

3. Adamowicz K. 2005 a: Próba wskazania roli zalesień w polityce agrarnej i w rozwoju obszarów wiejskich w Polsce. Rocznik Naukowy SERiA, T. VII, z.4, 9-13.
4. Adamowicz M. 2005 b: Globalizacja a proces rozwojowy rolnictwa. Rocznik Naukowy SERiA, T. VII, z.4, 14-19.
5. Baj L. 2005: Gdzie drwa rąbia..., Gazeta Wyborcza, 2005.12.27.
6. Bojarczuk T., Bugała W., Chylarecki H. 1980: Zrejonizowany dobór drzew i krzewów do uprawy w Polsce. Arboretum Kórnickie 25: 229-275.)
7. Dembek W., Grzyb M., Kloss M., Mikułowski M. 2002: Łąki i lasy w dolinach - nowe zagrożenia i szanse. Postępy Nauk Rolniczych, nr 3, 87.
8. Falkowski J. 2001: Rolnictwo polskie w Unii Europejskiej (2005-2020) scenariusz pesymistyczny - realistyczny - optymistyczny. (w:) J. Bański (red.) Wieś i rolnictwo u progu Unii Europejskiej. IGiPZ PAN, Warszawa
9. Firlej K. 2005: Analiza perspektywna sektora agrobiznesu w aspekcie rozwoju obszarów wiejskich. Rocznik Naukowy SERiA, T. VII, z.4, 177-123.
10. Fonder W. 2002: Organizacyjne i ekonomiczne aspekty zwiększania lesistości w Polsce. Postępy Nauk Rolniczych, nr 3, 41-49.
11. Graczyk A. 2004: Lasy i gospodarka leśna w strategii wzrostu gospodarczego i w rozwoju. CILP, Warszawa.
12. Grzywacz A. 2000: Las twoim bogactwem. Agencja Reklamowo-Wydawnicza A. Grzegorzczak, Warszawa, s 164.
13. Grzywacz A. 2002: Problemy zalesień w wielofunkcyjnym rozwoju obszarów wiejskich. Postępy Nauk Rolniczych, nr 3, s. 5-18.
14. Koncepcja polityki przestrzennego zagospodarowania kraju 2001: MP, nr 26, poz. 432.
15. Pudlis E. 2005: Beneficjant drugiego planu. Głos Lasu, nr 12, 22-24
16. Ochrona przyrody [www.gridw.pl/raport\\_pl/calyl/4f.htm](http://www.gridw.pl/raport_pl/calyl/4f.htm)
17. Raport o stanie lasów w Polsce 2000: 2001. CILP, Warszawa.
18. Raport o stanie lasów w Polsce 2003: 2004. CILP, Warszawa.
19. Rocznik statystyczny 2004 - Leśnictwo 2004: GUS Warszawa.
20. Rocznik statystyczny 2004 - Ochrona środowiska 2004: GUS Warszawa.
21. Rząd Premiera Kazimierza Marcinkiewicza 100 dni: 2006. Raport. Warszawa.
22. Siuta J. 2002: Ekologiczna zasadność zalesienia nieefektywnych gruntów rolnych. Postępy Nauk Rolniczych, nr 3, 75-85.
23. Tomczak F. 2002: Wieś i rolnictwo a zalesienia gruntów porolnych i nieużytków. Postępy Nauk Rolniczych, nr 3, 27-39.
24. Ustawa o lasach z dnia 28 września 1991 r. tekst jednolity. Dz. U. 91.101.444.
25. Zając S., Kwiecień R. 2002: Główne kierunki modyfikacji Krajowego programu zwiększania lesistości. Postępy Nauk Rolniczych, nr 3, 51-61.
26. Zieleń dla autostrad - Związek Szkółkarzy Polskich, [www.zszp.pl](http://www.zszp.pl)

**Tomasz Zawila-Niedźwiecki**

*Uniwersytet Nauk Stosowanych w Eberswalde*

**Paweł Strzeliński**

*AR im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu*

### Rozdział III

#### Teledetekcja w ochronie przyrody terenów leśnych

Teledetekcja jest narzędziem wykorzystującym do analiz środowiskowych zdjęcia lotnicze i satelitarne, wykonywane w zakresach słonecznego promieniowania elektromagnetycznego odbijanego od powierzchni ziemi (promieniowanie widzialne w przedziale 0,4-0,76  $\mu\text{m}$ , bliska podczerwień - 0,76-1,3  $\mu\text{m}$ , średnia podczerwień - 1,3-10,0  $\mu\text{m}$ ) oraz promieniowania emitowanego przez obiekty (jest to głównie podczerwień termalna w przedziale 10,0  $\mu\text{m}$  - 1 cm).

