczności przechowuje jedynie wartości 1 i 0, odpowiednio dla widocznych i niewidocznych punktów NMT.



Rys. 1. Zasada działania algorytmu analizy widoczności Wang'a (na podst. Wang et al., 2000)

#### 2.4. Tworzenie ortoobrazu

Tradycyjna ortofotografia powstaje w procesie usunięcia z oryginalnego obrazu przesunięć spowodowanych ukształtowaniem terenu (Kraus, 2007). Wykorzystuje się w tym celu DTM oraz elementy orientacji wewnętrznej i zewnętrznej kamery. Rektyfikację przeprowadzić można na dwa sposoby: poprzez transformację „w przód” lub „wstecz”.

W algorytmie zaimplementowano transformację rzutową „wstecz”, uwzględniając jedynie widoczne punkty terenu, wybierane przez mnożenie wejściowego NMT i mapy widoczności. Po rzutowaniu punktów kolor jest próbkowany metodą najbliższego sąsiada, a wartość zero jest przypisywana niewidocznym pikselom nowej ortofotografii. W wyniku tej procedury powstaje ortofotografia zapisywana w pliku TIF oraz dane umożliwiające orientację w układzie odniesienia (*georeferencing*) w tzw. pliku światowym TFW.

#### 2.5. Ocena jakości

W pierwszej kolejności ocenie powinny podlegać terenowe współrzędne fotopunktów w zależności od sposobu ich określenia – przez pomiar geodezyjny lub pomiar na ortofotomapie i NMT. Do sprawdzenia poprawności obliczeń mogą posłużyć elementy orientacji kamery obliczone z DLT (porównanie obliczonych stałych kamery i ogniskowej z EXIF). Dla oceny dokładności DLT kluczowe jest obliczenie średniokwadratowej odchyłki na zdjęciu (2).

$$\begin{aligned} vx &= x - \frac{L_1 X + L_2 Y + L_3 Z + L_4}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1} \\ vy &= y - \frac{L_5 X + L_6 Y + L_7 Z + L_8}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1} \\ \varepsilon_c &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{vx^2 + vy^2} \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie:

- $vx$ ,  $vy$  – różnice pomiędzy pomierzonymi i obliczonymi współrzędnymi obrazowymi fotopunktów,
- $\varepsilon_c$  – błąd DLT.

Wynikową ortofotografię należy poddać wizualnej kontroli. Obejmuje ona zarówno sprawdzenie ogólnego wyglądu obrazu, jak i porównanie z istniejącymi danymi, np. tradycyjną (lotniczą) ortofotomapą. Zazwyczaj można zauważyć czy przetworzony obraz dostarcza nowych informacji, czy raczej zawiera smugi i inne artefakty.

### 3. PRACE EKSPERYMENTALNE

#### 3.1. Obszar badań i dane

Obszar badań zlokalizowano w Polskich Tatrach – unikalnych pod względem alpejskiej rzeźby terenu, obfitujących w strome i urwiste stoki oraz zacielenia. Do testów użyto dwóch różnych lokalizacji i typów danych (rys. 4):

- Kościelec – fotografia cyfrowa  $2592 \times 3872$  piksele wykonana nieskalibrowaną lustrzanką Nikon D80 z 12-milionową matrycą CCD, wyposażoną w obiektyw typu zoom 28–80 mm, w kolorach RGB, przedstawiająca zachodnie stoki Kościelca i jego otoczenie; metadane dostępne z pliku EXIF,
- Żółta Turnia – pocztówka z 1930 roku, zeskanowana z rozdzielczością 800 dpi ( $4397 \times 2858$  pikseli), w sepii, przedstawiająca zachodnie stoki Żółtej Turni i jej otoczenie; żadne inne metadane nie są dostępne, więc nie ma informacji, czy oryginalna fotografia była przycinana, skalowana lub transformowana w inny sposób.

Numeryczny Model Terenu był dostępny w postaci nieregularnej siatki trójkątów (TIN). Został poddany konwersji do formatu GRID o oczku 0,5 m (dla zbioru danych Kościelec) i 1 m (dla zbioru danych Żółta Turnia). Rozdzielczości wynikały z wielkości obszaru przedstawionego na zdjęciu, możliwości komputera i terenowego rozmiaru piksela fotografii i pocztówki (tabela 1). Bardzo wysoka gęstość punktów NMT zwiększa liczbę przeliczanych punktów, co wpływa na zwiększenie zapotrzebowania na moc obliczeniową komputera lub wymaga więcej czasu. Liczba punktów rośnie także ze wzrostem powierzchni obszaru badań.

