

## Metodyka badań

Podstawę analiz zmian pokrycia terenu w wyżej wymienionych gminach, stanowiły zdjęcia lotnicze z trzech okresów: 1952–1956, 1969–1977 i 1995–1999 oraz dane archiwalne dotyczące gospodarki gmin. Posłużono się także danymi dotyczącymi stanu zagospodarowania omawianych terenów w roku 1935 (uzyskanymi z archiwalnych map topograficznych w skali 1:100 000 wykonanych w latach 1935–1938).

Na podstawie zdjęć lotniczych opracowano mapy użytkowania ziemi w wybranych przekrojach czasowych. Ze względu na brak materiałów fotograficznych dotyczących ostatniego przekroju czasowego dla całości gminy Uście Gorlickie, do opracowania mapy pokrycia terenu wykorzystano barwne zdjęcia lotnicze (północna część gminy) z roku 1999, zdjęcie satelitarne (Landsat TM z roku 1995) oraz badania terenowe.

Do wykonania map zmian pokrycia terenu posłużyły wspomniane wcześniej mapy pokrycia terenu w poszczególnych przekrojach czasowych.

Ponadto dla każdej z gmin wykonano numeryczny model terenu, na podstawie którego uzyskano mapy: wysokości n.p.m., nachylenia stoków oraz ich ekspozycji, a na podstawie mapy glebowo-rolniczej w skali 1:100 000 wykonano uproszczone mapy kompleksów glebowo-rolniczych. Dane z tych map posłużyły do oceny zgodności zachodzących zmian pokrycia terenu z potencjałem przydatności rolniczej środowiska.

## Charakterystyka analizowanych zdjęć lotniczych

Pełna i spójna ocena pokrycia terenu omawianych gmin w poszczególnych przekrojach czasowych została wykonana na podstawie zdjęć lotniczych. Wykorzystanie zawartych w nich informacji było jedyną możliwością uzyskania pełnych danych o strukturze użytkowania ziemi. Dane statystyczne i archiwalne zapisy dotyczące badanych gmin są bowiem niespójne, niekompletne i nie obejmują całości analizowanego obszaru; dotyczy to szczególnie gmin wschodnich. Źródła interesujących informacji, np. większość danych podstawowych spisu powszechnego z 1950 roku, uległy częściowemu zniszczeniu bądź przedstawiają rozbieżne dane liczbowe (akta gminne i zestawienia GUS). Zaproponowane podejście oparte na analizie zdjęć lotniczych efektywnie i w pełni rozwiązuje ten problem.

Wykorzystane zdjęcia lotnicze różniły się znacznie skalą, w której zostały wykonane, formatem, kontrastowością a także techniką wykonania. Podobny był jedynie okres wykonania zdjęć. Wszystkie materiały obrazują pokrycie terenu wiosną (kwiecień lub maj) w poszczególnych latach, toteż kierując się różnicą fototonu poszczególnych kategorii pokrycia terenu (szczególnie gruntów ornych i użytków zielonych), można wyróżnić i interpretować powierzchnie przez nie zajmowane.

Brak pokrycia całości analizowanego obszaru zdjęciami, wykonanymi podczas jednego nalotu fotogrametrycznego i w związku z tym mającymi podob-

ne parametry techniczne, spowodował konieczność kompletowania zdjęć lotniczych z różnych nalotów. Miały one różną skalę, kontrastowość, a często również format. Tylko w niewielu przypadkach udało się skompletować jednakowe zdjęcia dla całej gminy i danego przekroju czasowego. Dużym utrudnieniem podczas analizy i interpretacji zdjęć lotniczych były różnice skali, wymagające wykorzystania specjalistycznego sprzętu pozwalającego na sprowadzenie interpretowanej treści do jednolitego podkładu kartograficznego. Skala wykorzystanych zdjęć zawiera się w przedziale od 1:16 000 (zdjęcia z Komańczy, rok 1969) do 1:40 000 (zdjęcia z Zawoi, rok 1995). Podczas wyboru materiałów do analizy, w miarę możliwości starano się tak dobrać zdjęcia, aby w danym przekroju czasowym i dla danej gminy skala była podobna. Wykorzystane zdjęcia lotnicze różnią się także techniką, w jakiej zostały wykonane: zdjęcia z lat 1952–1995 pozyskano techniką panchromatyczną, zaś z lat 1997–1999 techniką barwną, co w znacznej mierze ułatwiło interpretację i zwiększyło ilość uzyskanych informacji.