Wymienione wyżej przedziały promieniowania elektromagnetycznego zaliczane są do zakresów optycznych. Poza nimi teledetekcja środowiska stosuje również radarowe promieniowanie mikrofalowe (1cm - 1m).

Najpopularniejszymi materiałami teledetekcyjnymi są:

1. Zdjęcia panchromatyczne - czarno białe, rejestrujące szeroki zakres spektrum widzialnego, a często także bliską podczerwień.
2. Czarno białe zdjęcia w podczerwieni - coraz rzadziej stosowane ze względu na korzystniejszą rejestrację na filmie panchromatycznym uczulonym także na podczerwień.
3. Zdjęcia w barwach naturalnych - rejestrujące widzialny zakres spektrum elektromagnetycznego i przedstawiające obiekty w barwach rzeczywistych.
4. Barwne zdjęcia w podczerwieni (zwane też zdjęciami w barwach nierzeczywistych) - rejestrujące zakresy: zielony, niebieski i bliską podczerwień, a przedstawiające fotografowane obiekty w barwach nierzeczywistych.

Z punktu widzenia użyteczności tych materiałów w analizach dotyczących pokrywy roślinnej, najlepsze efekty uzyskuje się wykorzystując zdjęcia (tradycyjne lub cyfrowe) w barwach nierzeczywistych. Technika ta jest ciągle niedoceniana mimo wieloletnich pozytywnych doświadczeń z jej zastosowaniem. Często instytucje odpowiedzialne za zobrazowanie lotnicze przeznaczone do analiz pokrywy roślinnej, zamawiają zdjęcia w barwach naturalnych. Należy wyraźnie podkreślić, że ten typ zobrazowań jest najmniej użyteczny w analizach przyrodniczych. Został on spopularyzowany w wyniku pokrycia nimi całej Polski w ramach programu

PHARE, który dostarczył zdjęć w barwach naturalnych, w skali 1:26 000. Zarówno technika wykonania, jak i skala nie są optymalne w badaniach roślinności, ale dostępność tych bardzo tanich zdjęć spowodowała w sposób naturalny ich dosyć szerokie stosowanie przez parki narodowe i krajobrazowe oraz administrację lasów państwowych.

W przypadku analiz przyrodniczych jest to najmniej użyteczny typ danych teledetekcyjnych. Z punktu widzenia przydatności poszczególnych zobrazowań można je uszeregować następująco:

1. Barwne zdjęcia w podczerwieni (tradycyjne lub cyfrowe, które obecnie prawie wyparły te pierwsze) - niezwykle użyteczne, najlepsze w analizach szaty roślinnej.
2. Zdjęcia panchromatyczne (obejmujące bliską podczerwień).
3. Zdjęcia w barwach naturalnych - można stosować w ograniczonym zakresie i zamawiać tylko w ostateczności.

Skale zdjęć lotniczych przeznaczonych do badania roślinności to 1:6 000 - 1:12 000 w zależności od planowanego zastosowania.

Najkorzystniejszą formą przetworzenia zdjęć są ortofotomapy, czyli zobrazowania skorygowane poprzez rzut prostokątny. Zapewniają one kartometryczność, co oznacza, że ortofotomapa jest pozbawiona zniekształceń geometrycznych, co z kolei umożliwia integrację danych teledetekcyjnych z innymi materiałami obrazowymi.

Oprócz zdjęć lotniczych coraz częściej w ochronie przyrody stosowane są zdjęcia satelitarne. Zwiększająca się stale liczba satelitów środowiskowych umożliwia pozyskiwanie zobrazowań o rozdzielczości przestrzennej od 30 metrów do 60 centymetrów oraz o zróżnicowanej rozdzielczości spektralnej, poczynając od 1-zakresowych zdjęć panchromatycznych wykonywanych przez satelity EROS, po wielospektralne, rejestrujące 8 zakresów, zdjęcia wykonywane przez satelitę Landsat ETM+, czy 14-zakresowe zdjęcia Terra ASTER.

