

Tomasz Zawila-Niedźwiecki

SYSTEM INFORMACJI PRZESTRZENNEJ I TELEDETEKCJA W GOSPODARSTWIE LEŚNYM TERENÓW GÓRSKICH

Obiektem badań przedstawionych w tej pracy były sudeckie lasy świerkowe i bukowo-świerkowe, położone w pasmach Gór Izerskich, Karkonoszy, Gór Sowich, Bystrzyckich i Stołowych. Badania finansowane przez Lasy Państwowe i Biuro Polityki Naukowej przy Premierze Królestwa Belgii prowadzono w dwóch zakresach. W pierwszym szukano relacji pomiędzy terenowymi parametrami drzewostanów, a ich charakterystykami spektralnymi, w drugim analizowano dane zlokalizowane przestrzennie.

Terenowej charakterystyki drzewostanów dokonano na podstawie instrukcji opracowanej w Instytucie Badawczym Leśnictwa (Grzyb, Dmyterko, 1991). Zgodnie z tą instrukcją w 523 drzewostanach oceniono warunki terenowe i opisywano cechy stanu drzewostanów (strukturę, skład gatunkowy, wiek, formę zmieszania, zwarcie, przeciętną pierśnicę i wysokość, wysokość posadwienia korony, jej średnicę, liczbę drzew na jednostkę powierzchni w drzewostanie głównym i podrzędnym, a w tym martwych i zamierających, defoliację, odbarwienie igieł oraz kondycję drzew).

Wyniki inwentaryzacji terenowych weryfikowano poprzez losowe sprawdzenie 10% ocen terenowych, a ponadto ocenę kondycji weryfikowano według metody opracowanej przez Zakład Urządzania Lasu IBL (Dmyterko, 1994).

Drugi zakres badań - analizy przestrzenne - dotyczył obszaru Gór Izerskich i Karkonoszy, czyli drzewostanów należących do Karkonoskiego Parku Narodowego oraz obrębów Świeradów, Szklarska Poręba, Piechowice i Śnieżka.

Dla obszaru badań zgromadzono serię zdjęć satelitarnych wykonanych przez amerykańskiego satelitę Landsat skanerem Thematic Mapper (TM) i Multi-Spectral Scanner (MSS), a także przez satelity SPOT (Francja), Kosmos (Rosja) i ERS-1 (Europejska Agencja Kosmiczna), począwszy od 1982 roku. W wyniku szczegółowych analiz stwierdzono, że z punktu widzenia oceny stanu lasów uszkodzonych najkorzystniejsze jest wykorzystanie zdjęć wykonanych przez satelitę Landsat TM, ze względu na rejestrację promieniowania elektromagnetycznego w zakresie średniej podczerwieni, w którym najwyraźniej różnicują się drzewa zdrowe i uszkodzone.

Ilość informacji zgromadzonych w ramach omawianego projektu wymagała zastosowania sprawnego narzędzia analizowania danych. Dlatego też podjęto prace nad systemem informacji przestrzennej dla obszaru badań. System informacji przestrzennej Sudetów umożliwił sporządzanie map obrazowych oraz dokonywanie analiz przestrzennych, uwzględniających wieloźródłowe i wieloterminowe dane o stanie lasu, w tym dane otrzymane w wyniku analizy zdjęć satelitarnych.

Do bazy danych tego systemu wprowadzono wymienione niżej informacje, tworząc warstwy informacyjne:

1. Do bazy danych przestrzennych wprowadzono: numeryczny model terenu (NMT), strefy stanu sanitarnego lasu otrzymane z barwnych zdjęć lotniczych w podczerwieni, hydrografię, sieć transportową, granice jednostek administracyjnych lasów państwowych, linie oddziałowe i drzewostanowe oraz wyniki interpretacji i klasyfikacji zdjęć satelitarnych.
2. Do bazy danych opisowych: dane inwentaryzacyjne i monitoringowe z zasobów BULiGL oraz IGIK-OPOLIS.

