

## Techniki geoinformatyczne w badaniach czasowo-przestrzennych zmian szaty roślinnej na przykładzie rejonu Kasprowego Wierchu w Tatrach

*Geoinformatics techniques applications in research concerning space  
and time changes of plant cover of Kasprowy Wierch in Tatra Mountains*

Piotr WĘŻYK, Marcin GUZIK

The natural environment of the Tatra Mountains has been subjected to extensive pressure of human activity for hundreds of years (shepherding, metal mining and paper-making which often led clear-cutting's). The main goal of this study was to present the geoinformatics techniques such as: digital photogrammetry (aerial photos), Global Positioning System and Geographic Information Systems as tools in evaluation of changes in the land use and in the plant cover, which had taken place during the 34 year-long period (1965–1999) in Dolina Sucha Stawianska and Dolina Bystrej.

Photointerpretation workout was based on panchromatic aerial photos from year 1965 (Scale 1:16,000; 6 stereomodels) and color photos from year 1999 (Scale 1:26,000; 4 stereomodels). Stereointerpretation was run on the basis of the technology used at the digital photogrammetrical station Video Stereo Digitizer (VSD-AGH) that satisfied all the expectations usual in this kind of research. The absolute orientation error (RMS) was under 1.95 m based on the GCP measurements using the GPS.

GIS system (ESRI: ArcInfo ver 8.1 and ArcView ver. 3.2a), adapted to the needs of the present project, consisted of two basic segments of the database, i.e., geometrical and attributive (descriptive). The GIS spatial analyses (like DEM) and the map compositions in our study were conducted with the use of the ESRI software. For the field survey (photointerpretation key for

land use classification, mapping of skiing and damage areas caused by skiers) and collecting of GCP (photogrammetry) – two GPS Pathfinder ProXRS receivers (Trimble with TSC1 data logger) were used. The DGPS measurements (WGS84) were done on the basis of the differential mode in real time (OmniStar) or in the so-called post-processing mode (base station in TPN-Zakopane).

To create the Digital Terrain Model (Triangulated Irregular Network, TIN) the: contour lines digitized on the PC screen and mass points from topographic maps (Scale 1:10,000) were used. To carry out the chosen spatial analyses, the DEM model was transformed into a regular raster (GRID; ESRI) with the pixel size 5.0 m.

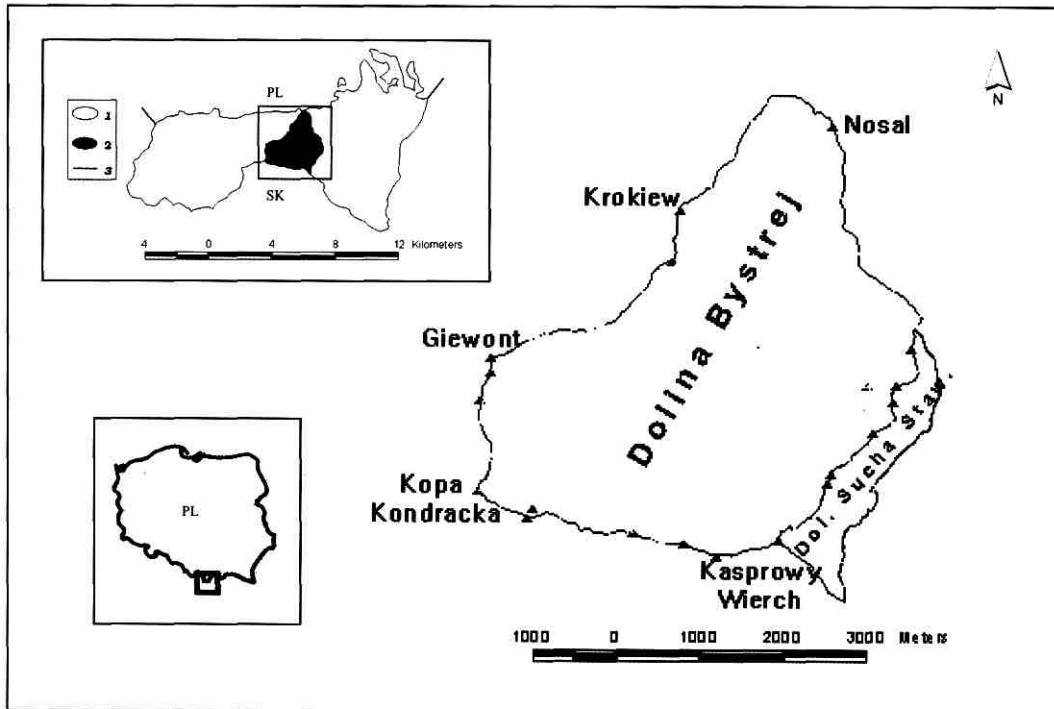
The results show that area covered by spruce forest (1999) in comparison to year 1965, increased by 33% and the dwarf mountain pine community by 28%. In the same time the meadows and the alp's decreased their area by 29% and the rock towers rock-fall by 39%. The maps of slopes and aspects confirmed the replacement of dwarf mountain pine communities by spruce stands and small groups of spruce trees, especially on the steepest slopes with the SE and E aspect. The main conclusion from this study is that tree and shrubs communities in the Tatra Mountains are currently returning to their natural ecological niches.

## Wstęp i cel pracy

Obszarem w Tatrach, na którym człowiek w sposób szczególny odciskał przez setki lat swe piętno jest Dolina Bystrej. To właśnie w tym rejonie znajdują się największe niegdyś zakłady przemysłowe, tj.: kopalnie rud metali, huty żelaza i papiernie. Przez okres minionych wieków, na poszerzanych halach i polanach, w okresie lata wypasano wielkie stada zwierząt gospo-

## Teren badań

Obszar badań ulokowany w Tatrach Zachodnich objął Dolinę Bystrej oraz Dolinę Suchą Stawiańską wraz z terenami znajdującymi się na zachód od szlaku turystycznego: Przełęcz Liliowe–Hala Gąsienicowa–Przełęcz między Kopami (Beskid, Gładkie Stawiańskie, Stawiański Uplaz). Powierzchnia terenu badań wynosiła 1797 ha (ryc. 1).