Można przytoczyć wiele przykładów mniej lub bardziej udanych zastosowań zdjęć lotniczych i satelitarnych w ochronie przyrody. Między innymi warto przywołać bazy danych utworzone dla:

- Lasów Państwowych - mapa kompleksów leśnych (Zawiła-Niedźwiecki, 1996),
- Biebrzańskiego Parku Narodowego, dotyczące ochrony i zagospodarowania przestrzennego na podstawie zdjęć w barwach naturalnych w skali 1:20 000 (Saczuk 1998),
- Kampinoskiego Parku Narodowego, wykonane na podstawie interpretacji zdjęć lotniczych z lat 1953 (panchromatyczne) i 1992 (spektrostrefowe), a obejmujące 30 arkuszy map w skali 1:10 000 (Piekarski 1994),
- nadleśnictw sudeckich oraz Karkonoskiego Parku Narodowego, teren których jest inwentaryzowany w ramach monitoringu degradacji lasu w Sudetach, obejmującego wieloterminowe (od 1975 roku do chwili obecnej) zdjęcia lotnicze (pan-

chromatyczne, spektrostrefowe i w barwach naturalnych) oraz satelitarne (Landsat MSS i TM, SPOT, ERS) służące określaniu zasięgu i rozmiaru zniszczeń w wyniku kwaśnych opadów oraz regeneracji lasu (Poławski i Zawiła-Niedźwiecki 1995, Zawiła-Niedźwiecki 1994, Zawiła-Niedźwiecki i in. 2002). Opracowywany ostatnio Plan Ochrony Parku bazował także na zdjęciach lotniczych i ortofotomapie wykonanej na ich podstawie (Strzeliński i Rączka 2005),

- Pienińskiego Parku Narodowego, w którym zobrazowania lotnicze służyły do tworzenia map stanowiących podstawę systemu informacji przestrzennej (Sokolowski 1999),
- Tatrzańskiego Parku Narodowego, będącego obiektem wielu analiz wykorzystujących teledetekcję (Bielecka i in. 1995, Drachal 2004, Federowicz-Jackowski i in. 2005, Wężyk i Guzik 2004),
- Parku Krajobrazowego Beskidu Śląskiego, na obszarze którego analizowano proces deforestacji z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych (Kozak i Troll 1994, Wiśniewski 1999),
- Kozienickiego Parku Krajobrazowego, dla którego wykorzystano zdjęcia satelitarne do określania rozkładu żeru boreczników oraz analiz krajobrazowych, a także jako podkładu kartograficznego dla systemu informacji turystycznej (Zawiła-Niedźwiecki, Wiśniewska 2004, Zawiła-Niedźwiecki i in. 2003),
- Świętokrzyskiego Parku Narodowego, Wigierskiego Parku Narodowego, Mazowieckiego Parku Krajobrazowego (analizy wieloterminowe), Zespołu Jurajskich Parków Krajobrazowych (Poławski, 2000).

Ciągle nie w pełni wykorzystywana w ochronie przyrody jest europejska baza danych (i jej pochodne), która powstała w ramach programu CORINE (Zawiła-Niedźwiecki, Strzeliński 2006). W roku 1985 ówczesna Komisja Wspólnot Europejskich utworzyła program CORINE (COoRdnation of INformation on Environment), którego celem było zbudowanie przez kraje członkowskie systemu informacji geograficznej zawierającego dane o podziale administracyjnym, sieci komunikacyjnej, hydrografii, numerycznym modelu terenu, pokryciu terenu, glebach, kondycji lasów i innych elementach wpływających na obraz stanu środowiska (Heymann, Steenmans 1993). Od roku 1991 program ten był wdrażany w Polsce.

Regulacje europejskie obligują do wykorzystywania danych CORINE Land Cover w szeroko rozumianej ochronie przyrody, a zwłaszcza przy:

- budowaniu systemu informacji geograficznej dla części siedliskowej programu NATURA 2000,
- charakteryzowaniu zlewni rzek i ocenie spływu wód powierzchniowych i substancji organicznych,

- opracowywaniu europejskiej strategii zintegrowanego zarządzania strefą wybrzeża,
- określaniu zasobów węgla gromadzonego w roślinach.

Źródłem informacji do klasyfikacji użytkowania ziemi i pokrycia terenu w ramach programu CORINE Land Cover jest wizualna interpretacja zdjęć wykonanych przez satelitę Landsat skanerem Thematic Mapper, o rozdzielczości terenowej 30x30 m (jeden piksel obrazuje powierzchnię 900 m<sup>2</sup>), doprowadzonych do postaci ortofotomap w skali 1:100 000.