System informacji przestrzennej Sudetów Zachodnich wykorzystano do analiz zdjęć satelitarnych. Charakterystyki spektralne lasów na powierzchniach testowych rejestrowane w 7 kanałach zdjęcia TM, porównano z terenowymi parametrami drzewostanów. Istotne zależności stwierdzono tylko ze wskaźnikami defoliacji (Df), odbarwienia (Dc), kondycji (Dm) oraz wiekiem drzewostanów - współczynnik korelacji przekracza 0,9 (Zawila-Niedźwiecki i in., 1992).

W wyniku przeprowadzenia tych analiz stwierdzono, że spośród trzech parametrów kondycji lasu (Df, Dc, Dm), wskaźniki Df i Dm wydają się być najbardziej użytecznymi do oceny jego kondycji z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych. Zwłaszcza wskaźnik Dm (Dmyterko i Grzyb, 1990) jest silnie skorelowany z charakterystykami spektralnymi, otrzymanymi z danych satelitarnych TM. Natomiast odbarwienie igieł, podobnie jak ma to miejsce w inwentaryzacjach przeprowadzonych na podstawie wytycznych ICP-Forest, należy traktować jedynie jako informację uzupełniającą.

Oprócz analiz statystycznych, mających na celu znalezienie relacji pomiędzy parametrami terenowymi drzewostanów, a ich charakterystykami spektralnymi otrzymanymi ze zdjęć TM, wykonywano klasyfikacje nadzorowane zdjęć satelitarnych, pozyskanych w latach 1984 i 1990, a także interpretacje wizualne.

Interpretacja wizualna zdjęć daje dobre rezultaty w przypadku małych obszarów oraz niewielkiej ilości danych referencyjnych. Natomiast w przypadku, gdy trzeba korzystać z danych zbieranych na wielu poziomach oraz gdy należy dowiadywać wyniki klasyfikacji zdjęć satelitarnych do innych danych, koniecznym staje się stosowanie klasyfikacji cyfrowych. Atutem tych klasyfikacji jest łatwość analiz dotyczących dużych obszarów leśnych oraz możliwość integracji uzyskanych w ten sposób informacji z już istniejącymi obiektowymi i atrybutowymi bazami danych. Minusem klasyfikacji cyfrowych, w porównaniu do interpretacji wizualnych, jest mniejsza precyzja analizy treści zdjęcia.

W procesie klasyfikacji nadzorowanej zdjęcia satelitarnego wykonanego skanerem TM, obejmującego Karkonosze i Góry Izerskie, do wyboru pól treningowych wykorzystano zdjęcia lotnicze, mapy oraz wyniki inwentaryzacji terenowych. Dobór i szczegółowa charakterystyka powierzchni testowych sprawiły, że w rezultacie klasyfikacji tych zdjęć wyróżniono drzewostany świerkowe osłabione, drzewostany świerkowe silnie osłabione oraz drzewostany zamierające i martwe, a także stare i nowe zręby, odnowienia i zalesienia oraz drzewostany liściaste i mieszane.

W przypadku zdjęć wykonanych skanerem TM w latach 1984 i 1990 zastosowano tę samą metodę klasyfikacji. Jej wynikiem są mapy w skali 1:50000. Ponieważ układ odniesień przestrzennych obu map jest identyczny, stosunkowo prosto można było dokonać ich porównania i prześledzenia zmian, jakie zaszły w analizowanych drzewostanach w okresie 6 lat od 1984 do 1990 r. Szczególnie wymowne jest porównanie zasięgu wylesień i prześledzenie ich rozprzestrzeniania się.