### 3.2. Pomiary fotopunktów

Fotopunkty pomierzono w oprogramowaniu ArcGIS na podstawie NMT i ortofotomap o rozdzielczości 0,25 m (czarno-biała) i 0,75 m (kolorowa). Najlepszymi punktami były pojedyncze kamienie, wyraźne zakręty szlaków turystycznych lub niewielkie kępy koso-drzewiny. Starano się równomiernie rozmieścić fotopunkty, w szczególności wokół głównego obszaru opracowania, a kilka punktów umieszczono wewnątrz. Dla danych z Kościelca i Żółtej Turni znaleziono odpowiednio 14 i 13 fotopunktów (rys. 2).



Rys. 2. Obrazy testowe z zaznaczonymi fotopunktami: Kościelec (po lewej) i Żółta Turnia (po prawej)

### 3.3. Obliczenia

Współrzędne fotopunktów posłużyły do obliczenia współczynników DLT, a następnie elementów orientacji wewnętrznej (3) i zewnętrznej (6) obrazów wg wzorów przedstawionych w Luhmann *et al.* (2006). Dwa pozostałe elementy uwzględniają różnicę skali przy transformacji afinicznej oraz przycięcie obrazu. Obliczono parametry statystyczne dla obu zbiorów danych: minimalny, maksymalny i średni dystans między środkiem rzutów a obiektem (ze współrzędnych terenowych), a także wielkość piksela obrazu w terenie (tabela 1).

Tab. 1. Odległość od obiektu i wielkość piksela obrazu w terenie

	odległość od obiektu [m]			wielkość piksela w terenie [m]		
	minimalna	maksymalna	średnia	minimalna	maksymalna	średnia
Kościelec	960	3320	1530	0,13	0,46	0,21
Żółta Turnia	280	1590	754	0,14	0,81	0,38

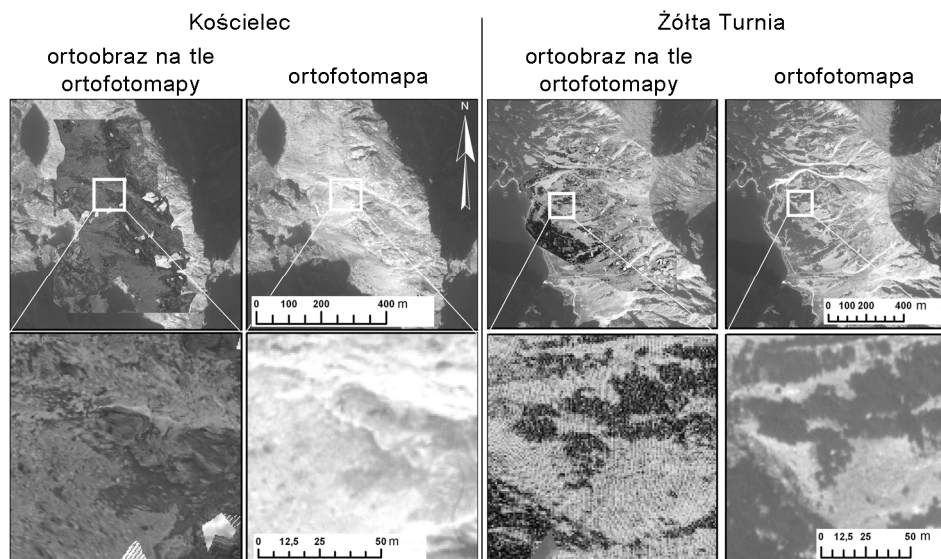
W przypadku obu obrazów rozmiar piksela jest proporcjonalny do terenowej rozdzielczości ortobrazu. Ponadto dla Kościelca obliczono odległości obrazowe (0,0440 m i 0,0424 m) i porównano z ogniskową z pliku EXIF (0,0440 m), co dało jedynie niewielką rozbieżność. Średniokwadratowa odchyłka na zdjęciach (wg wzoru (2)) wynosiła  $0,6 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$  dla Kościelca, a  $3,4 \mu\text{m} \pm 0,52 \mu\text{m}$  dla Żółtej Turni.

Na podstawie współrzędnych stanowiska kamery obliczonych z parametrów DLT, dla każdego zbioru danych wykonano analizę widoczności. Mapy widoczności porównano z podobnymi danymi otrzymanymi z programu ArcGIS (*Viewshed Analysis*), a różnice nie przekraczały 2% pikseli wejściowego NMT.

Dla każdego wynikowego ortoobrazu zrzutowano jego widoczne piksele na obraz, aby pobrać wartości jasności. Z trzech wartości RGB utworzono jeden obraz, który następnie eksportowano do plików TIF (obraz) i TFW (georeferencje).

### 3.4. Ocena rezultatów

Do wizualnej oceny rezultatów użyto pakietu ArcGIS ESRI, w którym porównano wygenerowane ortoobrazy z ortofotomapami lotniczymi. Pomiedzy tradycyjną (lotniczą) ortofotomapą i ortoobrazem ze zdjęcia naziemnego można zauważyć znaczące różnice (rys. 3).