Ryc. 1. Lokalizacja terenu badań: 1 – Tatrzański Park Narodowy, 2 – teren badań, 3 – granica państwa.

Fig. 1. Localization of the study area: 1 – Tatra National Park, 2 – research area, 3 – state border.

darskich. Równolegle prowadzono rabunkową gospodarkę leśną, przyczyniając się w ten sposób do zmiany naturalnego składu gatunkowego, struktury drzewostanów oraz układu wysokościowego pięter roślinnych. Kilkadziesiąt lat temu budowa kolei linowej na szczyt Kasprowego Wierchu zapoczątkowała tym rejonie powstanie największego ośrodka narciarskiego Tatr Polskich.

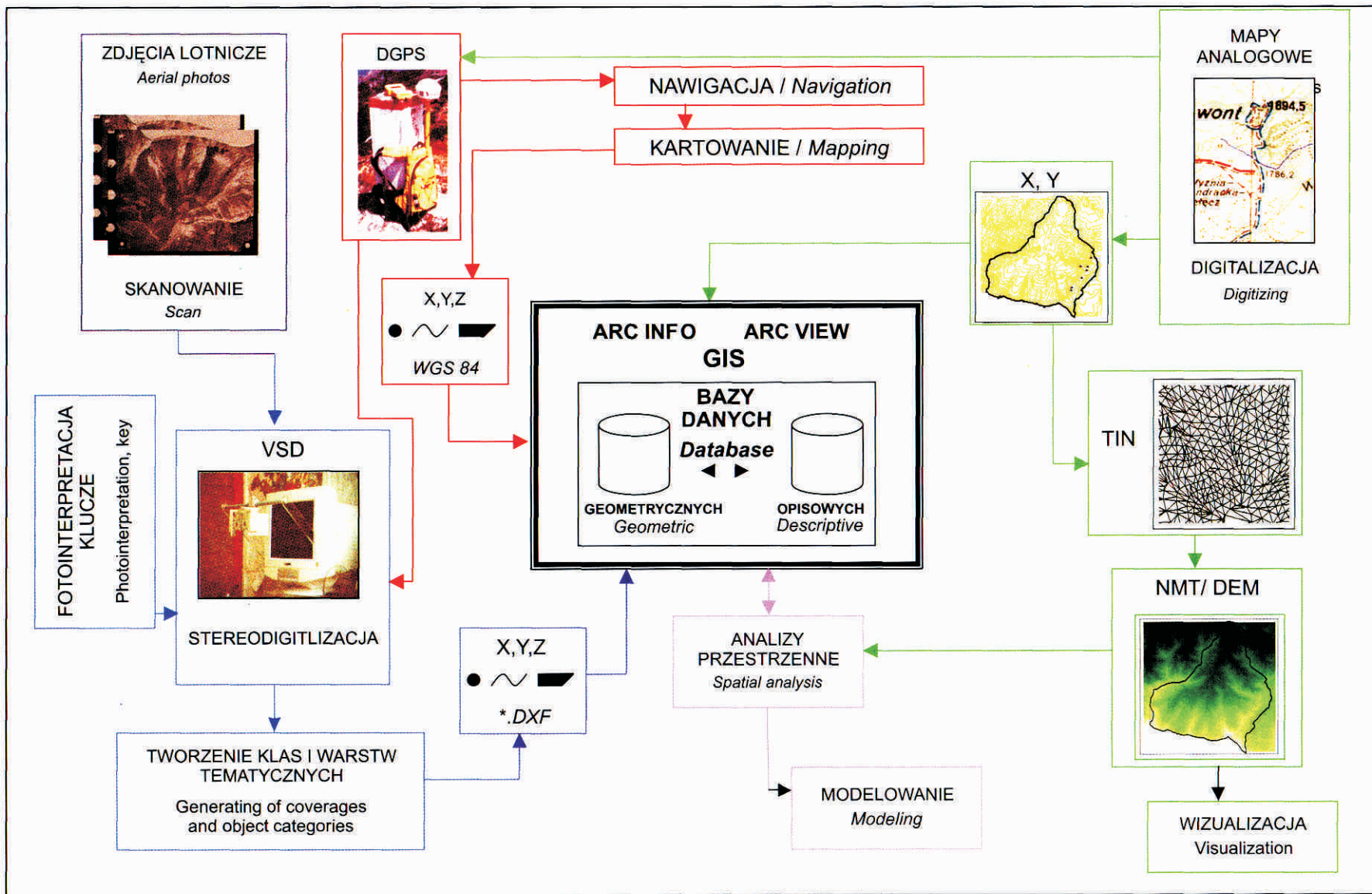
Tempo przyrodniczej degradacji Tatr zostało przyhamowane w 1954 roku przez powołanie do życia na tym obszarze Parku Narodowego. Fakt ten nie oznaczał jednak zaniechania ingerencji człowieka w cenne ekosystemy Tatr. Pojawiło się zupełnie nowe zagrożenie — imisje przemysłowe, a zakres i intensywność oddziaływania turystyki górskiej i narciarskiej zmienił się diametralnie.

Celem prezentowanej pracy było określenie zmian czasowo-przestrzennych zachodzących w środowisku przyrodniczym Tatr. Realizacja tego celu oparto na wykorzystaniu technik geoinformatycznych do przeprowadzenia analiz przestrzennych GIS.

Deniwelacja na obszarze badań wyniosła aż 1054,6 m (Kopa Kondracka 2004,6 m n.p.m., Kuźnice 950 m n.p.m.), co powodowało oczywiste komplikacje w poruszaniu się w terenie i miało wpływ na posługiwanie się różnymi technikami geoinformatycznymi (np. cienie i zróżnicowanie przestrzenne obiektów na stereogramach zdjęć lotniczych, osłonięcie horyzontu istotne dla pomiarów DGPS itp.)