Interpretację zdjęć wykonywano stosując hierarchiczną legendę zunifikowaną dla potrzeb kartowania różnych form użytkowania ziemi i pokrycia terenu na obszarze całej Europy. Legenda ta posiada 3 poziomy:

- poziom 1 - kontynentalny, zawiera 5 form użytkowania ziemi (tereny zantropogenizowane, tereny rolne, lasy i ekosystemy seminaturalne, obszary podmokłe, obszary wodne),
- poziom 2 zawiera 15 klas, uszczegóławiających formy użytkowania ziemi poziomu 1, i jest przeznaczony do prezentacji przeglądowych w skalach 1:1 000 000 i 1:500000,
- poziom 3 zawiera 44 elementy (w Polsce występuje 31 form użytkowania ziemi) i jest przeznaczony do prezentacji w skali 1:100 000.

Mapy użytkowania ziemi w skali 1:100 000, opracowane dla krajów europejskich w ramach programu CORINE na początku lat 1990. i następnie 2000. są dostępne poprzez lokalnych wykonawców i koordynatorów projektu, którymi dla Polski były: Instytut Geodezji i Kartografii w Warszawie oraz Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska.

Niższe poziomy mapy CORINE Land Cover nie są wykonywane w ramach wspólnych przedsięwzięć Unii Europejskiej, ale przeprowadzono analizy możliwości sporządzania map na poziomie 4 (skala map 1:50 000) i na poziomie 5 (1:25 000), obejmujące także opracowanie ujednoliconej terminologii (Baranowska 2002). W końcu przyjęto jednak, że szczegółowe opracowania będą miały lokalny charakter, wychodząc ze wspólnego pnia poziomu 3 (Weber J. L. 1998).

W Polsce koncepcję treści mapy użytkowania ziemi poziomu 4 (w skali 1:50000) opracował Poławski (2002 a), który zaproponował hierarchiczną strukturę legendy, przyjmując jednocześnie, że podstawą kartowania będą barwne zdjęcia lotnicze w skali 1:26 000, wykonane w ramach programu PHARE. Gronet (2002) zauważa szereg trudności w interpretacji tych zdjęć, zwłaszcza w odniesieniu do terenów leśnych i obszarów upraw mieszanych - zapewne zastosowanie barwnych zdjęć w podczernieni (ewentualnie panchromatycznych) umożliwiłoby łatwiejszą ich interpretację.

Mapy testowe wykonane według tej technologii, obrazujące kilka gmin reprezentatywnych z punktu widzenia użytkowania ziemi w Polsce, pozwoliły zweryfikować zaproponowaną legendę. Z 33 klas poziomu 3 na mapie poziomu 4 uszczegółowio-

no 26 form, co w największym stopniu dotyczyło terenów zantropogenizowanych (wzrost z 11 form wydzielanych na mapach w skali 1:100 000 do 40 na mapach w skali 1:50000), ale także lasów i ekosystemów seminaturalnych (wzrost z 6 do 16). W sumie ilość wydzielanych klas przy przejściu do poziomu 4 rosła 3-krotnie, co ma znaczenie dla dokładności inwentaryzacji przyrodniczych, ale także powoduje oczywiste problemy z kartograficzną prezentacją tak dużej ilości informacji na mapie.

Proponowana mapa w skali 1:50 000 charakteryzuje się znacznie większą precyzją sporządzania niż mapa poziomu 3. Wystarczy przypomnieć, iż mapy w skali 1:100 000 (poziom 3) są tworzone na podstawie zdjęć satelitarnych o wielkości piksela 30x30m, a minimalna wydzielana powierzchnia wynosi 25 ha, przy czym wydzielany obiekt nie może być węższy niż 100 m. Natomiast na poziomie 4 zaproponowano, że szczegółowość wydzielania elementów powierzchniowych wyniesie 1 ha, a elementów liniowych - 10 m (Poławski 2002 a).

Jak stwierdza Poławski (2002 b) mapy użytkowania ziemi znajdują zastosowanie w badaniach krajobrazowych, w których analizy obejmują zarówno inwentaryzację obiektów na danym obszarze, jak i określenie biofizycznego i funkcjonalnego wymiaru środowiska. Kombinacja tych dwóch typów jest następnie systematyzowana, klasyfikowana i analizowana. Temu właśnie mogą służyć mapy CORINE Land Cover. W praktyce mogą być one wykorzystywane zarówno do inwentaryzacji na poziomie krajobrazowym, analiz przestrzennych dotyczących jednostek funkcjonalnych lub administracyjnych, np. parków krajobrazowych, narodowych, leśnych kompleksów promocyjnych, a nawet rezerwatów przyrody (Zawiła-Niedźwiecki 1995), ale także do modelowania kartograficznego, które nabiera znaczenia dzięki coraz wydajniejszym systemom informacji geograficznej.