Rys. 3. Porównanie ortoobrazu Kościelca i Żółtej Turni z lotniczą ortofotomapą, powiększone poniżej

Na rysunku 3 przedstawiono ortoobraz Kościelca (terenowy rozmiar piksela to 0,5 m), powiększony w dolnej części rysunku. Przetworzono jedynie część fotografii ze względu na zasięg wynikowego ortoobrazu. Naziemna ortofotografia pozwala rozróżnić więcej szczegółów niż lotnicza. Dobrze widoczne są kamienie, skały i roślinność, granice pomiędzy nimi są wyraźne, a cienie nie kryją detali topografii. Nachylenie stoków, które znajdowały się w zakresie opracowania, sięgało od 30° do 90°. Podczas wykonywania nalogu fotogrametrycznego stoki były silnie oświetlone, co spowodowało obniżenie jakości zarejestrowanej informacji. Fotografiię naziemną wykonano natomiast przy umiarkowanym zachmurzeniu, dzięki czemu stoki są równomiernie oświetlone, a obraz jest kontrastowy.

Ortoobraz Żółtej Turni (rys. 3) wygenerowany z pocztówki (terenowy rozmiar piksela to 1 m) przedstawia interesujące rezultaty. Paleta kolorów sepii jest specyficzna, ale barwa i jaskrawość pozwalają rozróżnić pojedyncze kępy kosodrzewiny i zidentyfikować żleby czy ścieżki. Porównanie historycznego obrazu z 1930 r. i współczesnej ortofotomapy umożliwia badanie zmian pokrycia terenu, w tym przypadku zauważyć można przyrost kosodrzewiny.

Wadą ortobrazów naziemnych jest to, że niewidoczne ze stanowiska kamery części terenu powodują powstawanie dziur. Jednak może to być zrekompensowane poprzez wykorzystanie wielu fotografii naziemnych. Pozostała część jest zazwyczaj wysokiej jakości, choć zdarza się, że niektóre kolumny lub wiersze są rozmazane z powodu niedokładności NMT. Daje się to zauważyć także na lotniczych ortofotomapach, których niektóre fragmenty są wręcz nieczytelne. Obrazy lotnicze i naziemne różnią się także nasyceniem, jasnością i kontrastem. Podczas dalszego przetwarzania, m.in. mozaikowania, powinno się podjąć odpowiednie działania zmierzające do ich wyrównania aby uzyskać spójne rezultaty.

#### 4. DYSKUSJA I PODSUMOWANIE

Celem pracy było zaprezentować i przetestować metodę pozwalającą na nadanie georeferencji pojedynczemu zdjęciu naziemnemu, pochodzącemu z nieznanego źródła. Dla obrazów lotniczych istnieje wiele kompletnych i łatwych w użyciu algorytmów, podczas gdy fotografia naziemna, różniąc się od lotniczej pod względem geometrii, jest wciąż zaniebywana jako źródło danych w GIS. Obrazy z nieznanymi źródłami wymagają specjalnego podejścia, ponieważ najczęściej brakuje podstawowych informacji o nich, w szczególności elementów orientacji wewnętrznej i zewnętrznej. Rozwiązania zaproponowane przez Aschenwald *et al.* (2001) i Corripio (2004) nie rozwiązują wszystkich problemów, ponieważ ich algorytmy wymagają jako danych wejściowych znajomości położenia współrzędnych kamery i celu, a także stałej kamery i innych parametrów, które mogą być niedostępne szczególnie dla materiałów archiwalnych.

W pracy zaproponowano inne podejście, oparte na bezpośredniej transformacji liniowej (DLT). Użyto fotopunktów o znanych współrzędnych obrazowych i terenowych. Metoda ta oparta na obliczeniach matematycznych wydaje się być godna większego zaufania niż szacowanie wizualne, mogące być przyczyną błędów, jak ma to miejsce u Aschenwald *et al.* (2001) i Corripio (2004). Dodatkowym udoskonaleniem tej metody była implementacja analizy widoczności w module oprogramowania do tworzenia ortobrazu, czego nie stosowano do tej pory. Zaprogramowany został algorytm przedstawiony przez Wang *et al.* (2000), a poprawność jego działania sprawdzona poprzez porównanie z algorytmem widoczności z programu ArcGIS. Porównanie dało niemal identyczne rezultaty (różnice na mniej niż 2% pikseli).