## Materiał i metoda

Geoinformatykę definiuje się często jako nową gałąź nauki, obejmującą dziedziny zajmujące się: pozyskiwaniem, przechowywaniem, przetwarzaniem, analizą, prezentacją i rozpowszechnianiem danych dotyczących geometrii i atrybutów obiektów, które są określone przestrzennie w układzie związanym z Ziemią. Techniki geoinformatyczne pozwalają na porównanie obrazów zarejestrowanych w przeszłości z ich stanem obecnym, oraz prognozowanie przebiegu zjawisk i procesów (Olenderek i in., 2000; Wężyk, 2000a).



Ryc. 2. Schemat zastosowania technik geoinformatycznych.

Fig. 2. Flow chart of geoinformatics techniques applications.

Analizy czasowo-przestrzennych zmian szaty roślinnej przeprowadzono w oparciu o dane pozyskane i generowane dzięki zastosowaniu technik: fotogrametrii cyfrowej, Globalnego Systemu Pozyjonowania (GPS) oraz Geograficznych Systemów Informacyjnych (GIS). Techniki te w ciągu ostatnich lat coraz częściej są wykorzystywane do badania środowiska przyrodniczego, wypierając tradycyjne metody kartowania i zbierania informacji (Karaszkiwicz i in., 1994; Mozgawa i in., 1994; Mäkisara, Tomppo, 1996; Wężyk, Mansberger, 1997; Wężyk, Mansberger, 1998; Borek, Jędrzychowski, 1999; Wężyk, 2000b).

W projekcie badawczym wykorzystano dostępne materiały archiwalne w postaci zdjęć lotniczych i map analogowych, a także dane cyfrowe pozyskiwane podczas prac terenowych (kartowanie DGPS) oraz pochodzące z innych opracowań (ryc. 2).

### Fotogrametria cyfrowa

#### Materiały fotogrametryczne

Opracowaniem fotogrametrycznym objęto 6 stereogramów zdjęć lotniczych z roku 1965 oraz 4 stereogramy z roku 1999 (tab. 1, ryc. 3).

#### Pozyskiwanie danych ze zdjęć lotniczych na stacji fotogrametrycznej VSD-AGH

Do prac wykorzystywano cyfrową stację fotogrametryczną Video Stereo Digityzer (VSD-AGH) składającą się z oprogramowania, mikrokomputera PC (PII 400MHz, 64RAM, 4GB) oraz stereoskopu lustrzanego

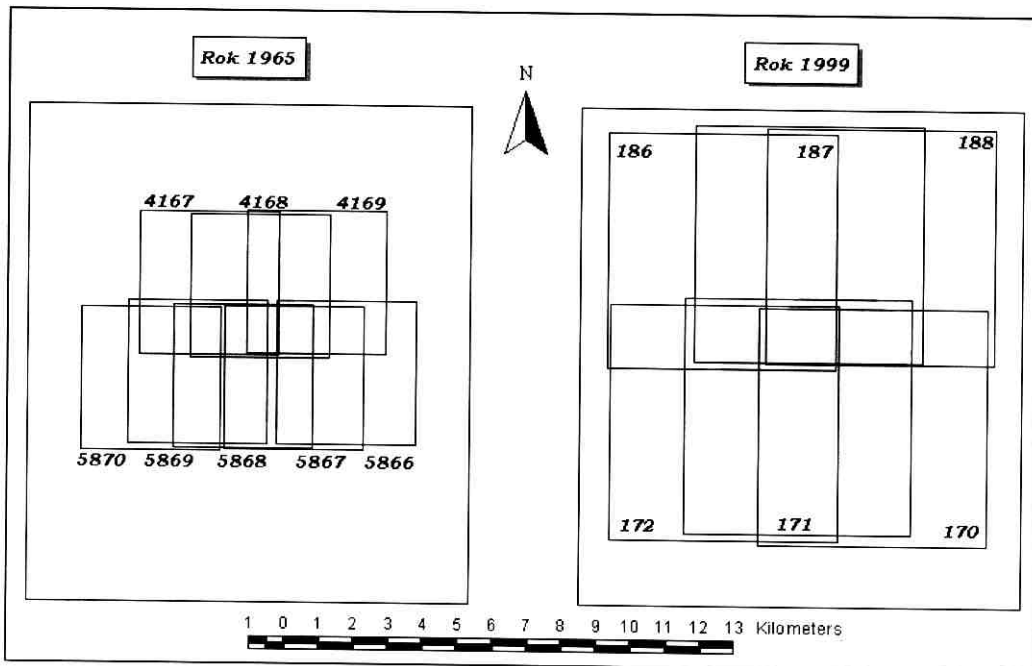
zawieszonego przed monitorem (17"). Obrazy rastrowe zdjęć lotniczych z 1999 roku (RGB-True Color) przed wprowadzeniem do VSD zostały przetworzone do formatu indeksowanego (programem `rgb_vsd`), co powodowało niewielką utratę informacji radiometrycznej, ale zdecydowanie obniżyło rozmiar pliku (po konwersji wyniósł 85 MB).

Po wstępnych obserwacjach modeli stereoskopowych z lat 1965 i 1999 zdefiniowano klasy (warstwy), do których przypisywano obiekty w trakcie fotointerpretacji i stereodigitalizacji. Informacje te zostały zakodowane i wprowadzone do systemu w postaci warstw tematycznych.

Digitalizację obiektów (o charakterze liniowym, poligonowym i punktowym) dokonywano na ekranie monitora za pomocą znacznika pomiarowego poruszającego go w trzech płaszczyznach (X, Y, Z) stereomodelu. Dla każdej warstwy tematycznej (klasy) poza nazwą definiowano kolor, w jakim wektory przestrzenne wyświetlane były na ekranie monitora. Formatem wymiany danych pomiędzy oprogramowaniem VSD-AGH a oprogramowaniem Arc/Info 7.2. (ESRI), były pliki \*.DXF.

#### Kartowanie terenowe z wykorzystaniem odbiorników Globalnego Systemu Pozyjonowania (GPS)

Do przeprowadzenia: pomiarów współrzędnych terenowych fotopunktów, zasięgu użytkowania narciarskiego Kotłów Goryczkowego i Gąsienicowego, kartowania uszkodzeń szaty roślinnej i nawigacji w terenie



Ryc. 3. Pokrycie zdjęciami lotniczymi obszaru badań.