Ciekawe metody modelowania kartograficznego dla potrzeb planów ochrony parków krajobrazowych, z wykorzystaniem danych o pokryciu terenu, zastosowano dla Parku Krajobrazowego Orlich Gniazd (Poławski 2000). Umożliwiły one między innymi wyznaczenie stref o różnych funkcjach oraz określenie terenów konfliktowych między różnymi strefami ochrony przyrody.

W powyższych zastosowaniach teledetekcji powszechnie wykorzystuje się systemy pozycjonowania globalnego - GPS (Zawiła-Niedźwiecki, Strzeliński 2006). Obecnie znane są trzy takie systemy określania współrzędnych geograficznych za pomocą urządzeń odbierających sygnał wysyłany przez specjalistyczne satelity. Są to:

- GPS (Global Positioning System) - amerykański, w pełni operacyjny, o zasięgu globalnym, działający od 1994 (pierwszy, eksperymentalny satelita został umieszczony na orbicie w 1978 r.), a dostępny bez ograniczeń od roku 2000,
- GLONASS (Globalna Nawigacyjna Satelitarna Sistiema), którego wprowadzenie rozpoczęto jeszcze w ZSRR w roku 1982, ale do dnia dzisiejszego nie osiągnął zakładanych parametrów i nie jest w pełni operacyjny,

– Galileo - system wprowadzany przez Unię Europejską, który ma działać od 2012 roku.

W pełni operacyjnym jest obecnie jedynie amerykański system GPS. Składa się on z konstelacji 24 satelitów (plus kilka satelitów zapasowych na wypadek awarii jednego z działających), 5 terenowych stacji monitorujących oraz lokalnych odbiorników sygnału wykorzystywanych przez użytkowników systemu.

Satelity umieszczone są w takiej konfiguracji, że każdy z nich, poruszając się po stałej orbicie, przelatuje nad stacją monitorującą co 12 godzin i co najmniej 4 satelity znajdują się w zasięgu odbioru w każdym punkcie Ziemi (praktycznie w każdym punkcie Ziemi można odbierać sygnał z 5-8 satelitów). Satelity wysyłają ciągły sygnał radiowy do odbiorników naziemnych i otrzymują dane korekcyjne ze stacji monitorujących.

Dla użytkowników dostępnych jest wiele typów odbiorników, zarówno tzw. geodezyjnych, zapewniających dokładność określania 3 współrzędnych aktualnej pozycji rzędu milimetrów, jak i popularnych, których dokładność wynosi od kilku centymetrów do kilku metrów. Zaletą wielu odbiorników jest możliwość kodowania nie tylko współrzędnych, ale także opisów (atrybutów) dotyczących mierzonych obiektów oraz transmisji danych.

Dotychczasowe doświadczenia związane z wykorzystaniem systemu GPS w ochronie przyrody pokazują jego dużą użyteczność, tak w lokalizacji obiektów punktowych, jak i poligonów. Należy mieć świadomość, że pomiary współrzędnych geograficznych pod okapem drzewostanu są obciążone większym błędem niż pomiary dokonywane w terenie otwartym, co związane jest z osłabianiem sygnału satelitarne go przez korony drzew. Niemniej jednak stosując techniki pomiarów różnicowych można w pewnym zakresie podnieść dokładność takich pomiarów.

GPS jest dosyć powszechnie stosowany, jako źródło danych geodezyjnych i informacji przestrzennych. Wykonywano wiele testów i doświadczeń dotyczących zastosowania tej technologii do pomiarów obiektów przyrodniczych, a ich wyniki są dostępne zarówno w publikacjach specjalistycznych, jak i u dystrybutorów sprzętu GPS (Karaszkiwicz 1997, Wężyk 2004). Lokalizacja aktualnego miejsca z wykorzystaniem GPS wyszła już z ram wyłącznie wąskiego kręgu zastosowań w geodezji i kartografii i coraz powszechniej jest wykorzystywana w nawigacji, transporcie, edukacji ekologicznej i turystyce, czemu sprzyja rozwój mobilnych komputerów (Stankiewicz i in. 2004).