Mapy otrzymane w wyniku tych klasyfikacji pozwalają na sformułowanie ogólnych wniosków dotyczących stanu lasu oraz na prześledzenie zmian, jakie zaszły na analizowanym obszarze. Porównanie map poklasyfikacyjnych prowadzi do stwierdzenia, że w przeciągu 6 lat, od 1984 do 1990, na obszarze 32000 ha Sudetów Zachodnich nastąpiło (Zawiła-Niedźwiecki, 1994):

- zwiększenie obszaru drzewostanów osłabionych przy ogólnym zmniejszeniu się powierzchni zajmowanej przez drzewostany starszych klas wieku (o blisko 30%),

- zmniejszenie się powierzchni zajmowanej przez drzewostany martwe i zamierające z około 15% do około 5% analizowanego obszaru,

- wzrost powierzchni wylesień (z 8% do 15% analizowanego obszaru), z tym że w przeciągu 6 lat nastąpiło zmniejszenie obszarów wylesień z odkrytą glebą na rzecz wylesień z pokrywą roślinną,

- wzrost obszaru zajmowanego przez klasę "inne", co jest wynikiem odsłonięcia skał, które uprzednio były zasłonięte pułapem koron, jak również budową nowych dróg, mających ułatwić zagospodarowanie lasu.

Wyniki otrzymane z analizy wieloterminowych zdjęć satelitarnych świadczą o tym, że pomimo zmniejszenia tempa, degradacja lasów sudeckich ciągle postępuje. Jednakże trzeba odnotować znacznie efektywniejszą działalność służby leśnej niż miało to miejsce w pierwszej połowie lat osiemdziesiątych, o czym świadczy zmniejszenie arealu zajmowanego przez drzewostany zamierające i martwe oraz wylesień z odkrytą glebą.

Podsumowując wyniki analiz zdjęć satelitarnych obrazujących obszar Sudetów, wykonanych w optycznych przedziałach spektrum należy stwierdzić, że zdjęcia wykonywane przez satelity Landsat skanerem Thematic Mapper najlepiej nadają się do określania stanu lasu w ekosystemach zagrożonych, pozwalając na wydzielenie trzech klas kondycji drzewostanów świerkowych oraz sześciu innych klas opisujących stan lasu.

Warunki atmosferyczne, a szczególnie długie okresy zachmurzenia i poranne mgły, często uniemożliwiają pozyskiwanie zdjęć obrazujących analizowany fragment Sudetów. Dlatego też sięgnięto po zdjęcia mikrofalowe wykonywane przez satelitę ERS-1. Głównym atutem tych zdjęć, wykonywanych radarem SAR, jest możliwość ich pozyskiwania niezależnie od warunków pogodowych.

Analizy zdjęć wykonanych przez satelitę ERS-1 przeprowadzono w odniesieniu do zdjęć satelitarnych Landsat TM oraz do terenowych parametrów drzewostanów (Zawiła-Niedźwiecki i in., 1994). Zbadano relacje wskaźnika odbicia wstecznego, rejestrowanego przez satelitę ERS-1 do poszczególnych zakresów spektralnych rejestrowanych przez skaner TM, a ponadto w przypadku analiz dotyczących cech drzewostanów szukano związków pomiędzy tymi cechami, a kanałami wagowanymi TM 5/4, TM 4/3, wskaźnikiem roślinności (NDVI), wskaźnikiem jasności (BR) oraz składowymi głównymi (principal components: PC 1, 2 i 3).

Porównanie zdjęć wykonanych przez satelity Landsat TM i ERS-1 wskazuje na niską korelację pomiędzy nimi. Współczynniki korelacji uzyskane tylko dla obszaru leśnego są niższe niż dla całej sceny i nawet w najlepszym przypadku nie przekraczają wartości 0,1.