Fig. 3. Covering of the area of interest with aerial photos.



Tabela 1. Wykaz materiałów fotogrametrycznych użytych do opracowania  
*Aerial photographs used to the workout*

Rok nalotu <i>Year of flight mission</i>	Zasób <i>Owner</i>	Skala zdjęcia <i>Scale</i>	Materiał filmowy <i>Type of aerial film</i>	Stała kamery $C_k$ [mm] <i>Principal distance</i>
1965	WOGiK	1:16 000	Panchromatyczny <i>Panchromatic</i>	152,18/152,32
1999	CODGiK	1:26 000	Barwny <i>Color</i>	152,24

wykorzystywane były dwa odbiorniki GPS Trimble ProXRS z rejestratorem polowym TSC1. W początkowym okresie prac (kartowanie zasięgu użytkowania narciarskiego w roku 2000) błąd selektywnego dostępu (S/A) do sygnału NAVSTAR-GPS dochodził do około 100 metrów (Frączyk i in., 1996). Z dniem 1 V 2000 zakłócanie sygnału zostało poważnie ograniczone, a średni błąd określania pozycji wahał się w granicach kilku metrów (Wężyk, 2000a).

W celu wyeliminowania błędów S/A i zwiększenia precyzji pomiaru zastosowano tryb pomiaru różnicowego DGPS (*differential GPS*). Korekcję przeprowadzano w czasie rzeczywistym (satelita geostacjonarny OmniStar), lub w trybie *post-processing* (stacja baza Trimble zainstalowana na budynku dyrekcji TPN w Zakopanem: N49°17'05.83"; E19°58'19.44"; 955.5 HAE).

Pomiarów obiektów dokonywano w trybie statycznym (pomiar fotopunktów, uszkodzeń gleby i roślinności o charakterze punktowym) oraz dynamicznym (szlaki turystyczne, zjazd na nartach wzdłuż wyznaczonej trasy, kartowanie obszarów erozyjnych itp.). Pomiar zasięgu użytkowania narciarskiego Kotłów Goryczkowego i Gąsienicowego dokonywano, zjeżdżając na nartach wzdłuż tyczek ograniczających trasę zjazdową. Lokalizację poszczególnych tyczek rejestrowano stosując opcję tzw. *nested point*.

Do przeprowadzanych: misji pomiarowych GPS, korekcji różnicowej, importu i eksportu danych, wykorzystywano oprogramowanie GPS Pathfinder Office ver. 2.51 (Trimble, 1999). Eksport warstw wektorowych (np. położenie płatów kosodrzewiny, granice tras narciarskich) z systemu ArcInfo ver. 8.x (ESRI) do rejestratora TSC1 odbywał się w module Data Transfer programu Pathfinder Office.

Pomiar obiektów punktowych trwał od kilkudziesięciu (miejsca uszkodzeń gleby) do 1200 epok (fotopunkty). Przy pomiarze liniowym interwał pomiarowy wynosił 1–5 sekund, co uzależnione było od prędkości przemieszczania się odbiornika (np. zjazd na nartach 1 sek., marsz szlakiem pod górę 5 sek.).

Dokonując pomiaru obiektu, przyporządkowywano mu jednocześnie atrybuty, które wraz ze współrzędnymi eksportowano do systemu GIS. Zbieranie atrybutów obiektów ułatwiały przygotowane wcześniej tzw. „słowniki danych” (*data dictionary*).

Odbiorniki DGPS umożliwiały także nawigację do obiektów o znanych współrzędnych, np. podczas kar-

towania zasięgu tras narciarskich w 2001 roku istniała możliwość nawigacji do miejsc (punktów–tyczek), które w roku poprzednim ograniczały trasę narciarską i jednoczesnego porównania w terenie tego zasięgu (Wężyk, Guzik, 2000).

Transformacji danych pomiędzy WGS84 (GPS) a państwowym układem współrzędnych GUGiK 1965, dokonywano za pomocą oprogramowania Geo-Trans (Geosystem).

Kartowanie uszkodzeń pokrywy glebowej przeprowadzano w Kotle Goryczkowym na transekcie przebiegającym wzdłuż trasy narciarskiej. Większe obszary uszkodzonej gleby mierzono odbiornikiem DGPS w trybie dynamicznym (obiekty poligonowe), natomiast mniejsze w trybie statycznym (punkty), podając jednocześnie jako atrybut szerokość i długość uszkodzenia.

Do kartowania uszkodzeń kosodrzewiny posłużono się warstwą wektorową „kosodrzewina”, którą wygenerowano na podstawie opracowania fotogrametrycznego zdjęć lotniczych z 1999 roku. Dodatkowo posłużono się informacją o przebiegu granic tras narciarskich, pozyskaną z kartowania zimowego (kwiecień 2000). Po stwierdzeniu w terenie obszarów uszkodzonej kosodrzewiny, zaznaczano ich zasięg na podkładzie mapowym przygotowanym w skali 1:2000 przyjmując dwie klasy uszkodzeń: „uszkodzenie stare” (tzn. sprzed sezonu 1999/2000) oraz „uszkodzenie nowe” (powstałe w sezonie 1999/2000). Pozyskane dane wprowadzono do systemu GIS na drodze digitalizacji podkładów mapowych.

## System GIS

Źródłem danych do zasilania bazy geometrycznej systemu GIS dla rejonu badań były:

- 2 arkusze mapy topograficznej Tatr w skali 1:10 000 (GUGiK 1965): 193.114; 193.112;
- mapa glebowa w skali 1:20 000 z 1997 r. w postaci pliku graficznego (Skiba, 1997);
- 7 arkuszy map gospodarczych TPN (1:5000);
- mapa fotogrametryczna Tatr (1:20 000, WIG 1934);
- zdjęcia lotnicze z lat 1965 (1:16 000) i 1999 (1:26 000);
- wyciąg z rejestru geodezyjnych punktów granicznych;
- pomiary DGPS.