Analizowane zdjęcia panchromatyczne znacznie różniły się kontrastowością i czytelnością. Ograniczyło to możliwości interpretacji, a także liczbę wydzielonych kategorii pokrycia terenu. Najmniej kontrastowe były zdjęcia pokrywające obszar gminy Komańcza w roku 1952 oraz gminy Zawoja w roku 1956. Ponieważ jednak stanowiły one jedyne materiały obrazujące pokrycie większości terenu gmin, zdecydowano się je wykorzystać. Dodatkowe utrudnienie stanowił brak kompletnych raportów kalibracyjnych kamer, zawierających dane techniczne o parametrach kamer; uniemożliwiało to korekcję zniekształceń występujących na zdjęciach oraz ich późniejsze cyfrowe przetwarzanie. Ogółem wykorzystano 446 zdjęć (tab. 1).

## Wykorzystane instrumenty i oprogramowanie

W celu doprowadzenia wyników interpretacji analizowanych zdjęć do jednolitej postaci konieczne było ich przetworzenie. Można to wykonać bądź metodami analogowymi, bądź numerycznymi. Zdecydowano się na wykonanie przetworzenia numerycznego, które umożliwiło uzyskanie różnego rodzaju charakterystyk ilościowych dotyczących kategorii pokrycia terenu.

Wykonanie numerycznych map pokrycia terenu wymagało zastosowania specjalistycznego sprzętu i oprogramowania. Dotyczy to również opracowania numerycznych modeli terenu wykorzystanych w dalszych analizach i będących podstawą map spadków, ekspozycji i wysokości n.p.m.

W pierwszym etapie opracowań najistotniejszym problemem była korekcja zniekształceń zdjęć lotniczych. Ze względu na zróżnicowanie skali wykorzystywanych zdjęć, jak również występujące na nich zniekształcenia, spowodowane znacznymi deniwelacjami terenu oraz odchyleniami osi kamery od pionu w momencie fotografowania, nie było możliwe bezpośrednio interpretowanie i zestawianie treści zdjęć lotniczych.

Tabela 1. Wykaz wykorzystanych zdjęć lotniczych  
 Table 1. Aerial photographs used during the work

Gmina Commune	Rok Year	Liczba zdjęć (szt.) Number of aerial photographs	Rodzaj zdjęcia Aerial photograph type	Skala Scale
Komańcza (łącznie 261 zdjęć)	1952	91	panchromatyczne	1: 25 000
	1955	27	panchromatyczne	1: 20 000
	1969	61	panchromatyczne	1: 18 300
	1969	27	panchromatyczne	1: 21 000
	1969	16	panchromatyczne	1: 16 000
	1994	34	panchromatyczne	1: 30 000
	1995	5	panchromatyczne	1: 40 000
Uście Gorlickie (łącznie 69 zdjęć)	1952	22	panchromatyczne	1: 20 000
	1974	27	panchromatyczne	1: 33 000
	1997	20	barwne	1: 26 000
Zawoja (łącznie 36 zdjęć)	1952	15	panchromatyczne	1: 25 000
	1956	4	panchromatyczne	1: 20 000
	1974	11	panchromatyczne	1: 33 000
	1995	6	panchromatyczne	1: 40 000
Rajcza (łącznie 80 zdjęć)	1956	53	panchromatyczne	1: 20 000
	1974	17	panchromatyczne	1: 30 000
	1999	10	barwne	1: 29 000

Niemożliwe okazało się wykorzystanie stereoskopu lustrzanego, który pozwala na trójwymiarową wizualizację obrazu przedstawionego na stereogramie zdjęć lotniczych, jak również prostego przetwornika optycznego LUZ, który umożliwiłby wpasowanie interpretowanej treści w podkład kartograficzny. Najbardziej użyteczny okazał się przetwornik optyczny Zoom Transfer Scope (Albertz, 1991).