W ostatnich latach do praktyki leśnictwa i ochrony przyrody wchodzi nowe technologie teledetekcyjne, jak na przykład skanning laserowy. Lidar (Light Detection And Ranging) jest aktywnym systemem zdalnego pozyskiwania informacji, wykorzystującym skoncentrowaną wiązkę promieni świetlnych (laserowych), która

wysyłana w kierunku obiektu ulega od niego odbiciu (i rozproszeniu), a wiązka zwrotna jest rejestrowana i następnie analizowana. Analiza własności powracającej wiązki światła umożliwia charakteryzowanie obiektów, od których uległa ona odbiciu. Pomiar czasu od wysłania do powrotu promieniowania służy określeniu odległości od źródła promieniowania do obiektu.

Laser (Light Amplification by Stimulated Emissions of Radiation, czyli wzmocnienie światła przez wymuszoną emisję promieniowania), nazywany też wzmacniaczem optycznym, to urządzenie generujące lub wzmacniające spójne promieniowanie elektromagnetyczne w zakresie między ultrafioletem a podczerwienią.

Lidar, nazywany też niekiedy radarem laserowym lub optycznym, wykorzystuje promieniowanie w zakresach optycznych 5-33 kHz (najczęściej bliskiej podczerwieni), wysyłane w wiązce ciągłej lub pulsacyjnej. Dla celów środowiskowych używa się głównie laserów pulsacyjnych o częstotliwości 5000 - 15000 pulsów na sekundę. Typowy zakres skanowania obejmuje kąt 1-75°, ale najlepszym w zastosowaniach leśnych jest zakres 10-20° (by maksymalizować penetrację wiązki laserowej w głąb drzewostanu), co w zależności od wysokości lotu obejmuje pas obrazowania o szerokości 100-200 m.

Lidar lotniczy dla każdego wysłanego pulsu wiązki laserowej może rejestrować kilka (do 5) wartości promieniowania zwrotnego. Najczęściej jednak stosuje się rejestrację dwóch sygnałów zwrotnych: pierwszy odbity od pułapu koron, a drugi od wnętrza drzewostanu lub gleby. W efekcie możliwe jest uzyskanie modelu terenu oraz modelu pułapu koron, a co za tym idzie wysokości drzewostanów. Technologia ta może mieć już w najbliższej przyszłości duże znaczenie w analizach krajobrazowych.

Lidar jest także stosowany do pozyskiwania zdjęć terenowych (Strzeliński i in. 2007, Zawila-Niedźwiecki i in. 2006 i 2007). W takim przypadku stosuje się urządzenia o szerokim polu widzenia, wynoszącym horyzontalnie 360°, a wertykalnie nawet 320°. Wykonując zobrazenia z kilku miejsc zlokalizowanych na jednej powierzchni próbnej w drzewostanie, tworzy się następnie jej model przestrzenny. Na modelu takim można analizować rozmieszczenie drzew, a także dokonywać pomiarów średnicy i obwodu drzew na dowolnej wysokości, a także wysokości poszczególnych drzew. Odtwarzanie drzew na podstawie ich obrazu lidarowego pozwala na precyzyjne modelowanie kształtu i masy, a co za tym idzie szczegółowo oceniać ilość zakumulowanego węgla, co obecnie ma coraz większe znaczenie w związku z problemami ocieplania klimatu.

Przedstawione wybrane przykłady zastosowania teledetekcji pokazują, że już dzisiaj znajduje ona miejsce w inwentaryzacji i monitorowaniu lasów dla celów ochrony przyrody. Najnowsze osiągnięcia tej dynamicznie rozwijającej się dziedziny wskazują, że nowatorskie rozwiązania już wkrótce mogą zostać zastosowane w praktyce.