Do zasilania bazy atrybutowej wykorzystano:

- karty ewidencyjne jednostek kontrolnych;
- informacje o obiektach zbierane podczas kartowania DGPS;
- wyniki prac fotointerpretacyjnych.

Do sporządzenia leśnej mapy numerycznej Doliny Bystrej wykorzystano warstwy informacyjne pochodzące z przetworzenia map gospodarczych TPN w skali 1:5000 (przebieg wydzieleń i oddziałów leśnych) oraz map topograficznych (sytuacja, ciekі wodne).

Treść map analogowych przetworzono do postaci cyfrowej na drodze digitalizacji (Altek 32, A0). Do transformacji do układu współrzędnych GUGiK 1965, użyto współrzędnych punktów granicznych udostępnionych przez Powiatowy Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Zakopanem oraz współrzędnych słupków wyznaczających granicę państwa (OPGiK).

Informacje opisowe zawarte w kartach ewidencyjnych umożliwiły przygotowanie map tematycznych poprzez tworzenie zapytań do relacyjnej bazy danych.

Przy pozyskiwaniu informacji z map analogowych

no w programie Arc/Info (ESRI). Wygenerowany NMT terenu badań przyjął kształt wieloboku o wymiarach 6 × 6 km. Dla przygranicznego obszaru Słowacji (ok. 3,34 km<sup>2</sup>) brak było danych wysokościowych na polskich mapach.

Wygenerowanie NMT dało możliwość przeprowadzenia modelowania matematycznego oraz analiz przestrzennych (np. występowania zbiorowisk roślinnych w poszczególnych piętrach wysokościowych, klasach spadku i ekspozycji).

## Wyniki

### Błędy popełniane przy orientacji zdjęć lotniczych, transformacji map, pomiarów GPS

Podstawowym elementem wpływającym na dokładność opracowania fotogrametrycznego są poszczególne kroki orientacji zdjęć. Wyniki orientacji bezwzględnej zdjęć lotniczych terenu badań przedstawiono poniżej (tab. 2).

Tabela 2. Średnie wartości błędów orientacji bezwzględnej zdjęć lotniczych  
*RMS error of the absolute orientation of aerial photographs*

Rok nalotu <i>Year of flight mission</i>	Błąd średni współrzędnych [m] <i>Mean error</i>			Błąd średniokwadratowy punktu w układzie odniesienia RMS [m] <i>RMS error [m]</i>
	X	Y	Z	
1965	1,04	1,18	1,16	2,00
1999	0,75	1,04	0,70	1,50

i przygotowywaniu kompozycji mapowych oraz sprawdzaniu poprawności map korzystano z języka makropoleczeń (\*.aml) oprogramowania Arc/Info (ESRI) (Wężyk, 2000a).

### Numeryczny Model Terenu (NMT)

Do budowy NMT wykorzystano model TIN (Triangulated Irregular Network) z pakietu ArcInfo ver. 8.x (ESRI). Jako dane wejściowe posłużyły wektoryzowane na ekranie monitora linie warstwowe oraz pikietty wysokościowe z map topograficznych (1:10 000). Mapy analogowe zostały przetworzone do formy cyfrowej w procesie skanowania, a następnie zarejestrowane w programie ArcView 3.2 (ESRI) z wykorzystaniem modułu Image Analysis (ERDAS). Wektoryzacji dokonywano w programie ArcView, pozyskując linie warstwowe w cięciu 10-metrowym. W celu zmniejszenia błędów interpolacji wprowadzono tzw. linie nieciągłości terenu, tj. linie zgodne z przebiegiem rzek i potoków oraz grzbietów górskich. W wyniku tej operacji ograniczono powstawanie tzw. terenów płaskich tworzących się głównie w miejscach interpolacji tej samej linii warstwowej (Wężyk, 2000a).

Do analiz przestrzennych wykorzystywano NMT w formie siatki kwadratów (GRID) o rozmiarze pikse-la 5 × 5 m. Konwersji z postaci TIN do GRID dokona-

Wężyk (1997) przy orientacji zdjęć lotniczych terenu Lasu Wolskiego uzyskał dokładność 1,3 m dla współrzędnych „x” i „y” oraz 0,5 dla „z” przy skali zdjęć 1:10 000 i deniwelacjach terenu nieprzekraczających 200 metrów. Dla obszarów górskich Gorczańskiego Parku Narodowego (Wężyk, Pyrkosz, 1999), podczas orientacji zdjęć archiwalnych z lat: 1954, 1974 i 1987 uzyskiwano dokładności około 1,50 m dla rzędnych „x” i „y”, a średni błąd współrzędnej „z” wynosił 0,5 m. Będkowski (2000) opracowywał fotogrametrycznie zdjęcia terenów leśnych na niżu polskim, przy błędzie wynoszącym średnio 3,85 m (maksymalny średni błąd orientacji wynosił 6,87 m).

W porównaniu do powyższych wyników, efekt przeprowadzonej orientacji bezwzględnej modeli w oparciu o fotopunkty pomierzone w trybie DGPS należy uznać, w warunkach Tatr, za satysfakcjonujący.

Wyniki transformacji leśnych map gospodarczych (1:5000) w postaci analogowej przedstawiono poniżej (tab. 3).

Błędy transformacji map analogowych dla obszaru Gorczańskiego Parku Narodowego wynosiły 1,5–3,0 m (Wężyk, 2000a), toteż średni błąd transformacji (RMS) dla map z TPN na poziomie 1,80 metra można uznać za bardzo dobry wynik.

W trakcie prac pomiarowych udało się odnaleźć w terenie i zmierzyć pozycję odbiornikiem DGPS kil-

Tabela 3. Wyniki transformacji map analogowych do układu współrzędnych PUWG 1965  
*RMS error and number of map sheets and GCP's used for the transformation in to the coordinate system PUWG 1965*

Liczba digitalizowanych arkuszy <i>Number of digitized map sheets</i>	Średnia liczba punktów użytych do transformacji jednego arkusza <i>Number of used GCP's</i>	Średni błąd <i>RMS error [m]</i>
7	10	1,80

ku obiektów (słupków granicznych), które wykorzystywane były do transformacji map gospodarczych. Porównania współrzędnych zmierzonych metodą DGPS (Trimble) z uzyskanymi z urzędów geodezyjnych przedstawiono w tabeli (tab. 4).