Analiza wyników odnoszących się do wszystkich drzewostanów wykazuje, że najwyższy współczynnik korelacji charakteryzuje związek wskaźnika promieniowania zarejestrowanego w kanale TM 6, ale wartość ta jest i tak niewielka (0,17). Sytuacja nieco się poprawia przy ograniczeniu badanej populacji tylko do drzewostanów świerkowych. W takim przypadku następuje wzrost współczynników korelacji odnoszących się do widzialnych zakresów widma, TM 7, PC i wagań TM 5/4, TM 4/3

oraz NDVI i BR, ale ciągle jeszcze związki pomiędzy danymi ERS-1 i TM nie są silne (w najlepszym przypadku osiągają wartość $r=0,3$). Jak z tego widać nie istnieje istotna relacja pomiędzy danymi zapisanymi na zdjęciach radarowych i optycznych. Ten wniosek może świadczyć o tym, że zastosowanie zdjęć SAR.ERS-1 wzbogaci informacje, jakich dostarczają zdjęcia wykonane w optycznym zakresie widma, gdyż niska korelacja dowodzi, że oba typy zobrazowań zawierają inne zakresy informacji o środowisku.

Kolejnym krokiem w analizie zdjęć wykonanych przez satelitę ERS-1, a obrazujących tereny Sudetów było poszukiwanie relacji pomiędzy wskaźnikiem odbicia wstecznego, a parametrami drzewostanów. Najlepsze wyniki osiągnięto dla wystaw NE, E i SE, a więc stoków bezpośrednio oświetlonych wiązką radarową. Najwyższe współczynniki korelacji stwierdzono w przypadku średnicy koron drzew i pierśnicy ($r=0,76$), wysokości drzew (0,72), wieku (0,61) i długości koron (0,54), a więc cech decydujących o "szorstkości" powierzchni koron, która wpływa na wartość współczynnika wstecznego odbicia. Warto też odnotować wzrost siły związku współczynnika wstecznego odbicia ze wzrostem nachylenia stoku, co świadczy o tym, że wartość natężenia odbitego promieniowania zależy od kąta padania promieniowania radarowego.

Analiza korelacji wielu zmiennych doprowadziła do wniosku, że zmienność współczynnika odbicia wstecznego może być wyjaśniona zmiennością: wieku drzewostanów, pierśnic, średnic koron drzew, liczby drzew na jednostkę powierzchni, liczby drzew martwych w drzewostanie głównym oraz kondycji drzew.

Część prac analitycznych na zdjęciach mikrofalowych z obszaru Sudetów polegała na wizualnej interpretacji i porównywaniu wyników z mapami drzewostanowymi i zdjęciami lotniczymi. Podczas wizualnej interpretacji mikrofalowych zdjęć satelitarnych stwierdzono, że plamistość, charakteryzująca zdjęcia radarowe (zwana "efektem soli i pieprzu") oraz mały zakres zróżnicowania promieniowania mikrofalowego bardzo utrudnia analizę pojedynczych zdjęć. Dlatego analizie wizualnej poddano kompozycje barwne, utworzone ze zdjęć wykonanych w różnych terminach. Taka kompozycja dostarcza wielu interesujących informacji niemożliwych do wydobycia z pojedynczych zdjęć. W przypadku obszaru Sudetów, w celu sporządzenia kompozycji barwnej wykorzystano zdjęcia wykonane 24 października 1992, 3 grudnia 1992 oraz 6 kwietnia 1993 r., naświetlając je odpowiednio barwami: zieloną, niebieską i czerwoną. Dzięki temu lasy zostały odwzorowane w różnych odcieniach zieleni, co ułatwiło interpretację.

Nierównomierna pokrywa śniegu zobrazowana na zdjęciu grudniowym utrudniła rozpoznanie poszczególnych obiektów. Utrudnienie to nie występuje w przypadku interpretacji kompozycji barwnej. Wręcz przeciwnie, obraz śniegu na jednym ze zdjęć zwiększył czytelność różnych obiektów, na kompozycji barwnej.