Ocena jakości końcowego produktu jest pozytywna. Wysokorozdzielczy ortobraz może być pozyskany z łatwością. Daje on duże możliwości interpretacji w standardowym oprogramowaniu GIS. W szczególności strome stoki otrzymują zazwyczaj informację radiometryczną wyższej jakości niż w przypadku wykorzystania zdjęć lotniczych. Niepodważalną zaletą tych danych jest ich niski koszt i możliwość pozyskania w dowolnym czasie, niezależnie od pory roku lub wyposażenia.

Dokładność położenia rzutowanych punktów i jakość produktu zależą głównie od jakości wykorzystywanego NMT. Modele terenu obszarów górskich produkowane są



głównie ze zdjęć lotniczych o dużych zniekształceniach na obszarach bardzo stromych lub zacięzionych, zatem ich błędy będą się przenosić na ich pochodne.

Potencjalne pole zastosowań jest szerokie i zawiera badania prowadzone na obszarach górskich, stromych i skalistych, np. związane z krajobrazem i pokryciem terenu, lodowcami, śniegiem i lawinami, ruchami masowymi, etc. Skoro możliwe jest wykorzystanie dzięki tej metodzie także historycznych fotografii, to mogą z nich czerpać badania nad zmianami środowiska, w szczególności połączone z powtórzoną fotografią (Kaim, Kolecka, 2010).

Przyszłe prace będą koncentrować się na:

- wprowadzeniu wcięcia wstecz opartego na przybliżonych elementach orientacji obliczonych z metody DLT – aby uzyskać dokładniejszą orientację kamery,
- wprowadzeniu zasięgu wynikowego ortoobrazu – by uniknąć rzutowaniu niepotrzebnych punktów na zdjęcie przy resamplingu,
- przetłumaczeniu kompletnej procedury na język Python,
- budowie Graficznego Interfejsu Użytkownika (GUI) – aby ułatwić pracę z algorytmem.

## 5. LITERATURA

Abdel-Aziz Y.I., Karara H.M., 1971. Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. *Proceedings of the Symposium on Close-Range Photogrammetry*, s. 1–18. Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry.

Aschenwald J., Leichter K., Tasser E., Tappeiner U., 2001. Spatio-temporal landscape analysis in mountainous terrain by means of small format photography: a methodological approach. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 39 (2001), No. 4., s. 885–893.

Buchroithner M., 2002. Creating the virtual Eiger North Face. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 57 (2002), s. 114–125.

Corripio J.G., 2004. Snow surface albedo estimation using terrestrial photography. *International Journal of Remote Sensing*, 25 (24), s. 5705–5729.

ESRI, 2007. ArcGIS 9.2 Desktop Help. <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/> (28 stycznia 2010).

Kaim D., Kolecka N., 2010. Zmiany pokrycia terenu w Tatrach Polskich na podstawie powtórzonej fotografii naziemnej. *Prace Geograficzne*, z. 123, s. 31–45.

Kirnbauer R., Bloeschl G., Waldhaeusl P., Hochstoeger F., 1991. An analysis of snow cover patterns as derived from oblique aerial photographs. *Snow, Hydrology and Forests in High Areas. Proceedings of the Vienna Symposium, August 1991*, s. 91–99.

Kraus K., 2007. *Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans*. Walter de Gruyter, Berlin.

Luhmann T., Robson S., Kyle S., Harley I., 2006. *Close Range Photogrammetry. Principles, Methods and Applications*. Whittles Publishing, Scotland.

Wang J., Robinson G. J., White K., 2000. Generating viewsheds without using sightlines. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66, s. 87–90.

**TERRESTRIAL PHOTOGRAPHY AS POSSIBLE DATA SOURCE  
FOR GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS**

KEY WORDS: terrestrial photography, georeferencing, DLT, viewshed, orthophotomap

SUMMARY: The paper describes a method, that allows to use a single terrestrial photograph, with unknown exterior and interior orientation parameters, as a source of geographic information. The idea is based on creating the orthoimage from a terrestrial photograph by means of photogrammetric and computer vision rules. The inputs are a digital image, Ground Control Points and a digital elevation model in raster format. GCPs are necessary to determine the camera orientation by means of Direct Linear Transformation. For non-calibrated cameras a large number of GCPs is necessary to obtain more accurate results. The next step is to eliminate invisible parts of terrain by applying the viewshed analysis. Finally, the terrestrial photograph is orthorectified using the extracted part of the digital elevation model. Output from this procedure is a georeferenced orthophotograph. The complete, ready to use algorithm is written in MATLAB. The method was tested using present-day digital images taken with a not-calibrated Nikon D80 and old postcards – both from the Polish Tatra Mountains. Comparison with an existing orthophotomap from aerial imagery gave satisfactory results, especially for deeply shaded areas.

mgr inż. Natalia Kolecka  
e-mail: [nkolecka@gis.geo.uj.edu.pl](mailto:nkolecka@gis.geo.uj.edu.pl)  
telefon: 0-12 664-53-02