#### Zmiany szaty roślinnej

Zastosowanie technik fotogrametrii cyfrowej i GIS umożliwiło prześledzenie zmian jakie dokonały się na terenie Doliny Suchej Stawiańskiej i Bystrej na przestrzeni 34 lat (1965–1999). W trakcie prac fotointerpretacyjnych wyróżniono 23 kategorie obiektów. Zmiany powierzchni zajmowanej przez wybrane kategorie przedstawiono poniżej (ryc. 4).

W okresie pomiędzy 1965 a 1999 rokiem zaobserwowano bardzo znaczące (o ponad 167 ha — przyrost o 33,3 %) poszerzenie się obszarów drzewostanu świer-

„turnie i piargi” — 45 ha (ubytek 39,2%) oraz „wiatrolomy i wiatrowały pozbawione odnowienia” — 24 ha (88,8% powierzchni).

#### Zasięg użytkowania narciarskiego rejonu Kasprowego Wierchu określony metodą DGPS

Wyznaczenie tras narciarskich odbywa się na początku sezonu narciarskiego i jest zależne od warunków śnieżnych panujących w Kotłach. W trakcie trwania sezonu narciarskiego, gdy zmniejsza się pokrywa śnieżna, część tras jest wyłączana z użytkowania. Wyniki prac terenowych przeprowadzonych w kwietniu 2000 oraz 2001 przedstawiono poniżej (tab. 5).

Obszar wyznaczony do uprawiania narciarstwa ze względu na zróżnicowanie warunków śniegowych podlega znacznym wahaniom. Skawiński (1993) informował, iż obszar użytkowany narciarsko w samej tylko

Tabela 4. Porównanie współrzędnych pomierzonych metodą DGPS z wartościami uzyskanymi z urzędu geodezyjnego  
*Accuracy of DGPS measurements comparing to the geodetically survey*

Nr granicznika <i>Stone</i>	Pomiar geodezyjny [m] <i>Geodetically survey</i>		Pomiar DGPS [m] <i>DGPS measurement</i>		Błąd [m] <i>Error [m]</i>	
	X	Y	X	Y	X	Y
5200	4558 366,02	5313 732,35	4558 366,45	5313 731,78	-0,43	+0,57
2253	4555 763,22	5312 642,29	4555 763,43	5312 640,87	-0,21	+1,42
2217	4557 672,78	5311 930,71	4557 673,00	5311 930,50	-0,22	+0,21
223	4557 345,23	5312 279,80	4557 345,29	5312 279,98	-0,06	-0,18
2242	4556 885,10	5312 682,24	4556 885,05	5312 680,96	+0,05	+1,28
228	4553 299,65	5313 257,88	4553 299,46	5313 256,46	+0,19	+1,42
2234	4557 012,14	5312 570,31	4557 012,08	5312 568,56	+0,06	+1,75
2205	4558 484,29	5311 456,29	4558 484,72	5311 456,00	-0,43	+0,29
II/2411	4556 202,04	5312 503,61	4556 202,24	5312 501,91	-0,20	+1,70
Średnia różnica wyznaczenia współrzędnej					-0,14	+0,94

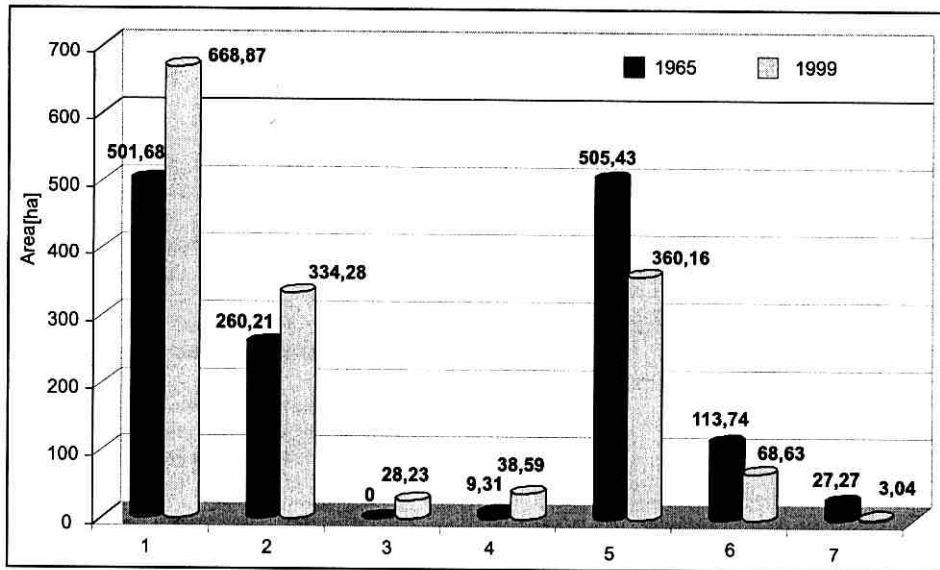
kowego o zwarcie 0,8–1,2. Należy także zwrócić uwagę na fakt, że w 1999 roku identyfikowano drzewostany mieszane, których nie stwierdzono w 1965 roku. Znaczący przyrost powierzchni wystąpił również w przypadku obiektu „kosodrzewina” (kategoria 10), tj. zmiana na ponad 74 ha (wzrost o 28,4%). Maksymalny procentowy wzrost o ponad 400% stwierdzono w kategorii „faza inicjalna drzewostanu” (zmiana o 29,28 ha).

Największe powierzchniowe straty (ponad 145 ha czyli 28,7% powierzchni) wykazała kategoria „polany i hale”, a stosunkowo duże odnotowano w kategoriach

Dolinie Goryczkowej wynosił 37 ha. Rozbieżność ta (ponad 10 ha) może być spowodowana zastosowaniem innych kryteriów (np. zaliczenie obszaru narciarskiego do Kuźnic na teren narciarski Kotła Goryczkowego).