Poszczególne elementy kompozycji powinny więc zawierać jak najwięcej uzupełniających się informacji, a zatem powinny maksymalnie różnić się między sobą. To właśnie miało miejsce w omawianym przypadku, gdy w skład kompozycji barwnej weszły trzy zdjęcia ERS-1, wykonane w różnych porach roku (wczesna jesień, zima i wiosna). Wyniki analiz wykazują, że na zdjęciach ERS-1 można wydzielić drzewostany starszych klas wieku, młodniki oraz zręby i wylesienia, a także silne rozluźnienia zwarcia. Wyraźnie widoczna jest granica polno-leśna. Natomiast nie udaje się stratyfikować drzewostanów o różnym składzie gatunkowym. Ponadto interpretacja piętra kosówki, muraw wysokogórskich i nagich skał, w związku z ukształtowaniem terenu i silnym echem radarowym od skał i kosodrzewiny, nastęrcza wiele trudności i

niejednokrotnie wręcz uniemożliwia rozróżnienie tych obiektów. Na obszarze płaskim trudności te nie występują i tutaj interpretacja kompozycji barwnej jest stosunkowo łatwa.

Wartości odpowiedzi spektralnych analizowanych obiektów na zdjęciach SAR, praktycznie uniemożliwiają rozróżnienie składu gatunkowego drzewostanów. Takie rozróżnienie jest możliwe jedynie w przypadku drzew liściastych i iglastych, przy wykorzystaniu kompozycji barwnej utworzonej ze zdjęć wykonanych w okresach ulistnienia drzew i braku liści. Natomiast istnieje możliwość wydzielenia na zdjęciach SAR młodników oraz zrębów i wylesień. Ich rozróżnienie na pojedynczych zdjęciach może być często utrudnione, ale na kompozycji barwnej sporządzonej ze zdjęć wieloterminowych nie powinno nastęrczać większych kłopotów.

Należy podkreślić, że bezpośrednia analiza zdjęcia ERS-1 z obszaru górskiego, bez pomocy NMT, jest niezwykle trudna i wymaga dobrej znajomości obiektu badań. Dystorsja obrazu oraz cień stanowią dużą przeszkodę w interpretacji zdjęcia i znacznie utrudniają wykonywanie klasyfikacji cyfrowych. Podczas interpretacji stwierdzono użyteczność filtracji niskich częstotliwości przestrzennych oraz segmentacji obrazu, dzięki którym następuje zredukowanie plamistości i wypuklenie wielu elementów terenowych.

Analizy danych zgromadzonych w opracowanym systemie informacji przestrzennej pozwoliły określić przestrzenny rozkład różnych klas wydzielonych w lasach Sudetów Zachodnich oraz na podstawie zdjęć satelitarnych prześledzić zmienność stanu lasu w latach 1984-1990. Umożliwiło to wydzielenie na obszarze 32 000 ha w Górach Izerskich i Karkonoszach, trzech regionów, które charakteryzują się różnym stopniem degradacji lasu. Są to:

- obszar zachodni pokrywający wschodnią część obrębu Świeradów, obręb Szklarska Poręba i północny kompleks obrębu Piechowice (18630 ha),
- obszar południowy obejmujący całość Karkonoskiego Parku Narodowego (5557 ha),
- obszar centralny obejmujący obręb Śnieżka i południowy kompleks obrębu Piechowice (7813 ha).

Obszar zachodni charakteryzuje się największymi zmianami. Las został wyparty z części grzbietowych, a poza tym można zaobserwować zmiany o względnie równomiernym natężeniu na stokach o różnych ekspozycjach. W 1984 r. tereny dotknięte zmianami w szacie leśnej zajmowały ok. 34% powierzchni omawianego obszaru, a na wylesienia przypadło 26%, rozluźnienie zwarcia - 2%, a martwy las - 6%. Obszary martwego lasu znajdowały się w zdecydowanej większości w pasmach Wysoki Grzbiet i Kamienicki Grzbiet.

Obszar południowy odznacza się podobnym natężeniem zmian obejmującym 28% powierzchni leśnej. Wylesienia zajmują 12% powierzchni, martwy las - 3%, a rozluźnione zwarcie - 12%.