Po wkomponowaniu interpretowanej treści w podkład kartograficzny dane analogowe (kalki interpretacyjne) zeskanowano i dalej przetwarzano w programach Arc/Info v. 7.1.2 i Erdas Imagine v. 8.4.

W przypadku zdjęć lotniczych z roku 1999, dla których dostępne były raporty kalibracyjne kamer, przeprowadzono numeryczną korekcję zniekształceń przy zastosowaniu modułu programu Erdas Imagine – Imagine Ortho Base. Następnie skorygowane zdjęcia połączono, tworząc uproszczoną ortofotomapę.

#### Zoom Transfer Scope

Wykorzystywany na potrzeby niniejszej pracy analogowy przetwornik optyczny Zoom Transfer Scope ZT-4 firmy Baush & Lomb umożliwia:

- jednoczesną obserwację zdjęcia lotniczego i mapy topograficznej;
- ciągłą zmianę skali zdjęcia umożliwiającą wpasowanie interpretowanej treści w podkład kartograficzny;

- zmianę stosunków powiększenia w kierunku  $x$  i  $y$  (Sitek, 1991);

- rozciąganie obrazu pozwalające na dokładne dopasowanie kształtu opracowywanego obiektu do jego odpowiednika przedstawionego na mapie oraz rotację obrazu.

Wymienione możliwości są szczególnie istotne w przypadku analizy zdjęć lotniczych pochodzących z terenów o znacznych deniwelacjach i pozwalają na korekcję zniekształceń występujących na tych zdjęciach.

#### Przetwarzanie z wykorzystaniem cyfrowego modelu terenu

Dla każdej gminy wykonano numeryczny model terenu z użyciem poziomic digitalizowanych z mapy topograficznej w skali 1:50 000 z cięciem 10 m. Po wprowadzeniu wyżej wymienionych danych do programu Imagine Ortho Base, przeprowadzono standardową rektyfikację zdjęć, przypisując punktom na zdjęciu współrzędne z mapy topograficznej. Zastosowanie omawianego oprogramowania pozwoliło na przeliczenie wprowadzonych danych i automatyczną korekcję geometryczną z uwzględnieniem wszystkich podanych parametrów. Tak przeprowadzona ortorektyfikacja dała zadowalające efekty i pozwoliła na łączenie poszczególnych zdjęć w większą całość. Omówione zdjęcia połączono wykorzystując moduł Imagine Ortho Base i tworząc uproszczoną ortofotomapę, którą następnie

wykorzystano do kolejnych analiz, a więc digitalizacji poszczególnych wydziałów i ich klasyfikacji.

W trosce o spójność opracowania wszystkich materiałów, przeprowadzono digitalizację wydziałów odpowiadających poszczególnym kategoriom pokrycia terenu. W efekcie utworzono warstwę wektorową, którą poddano dalszej obróbce numerycznej. Omówiony proces jest znacznie bardziej dokładny i mniej pracochłonny niż postępowanie analogowe. Niestety ze względu na brak danych wejściowych dla wszystkich typów kamer, którymi wykonane były zdjęcia, opracowanie numeryczne dotyczyło tylko zdjęć lotniczych gminy Uście Gorlickie z ostatniego przekroju czasowego (1999).

Część zdjęć lotniczych, dla których dostępne były raporty kalibracyjne kamer, została przetworzona cyfrowo do postaci ortofotomap. Wykorzystano tu oprogramowanie Imagine Ortho Base będące modulem programu Erdas Imagine działającego na stacji roboczej Silicon Graphic. Danymi wejściowymi, pozwalającymi na ortorektyfikację zdjęć, były raporty kalibracyjne kamer (zawierające informacje o charakterystyce metrycznej kamery), numeryczny model terenu oraz zdjęcia lotnicze skanowane z rozdzielczością 350 dpi.