#### Uszkodzenia gleby i kosodrzewiny

W trakcie pomiarów DGPS w Kotle Goryczkowym na wytypowanym w tym celu transekcie, przebiegającym środkiem trasy narciarskiej (pow. 7,27 ha), stwierdzono uszkodzenia pokrywy glebowej na powierzchni 4,4 ha. Badania przeprowadzone przez Skawińskiego



Ryc. 4. Powierzchnia zajmowana przez wybrane kategorie obiektów w latach 1965 i 1999: 1 – D-stan Św (zw. 0,8–1,2), 2 – kosodrzewina (pokrycie >75%), 3 – D-stan mieszany, 4 – faza inicjalna drzewostanu, 5 – polany i hale, 6 – turnie i piargi; 7 – wiatrołomy i wiatrowały pozbawione odnowienia.

Fig. 4. Area covered by objects of interest (1956 and 1999: 1 – spruce-stand (crown density 0,8–1,2) Norway spruce, 2 – dwarf mountain pine (cover >75%) *Pinus mugo*, 3 – mixed-stand, 4 – initial phase of stand, 5 – glades and mountain pasture (alp), 6 – rock tower, rock-fall, 7 – windfall and windbreak.

(1993) na terenie Doliny Goryczkowej wykazały, że powierzchnie z erozją gleby zajmują około 0,88 ha.

Badania uszkodzeń kosodrzewiny przeprowadzono tylko w Dolinie Goryczkowej, kosodrzewina zajmuje tu ok. 14 % tras narciarskich i rośnie w 244 kępach. Uszkodzenia kosodrzewiny stwierdzono w 285 miejscach, uszkodzeniom uległy 139 płatów kosodrzewiny (56% wszystkich kęp). Niektóre kępy kosodrzewiny były wielokrotnie uszkodzane.

#### Analizy spadków i ekspozycji

Numeryczny model terenu umożliwił wygenerowanie map ekspozycji terenu oraz spadku. Poniżej przed-

stawiono udział procentowy poszczególnych ekspozycji (ryc. 5).

W Dolinie Bystrej występuje bardzo dużą przewagę ekspozycji północnych (NW, N, NE) i wschodnich (E, SE), stanowiących łącznie prawie 70% powierzchni. Na ekspozycję południową (S) i południowo-wschodnią (SE) przypada tylko 9% powierzchni badań.

Teren objęty badaniami charakteryzuje się dużymi wartościami spadku. Średnia wartość wynosi 24,75°. Największy udział (18,13%) przypada na klasę spadku 25–30°.

Zależności pomiędzy ekspozycją, spadkiem i wysokością n.p.m. wykorzystywane były jako jeden z czynników podczas budowy prostego modelu matematycz-

Tabela 5. Wyniki pomiarów DGPS zasięgu użytkowania narciarskiego rejonu Kasprowego Wierchu w latach 2000 i 2001. Results of the DGPS measurement of the skiing areas on the Kasprowy Wierch in the year 2000 and 2001

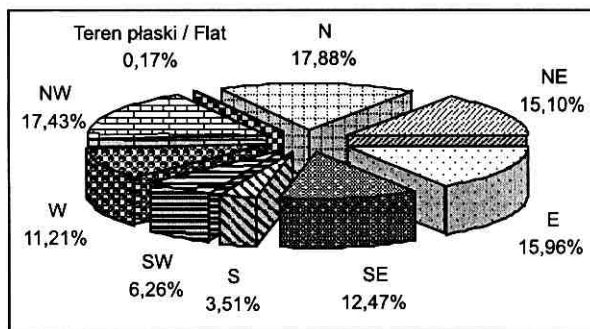
Obiekty poligonowe Polygon objects		Powierzchnia [ha] Area [ha]	
		2000	2001
Teren przeznaczony do użytkowania narciarskiego	Kocioł Gąsienicowy	10,45	11,90
	Kocioł Goryczkowy	23,60	23,69
	rejon kopuły szczytowej	0,73	0,97
Tereny wyłączone (chronione) wewnątrz tras zjazdowych		3,24	3,13
Teren czasowo wyłączony z użytkowania z powodu braku śniegu		–	0,15
Obszar „chroniony” lecz użytkowany przez narciarzy z powodu małej ilości śniegu na trasach narciarskich		–	0,65



nego waloryzacji tras narciarskich w rejonie Kasprowego Wierchu (Wężyk, Guzik, 2000).

### Prezentacja multimedialna projektu

W styczniu 2001 roku na stronach internetowych serwera Laboratorium GIS i Teledetekcji Wydziału Leśnego w Krakowie (<http://argis.les.ar.krakow.pl>) zaprezentowano wyniki projektu „Naturalne i antropogeniczne zmiany szaty roślinnej w ekstremalnych warunkach klimatycznych w Tatrach na przykładzie



Ryc. 5. Procentowy udział ekspozycji dla terenu badań.  
Fig. 5. Surface share (percentage) of the study area.

Doliny Bystrej i Suche Stawiańskiej”, który był dofinansowany przez Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Krakowie oraz Tatrzański Park Narodowy. Na stronach tych znajduje się bogata dokumentacja fotograficzna projektu oraz szczegółowe wyniki przedstawione w prezentacji Microsoft PowerPoint. Prezentacja multimedialna przekazana została także Pracowni Naukowej TPN, która zadeklarowała wykorzystanie danych w działalności edukacyjnej.

### Wnioski

Żyjemy obecnie w czasach ogromnych zmian jakie zachodzą w szacie roślinnej Doliny Bystrej, a związane są one z sukcesją zbiorowisk o charakterze leśnym, tj. zarastaniem polan i hal wysokogórskich. Na przestrzeni 34 lat ubyło z krajobrazu Doliny Bystrej ponad 145 ha polan i hal, a tempo wkraczania lasu i kossodrzewiny na zajmowane niegdyś przez nie tereny (4,2 ha/rok) gwarantuje powrót tych zbiorowisk do granic ich naturalnego występowania.

Zastosowanie technik geoinformatycznych w badaniach przyrodniczych, poza skróceniem czasu prac i spotęgowaniem wiarygodności wyników, umożliwia monitorowanie zmian jakie ciągle zachodzą w szacie roślinnej oraz symulowanie możliwych scenariuszy na przyszłość.