### Literatura

1. Baranowska T. 2002: Analiza treści map użytkowania ziemi odpowiadających czwartemu poziomowi szczegółowości mapy użytkowania ziemi w systemie CORINE (skala 1:50 000) w niektórych krajach europejskich. Prace IGiK, Seria monograficzna nr 4.
2. Bielecka E., Fedorowicz-Jackowski W., Witkowska E. 1995: Sequential monitoring of Tatra subalpine forests on the basis of cartographic and remotely sensed data; (in:) Breymeyer A. (ed.): EURO-MAB IV. Mountain zonation facing global change. Conf. Papers, 21, IgiPZ PAN Warszawa.
3. Drachal J. 2004: Polish Tatra tourist photomap at scale 1:20 000; (in:) Widacki W., Bytnerowicz A., Riebau A. (eds): A message from the Tatra - GIS and RS in Mountain Environmental Research. Jagiellonian University Press., Kraków, Poland-Riverside, California, USA.
4. Federowicz-Jackowski W., Głazek G., Januszewski J. 2005: Tatry. Atlas satelitarny. Geosystems Polska, Warszawa.
5. Gronet R. 2002: Zdjęcia lotnicze jako źródło informacji w procesie opracowywania map użytkowania ziemi i pokrycia terenu w skali 1:50 000. Prace IGiK, Seria monograficzna nr 4.
6. Heymann Y., Steenmans C., 1993: Corine land cover – Technical guide. EUR 12585 EN. Brussels, Luxemburg.
7. Karaszkiwicz W. 1997: Technologia GPS w pomiarach leśnych. XII Konferencja Katedr i Zakładów Geodezji Wydziałów Niegodezyjnych. Supraśl.
8. Kozak J., Troll M. 1994: Wykorzystanie zdjęć satelitarnych do badania deforestacji w Beskidzie Śląskim. Fotointerpretacja w Geografii nr 24.
9. Okła K., Zawila-Niedźwiecki T. 2000: Systemy informacji przestrzennej w leśnictwie i ochronie przyrody. Prace IGiK, Tom XLVII, zesz. 100.
10. Piekarski E. 1994: Zmiany środowiska przyrodniczego Kampinoskiego Parku Narodowego. Fotointerpretacja w Geografii nr 24.
11. Poławski Z.F. 2000: Metody modelowania kartograficznego i GIS w tworzeniu warstw tematycznych planów ochrony parków krajobrazowych. Prace IGiK, Tom XLVII, zesz. 100.
12. Poławski Z. F. 2002 a: Koncepcja i zakres tematyczny szczegółowej mapy użytkowania ziemi w skali 1:50 000. Prace IGiK. Seria monograficzna nr 4.
13. Poławski Z. F. 2002 b: Od mapy użycia ziemi do mapy użytkowania ziemi czwartego poziomu szczegółowości (CORINE Land Cover). Prace IGiK, Seria monograficzna nr 4.
14. Poławski Z. F., Zawila-Niedźwiecki T. 1995: System informacji przestrzennej w analizie stanu lasu Sudetów z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych, Sylwan, nr 8.
15. Sączuk J. 1998: Wykorzystanie systemu GeoSET przy opracowaniu operatu kartograficznego w ramach Planu Ochrony Biebrzańskiego Parku Narodowego. VIII Konf. Nauk.-Tech. „Systemy Informacji Przestrzennej”, Warszawa.
16. Sokołowski M. 1999: Informacja bezpośrednia nt. GIS w Pienińskim Parku Narodowym.
17. Stankiewicz K., Wiśniewska E., Zawila-Niedźwiecki T. 2004: Multimedia Geoinformation System Regeo - Basic Concepts and Current Status. Geomatics Yearbook, Warsaw.
18. Strzeliński P., Rączka G. 2005: Wykorzystanie ortofotomapy przy sporządzeniu Planu Ochrony Karkonoskiego Parku Narodowego. Acta Scientiarum Polonorum - Geodesia et Descriptio Terrarum.
19. Strzelinski P., Wencel A., Chirrek M., Zawila-Niedźwiecki T. 2007: Terrestrial laser scanning in forest ecosystem analysis. IUFRO European Congress, Warsaw.
20. Weber J.L. 1998: The problem of scale. Land cover and land use information systems for European Union policy need. Eurostat, Luxemburg.
21. Wężyk P. 2004: GPS w leśnictwie i ochronie przyrody - mity i fakty. II Krajowa Konferencja „System Informacji Przestrzennej w Lasach Państwowych”. Rogów.
22. Wężyk P., Guzik M. 2004: The use of „Photogrammetry-GIS” for the analysis of changes in the Tatra Mountains’ natural environment; (in:) Widacki W., Bytnerowicz A., Riebau A.: A message from the Tatra - GIS and RS in Mountain Environmental Research. Jagiellonian University Press. Kraków, Poland-Riverside, California, USA.
23. Widacki W. 1999: Przemiany środowiska przyrodniczego zachodniej części Beskidów pod wpływem antropopresji. Instytut Geografii UJ, Kraków.
24. Zawila-Niedźwiecki T. 1994: Ocena stanu lasu w ekosystemach zagrożonych z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych i systemu informacji przestrzennej. Prace IGiK, Tom XLI, zesz. 90.
25. Zawila-Niedźwiecki T. 1996: Ocena wybranych elementów środowiska Leśnego Kompleksu Promocyjnego „Lasy Puszczy Kozienickiej” z wykorzystaniem systemu informacji przestrzennej; (w:) Podstawy zrównoważonego rozwoju lasów - Program ochrony przyrody i wartości kulturowych w nadleśnictwie. UNEP Genewa, MOSZNiL Warszawa.
26. Zawila-Niedźwiecki T., Iracka M., Wiśniewska E. 2002: Teledetekcja jako narzędzie monitorowania lasów pozostających pod wpływem zanieczyszczeń przemysłowych; (w:) Siwecki R. (red.): Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe. Instytut Dendrologii PAN, Kórnik.