W skład charakterystyki metrycznej kamery wchodzi następujące parametry: odległość obrazowa kamery, położenie punktu głównego kamery w stosunku do znaczków tłowych, radialna i tangencjalna dystorsja obiektywu, zdolność rozdzielcza obiektywu, odległość między znaczkami tłowymi, odchylenie ramki łkowej od płaszczyzny, a także dokładna długość ogniskowej obiektywu (Sitek, 1991; Falkner, 1995; Camera Calibration Certificate).

Dane te pozwalają na dokładną rekonstrukcję wiązki promieni zarejestrowanej w kamerze podczas ekspozycji i wraz z informacjami dotyczącymi ukształtowania powierzchni, a pochodzącymi z numerycznego modelu terenu, umożliwiają korekcję zniekształceń występujących na zdjęciach lotniczych.

### Analiza dokładności uzyskanych map

Najbardziej pracochłonną częścią opracowania było zestawienie i interpretacja zdjęć lotniczych. Wykorzystano do tego celu przetwornik optyczny Zoom Transfer Scope ZT4. Treść interpretowanych zdjęć wpasowywano w podkład kartograficzny w postaci map topograficznych w skali 1:50 000 w układzie 1942. Kalki interpretacyjne wykonane na podstawie zdjęć lotniczych zeskanowano z rozdzielczością 120

dpi, a następnie poddano rektyfikacji, podczas której konturom wydzielonych poligonów nadano współrzędne geograficzne. W kolejnym etapie prac warstwę rastrową poddano wektoryzacji w programie ARC/Info, a następnie zbudowano topologie poszczególnych poligonów. Otrzymaną warstwę wektorową nałożono na warstwę mapy rastrowej, identycznej z podkładem kartograficznym służącym do wykonania kalek interpretacyjnych i przeanalizowano zgodność konturów wydziałów o niezmiennym zasięgu. W dolinach rzek i na stokach o niewielkim nachyleniu błąd zasięgu wydziałów nie przekraczał 20 m, co uznano za wynik zadowalający, na stokach o znacznym nachyleniu zaobserwowano błędy sięgające 50 m. W związku z tym przeprowadzono dodatkową korekcję warstwy, znacznie zagęszczając punkty referencyjne. Po tej operacji, błędy zasięgu zmalały do 20 metrów.

Za najmniejszą wydzielaną powierzchnię w przypadku lasów, użytków zielonych i gruntów ornych uznano 1 ha (najmniejsza powierzchnia wydziałów roślinności zgodna z *Zasadami redakcji mapy topograficznej w skali 1:50 000*, UGiK, 1998). W przypadku zabudowy za najmniejszą powierzchnię przedstawianą na mapie uznano powierzchnię 0,5 ha.



Ryc. 2. Płaszczowiny polskich Karpat zewnętrznych.

Fig. 2. Nappes of the polish external Karpaty Mountains.

Zdjęcia gminy Uście Gorlickie z roku 1997 (dla których dostępne były raporty kalibracyjne kamer) przetworzono cyfrowo, wykorzystując moduł programu Erdas Imagine-Imagine Ortho Base. W wyniku tej operacji wykonano uproszczoną ortofotomapę, której dokładność wynosiła średnio 1 m. Na jej podstawie metodą digitalizacji z ekranu, wydzielono poszczególne kategorie pokrycia terenu, tworząc warstwę wektorową, analogiczną do warstw wykonanych na podstawie kalek interpretacyjnych, z tą jednak różnicą, że błąd zasięgu wydziałów był niezauważalny. Ponieważ nie posiadano pełnego pokrycia zdjęciami z 1999 roku całości gminy Uście Gorlickie, mapę południowej części wykonano na podstawie zdjęcia satelitarne z satelity Landsat TM, z roku 1995 oraz terenowej analizy pokrycia terenu. Średnia zgodność zasięgów wydziałów sięgała w omawianej procedurze 15 m.