Numeryczny model terenu zastosowany w badaniach naukowych pozwala na analizę zachodzących

procesów w zależności od zmiennych: wysokości n.p.m., ekspozycji i spadku.

### Literatura

- Będkowski K., 2000, *Pomiar fotolotniczych powierzchni próbnych w miejscach odziorowania stałych-kontrolnych powierzchni próbnych*, [w:] Miścicki S. (red.), *Kombinowana dwufazowa inwentaryzacja lasów nizinnych z wykorzystaniem zdjęć lotniczych i stałych-kontrolnych powierzchni próbnych*.
- Borek J., Jędrzychowski I., 1999, *Powierzchnia Magurskiego Parku Narodowego w postaci numerycznej*, Parki Narodowe, 1, 15–18.
- Frączyk P., Lamparski J., Modliński G., 1996, *Podstawy działania systemu GPS*, [w:] *Materiały I Krajowej Konferencji: Zastosowania satelitarnego systemu lokalizacyjnego GPS*. Poznań, 1-33.
- Karaszkiwicz W., Korpetta D., Nowicki A., Olenderek H., Piękarski E., 1994, *The Role of GIS in the Process of Development and Realisation of a Protection Plan for a National Park in the Polish Conditions*, Proceedings 17<sup>th</sup> Annual Geographic Information Seminar. 12–16 September, Toronto.
- Mäkisara K., Tomppo E., 1996, *Airborne Imaging Spectrometer in National Forest Inventory*, International Geoscience and Remote Sensing Symposium Digest (Lincoln, USA), 1010–1013.
- Mozgawa J., Kadlewicz T., Kosiński K., Grudziński T., Botul K., 1994, *Odziorowanie biogeocenozy Białowieckiego Parku Narodowego na zdjęciach satelitarnych TM*, Fotointerpretacja w Geografii, 24.
- Olenderek H., Kamińska G., Korpetta D., Olenderek T., 2000, *Geomatyka w systemie informacyjnym leśnictwa*, [w:] Smykała J. (red.), *Stan i perspektywy badań z zakresu zarządzania lasu i ekonomiki leśnictwa*, Materiały IV Konferencji Leśnej Warszawa, 157–164.
- Skawiński P., 1993, *Oddziaływanie człowieka na przyrodę kopuły Kasprowego Wierchu oraz Doliny Goryczkowej w Tatrach*, [w:] Cichocki W. (red.), *Ochrona Tatr w obliczu zagrożeń*, Wydawnictwo Muzeum Tatrzańskiego, Zakopane, 197–226.
- Skiba S., 1997, *Mapa gleb Tatrzańskiego Parku Narodowego 1:20000*, [w:] *Plan Ochrony TPN*, Kraków-Zakopane.
- Trimble, 1999, TSC1 Asset Surveyor. Software User Guide. Revision A. Version 5.00. Trimble Navigation Limited.
- Wężyk P., 2000a, *Techniki geomatyczne w planie ochrony Gorceńskiego Parku Narodowego*, Szczeliniec, 4, Kudowa Zdrój, 153–168.
- Wężyk P., 2000b, *Wykorzystanie technik geomatycznych w badaniach przyrodniczych na przykładzie monitoringu drzewostanów bukowych w Ojcowskim Parku Narodowym oraz Leśnym Zakładzie Doświadczalnym w Krynicy*, [w:] Małek S., Wężyk P., *Monitorowanie procesów zachodzących w drzewostanach bukowych, w zmieniających się warunkach środowiska przyrodniczego, na przykładzie Ojcowskiego Parku Narodowego i Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Krynicy*, Kraków-Stary Sącz, 161–178.
- Wężyk P., Guzik M., *Kartowanie w okresie zimowym terenów narciarskich w kottach Goryczkowym i Gąsienicowym z wykorzystaniem technik Globalnego Systemu Pozycjonowania (GPS)*, [w:] *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a człowiek. Współczesne przemiany środowiska przyrodniczego Tatr*, Zakopane 12–14 października (w druku).
- Wężyk P., Mansberger R., 1997, *Przykład wykorzystania orto-*

fotografii cyfrowej i systemu GIS w leśnictwie, [w:] *Nowoczesna ortofotografia i GIS dla potrzeb gospodarki terenami*, Archiwum Fotogrametrii Kartografii i Teledetekcji, 6, 133–150.

Wężyk P., Mansberger R., 1998, *Techniki fotogrametrii cyfrowej i GIS w ocenie degradacji drzewostanów świerkowych*

*w masywie Kudłonia w Gorcach*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 8, 1–10.

Wężyk P., Pyrkosz R., 1999, *Użytkowanie polan w Gorcach na przestrzeni lat 1954–1997 na podstawie fotogrametrycznego opracowania zdjęć lotniczych*, [w:] *Opracowania cyfrowe w fotogrametrii, teledetekcji i GIS*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 9, 223–232.



Dr inż. Piotr Wężyk, absolwent Wydziału Leśnego Akademii Rolniczej w Krakowie. Zatrudniony na stanowisku adiunkta w Katedrze Ekologii Lasu Wydziału Leśnego Akademii Rolniczej im. Hugona Kołłątaja w Krakowie (Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków), kieruje Laboratorium GIS i Teledetekcji (<http://argis.les.ar.krakow.pl>); e-mail: [rlwezyk@cyf-kr.edu.pl](mailto:rlwezyk@cyf-kr.edu.pl)



Mgr inż. Marcin Guzik, absolwent Wydziału Leśnego Akademii Rolniczej w Krakowie. Od grudnia 2001 pracuje w Tatrzańskim Parku Narodowym jako administrator systemu GIS. Główne zainteresowania to badanie dynamiki zmian szaty roślinnej oraz zastosowania technologii geoinformatycznych w parkach narodowych. Adres do korespondencji: Tatrzański Park Narodowy, ul. Chałubińskiego 42a 34-500 Zakopane, e-mail: [mguzik@tpn.pl](mailto:mguzik@tpn.pl)