Obszar centralny porastają lasy o najlepszej kondycji w odniesieniu do omawianych wyżej. Sporadycznie występuje tutaj rozluźnienie zwarcia (1% powierzchni obszaru), a wylesienia zajmujące 10% powierzchni zgrupowane są we wschodniej części analizowanego obszaru.

Analiza kondycji drzewostanów w poszczególnych jednostkach administracji lasów państwowych wykazuje ponadto, że największy udział drzewostanów obumierających ma Karkonoski Park Narodowy (7% powierzchni), natomiast sporadycznie tylko występują one w obrębie Śnieżka. Drzewostany silnie osłabione występują na stosunkowo dużym obszarze (ok. 35% powierzchni obrębu Szklarska Poręba, 22% powierzchni Karkonoskiego Parku Narodowego i obrębu Świeradów oraz 10-13% obszaru obrębów

Piechowice i Śnieżka. Natomiast drzewostany o najlepszej kondycji znajdują się w obrębach Śnieżka i Piechowice (po ok. 60% powierzchni).

Szereg analiz przestrzennych przeprowadzono dzięki numerycznemu modelowi terenu. NMT był między innymi pomocny do analizy zmienności parametrów drzewostanów w funkcji wysokości nad poziomem morza (Glasenapp, 1994). Wyniki analiz wykazują, że niektóre cechy drzew, takie jak: wysokość i wysokość posadowienia korony są wyraźnie związane z wysokością npm. Wzrost wysokości npm pociąga za sobą spadek wysokości drzew i wysokości posadowienia korony. Silniejszy związek pomiędzy tymi elementami zaobserwowano w drzewostanach Gór Izerskich i Karkonoszy, niż Gór Sowich i Bystrzyckich, co może być wynikiem nie tylko wysokiego stopnia degradacji lasu, ale także większego gradientu wysokości.

W przypadku analizy wskaźników kondycji lasu można zauważyć, że w Górach Sowich i Bystrzyckich istnieje silniejsza skłonność korelacyjna pomiędzy wysokością npm, a uszkodzeniami drzewostanów, defoliacją oraz ilością złomów i wywrotów. Może to być sygnałem, że procesy degradacyjne lasu obejmują wschód polskiej części Sudetów.

Odnośnie do takich parametrów, jak: odbarwienie igieł, pierśnica, ilość drzew martwych i obumierających drzewostanu głównego oraz podrzędnego, ich związek z wysokością npm jest silniejszy na terenie Gór Izerskich i Karkonoszy, niż w Górach Sowich i Bystrzyckich (Zawila-Niedźwiecki i Glasenapp, 1994).

Wykorzystanie numerycznego modelu terenu umożliwiło stwierdzenie, że zagrożenie wylesieniami w paśmie Gór Izerskich występowało już od 600 m npm, a od 750 m npm wylesienia były masowe. W paśmie Karkonoszy dolna granica zmian świadczących o degradacji lasu występowała wzdłuż warstwy 1000 m, chociaż i niżej, lecz w mniejszym natężeniu spotykało się wylesienia i przerzedzenia drzewostanów.

Wykorzystując informacje zgromadzone w SIP podjęto także próbę określenia strat masy drzewnej spowodowanych procesami degradacyjnymi na obszarze badań (Ciołkoś i Zawila-Niedźwiecki, 1990). Klasom kondycji drzewostanów świerkowych, wyróżnionym na zdjęciu satelitarnym przypisano określoną doświadczalnie procentową stratę przyrostu drewna (Trampler, 1987).