27. Zawila-Niedźwiecki T., Miścicki S., Zasada M., Wencel A. 2006: Nowe kierunki pomiaru lasu z wykorzystaniem narzędzi teledetekcyjnych. *Roczniki Geomatyki*, T. IV, z. 4:155-166
28. Zawila-Niedźwiecki T., Strzelinski P. 2006: Systemy informacji przestrzennej w ochronie przyrody; (w:) Gwiazdowicz D.J. (red.): *Gospodarka leśna a ochrona przyrody*. Polskie Towarzystwo Leśne, Poznań: 143-163.
29. Zawila-Niedźwiecki T., Strzelinski P., Wencel A., Chirrek M. 2007: Laserowy skaner naziemny w badaniach ekosystemów leśnych; w: Medyńska-Gulij B., Kaczmarek L. (red.): *Informacja geograficzna w kształtowaniu i ochronie środowiska geograficznego*. Wydawnictwo Naukowe Bogucki, Poznań (w druku).
30. Zawila-Niedźwiecki T., Wiśniewska E. 2004: Ocena zasięgu gradacji owadzich na podstawie zdjęć satelitarnych, *Sylvan*, nr 3.
31. Zawila-Niedźwiecki T., Wiśniewska E., Plutecki W., 2003: ReGeo - Multi-medialny system informacji przestrzennej dla wspomagania rozwoju obszarów wiejskich poprzez promowanie ekoturystyki; (w:) *Współczesna geodezja w rozwoju nauk technicznych, przyrodniczych i ekonomicznych*. SGGW, Warszawa.

**Bogusław Kamiński**

*AR im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu*

## **Rozdział IV**

### **Ocena przydatności geosyntetyków stosowanych w budownictwie dróg leśnych**

#### **Wstęp**

Sieć dróg leśnych jest bardzo ważnym czynnikiem warunkującym prawidłowe funkcjonowanie gospodarki leśnej. Zagęszczenie dróg leśnych w Polsce jest niskie w stosunku do krajów zachodniej Europy, jednak w odczuciu polskiej administracji leśnej umożliwia swobodny dostęp do obszarów leśnych. Największe problemy stwarza stan nawierzchni dróg leśnych. Około 80% dróg leśnych posiada nawierzchnie gruntowe, które szczególnie na słabonośnym podłożu gruntowym (gliny i grunty organiczne) w okresach większego uwilgotnienia ulegają silnym deformacjom. Te fragmenty sieci drogowej wymagają pilnej przebudowy. Tradycyjne technologie budowy nawierzchni w warunkach słabonośnego podłoża są bardzo często nieskuteczne. Stąd wprowadza się nawierzchnie wzmocnione przy pomocy geosyntetyków. W niniejszym opracowaniu podjęto próbę oceny przydatności geosyntetyków do wzmocnienia nawierzchni dróg leśnych.

#### **Zastosowanie geosyntetyków w inżynierii środowiska**

Geosyntetykami stosowanymi w praktyce inżynierskiej nazywamy szeroką gamę produktów z tworzyw sztucznych polimerycznych. W Polsce rozpoczęto stosowanie praktyczne geosyntetyków w latach 80-tych XX wieku (Maślanka 1996). Jednak dopiero w latach 90-tych ubiegłego wieku nastąpił u nas rozwój chemii polimerów i zaczęto na szeroką skalę produkcję i aplikację geosyntetyków w inżynierii środowiska (Pielichowski, Puszyński 1992). Pod koniec lat 90-tych XX wieku zastosowano geosyntetyki w drogownictwie leśnym. Wybudowano wówczas pierwsze nawierzchnie z geokraty na geowłókninie oraz nawierzchnie tłuczniowe na wzmocnionym geowłókniną podłożu gruntowym (Kamiński, Czerniak 2003, Czerniak, Kamiński 2003). Produkty geosyntetyczne wykorzystywane w leśnictwie dzielą się na przepuszczalne i nieprzepuszczalne. W drogownictwie