Gdy weźmie się pod uwagę straty spowodowane przedwczesnym wyrębem, dokonywanym wskutek zabiegów ratowniczych w lasach, straty roczne na obszarze Gór Izerskich i Karkonoszy (ok. 32000 ha) można szacować na 45000 m³, co daje średnio 1,4 m³/ha/rok, przy średniej krajowej dla drzewostanów pod wpływem oddziaływania emisji SO₂ wynoszącej 0,6 m³/ha/rok. Dane te należy traktować jako orientacyjne, gdyż nie brano tu pod uwagę warunków bytowania poszczególnych drzewostanów, a jedynie średnie dla klas wydzielonych na zdjęciach satelitarnych.

Podsumowując wyniki przeprowadzonych badań można stwierdzić, że zdjęcia wykonywane przez satelitę Landsat TM mogą być wykorzystywane jako źródło informacji o stanie lasów górskich podlegających procesom degradacyjnym. Natomiast zdjęcia wykonywane przez satelitę ERS-1 dostarczają jedynie informacji uzupełniających w stosunku do TM.

Wyniki analiz przeprowadzonych dzięki systemowi informacji przestrzennej Sudetów Zachodnich wskazuje, że o pełnej użyteczności zdjęć satelitarnych może być mowa dopiero wtedy, gdy analizuje się je w powiązaniu z innymi informacjami zgromadzonymi w obiektowych i opisowych bazach danych. SIP umożliwia efektywne wykorzystanie wieloźródłowych informacji, których analiza metodami tradycyjnymi byłaby niezwykle pracochłonna, a niekiedy wręcz niemożliwa.

LITERATURA:

CIOŁKOSZ A., ZAWIŁA-NIEDŹWIECKI T., 1990: Remotely sensed data and limitation of forest productivity in Poland. *Nature & Resources*. Vol. 26. No. 1: 41-44.

DMYTERKO E., GRZYB M., 1990: Projekt instrukcji wyznaczania stref szkód ekologicznych w środowisku leśnym na podstawie oceny uszkodzenia drzewostanów świerkowych. Instytut Badawczy Leśnictwa. Warszawa.

DMYTERKO E., 1994: Metoda drzewostanowa w ocenie uszkodzenia lasu. III Krajowe Sympozjum "Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe". Poznań-Kórnik, 23-26.05.1994.

GLASENAPP E., 1994: Analiza danych inwentaryzacyjnych z obszaru Sudetów Zachodnich. Maszynopis IGiK-OPOLIS.

GRZYB M., DMYTERKO E., 1991: Instrukcja zbierania informacji z powierzchni testowych do realizacji tematu badawczego "Ocena stanu lasu w ekosystemach zagrożonych z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych". IBL. Warszawa.

TRAMPLER T., 1987: Straty w gospodarstwie leśnym na skutek szkodliwego oddziaływania różnych czynników: w: Narodowy Program Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej do 2010 roku. Problem 5 - Ochrona Przyrody. Część III. Tom 1: 69-72.

ZAWIŁA-NIEDŹWIECKI T., 1994: Ocena stanu lasu w ekosystemach zagrożonych z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych i systemu informacji przestrzennej. *Prace IGiK*. Tom XLI, zesz. 90, 84 str.

ZAWIŁA-NIEDŹWIECKI T., BOCHENEK Z., STRZELECKI P., 1994: Wykorzystanie zdjęć satelitarnych ERS-1 w inwentaryzacji szkód leśnych. *Prace IGiK*. Tom XLI, zesz. 89: 1-15.

ZAWIŁA-NIEDŹWIECKI T., GLASENAPP E., 1994: Wykorzystanie numerycznego modelu terenu w ocenie stanu lasów górskich; w: *Numeryczny model terenu i jego wykorzystanie*. Katedra Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej SGGW: 121-129.

ZAWIŁA-NIEDŹWIECKI T., MIERZWINSKI G., STRZELECKI P., 1992: Wykorzystanie zintegrowanych danych terenowych i teledetekcyjnych w monitorowaniu lasu; w: *Metody oceny stanu lasu - stan aktualny i kierunki ich doskonalenia*. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa-Seria B*. Nr 18: 79-88.

[Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]