

Ryszard GRONET

Instytut Geodezji i Kartografii

Ośrodek Przetwarzania Obrazów

Lotniczych i Satelitarnych

Warszawa

MATERIAŁY TELEDETEKCYJNE I ICH ROLA W BADANIACH ŚRODOWISKA PRZYRODNICZEGO

Streszczenie. Artykuł zawiera syntetyczny przegląd systemów zbierania informacji o powierzchni Ziemi tak z pułapu satelitarnego, jak i lotniczego.

W kontekście tych informacji zostały przedstawione przykłady zastosowań materiałów satelitarnych i lotniczych w badaniach środowiska przyrodniczego, ze szczególnym wyeksponowaniem tych zastosowań dla obszaru GOP. Przytoczone przykłady dotyczą możliwości wykonywania prac powtarzalnych obejmujących zjawiska o dużym zagrożeniu ekologicznym.

Materiały teledetekcyjne to przede wszystkim zdjęcia i obrazy pozyskiwane z pułapu lotniczego i satelitarnego. Podczas gdy materiały lotnicze kojarzą się w powszechnym odczuciu z szerszymi, wielokrotnie potwierdzonymi i utrwalonymi w świadomości możliwościami ich zastosowań, to w odniesieniu do materiałów satelitarnych istnieje szereg sprzecznych informacji dotyczących ich wykorzystania. W obiegowym przekonaniu uważa się, że materiały te mogą być powszechnie wykorzystywane przynosząc wyjaśnienie wielu problemów, trudnych do rozwiązania przy użyciu dotychczasowych metod badawczych. Mniej się mówi natomiast o ograniczeniach, na jakie napotykają użytkownicy tych materiałów oraz jaki istnieje rzeczywiście realny zakres ich wykorzystania. Z tego też względu zadaniem niniejszego, krótkiego rysu informacyjnego jest przybliżenie problematyki wykorzystania materiałów lotniczych i satelitarnych w badaniach środowiska przyrodniczego na przykładzie prac wykonywanych w Instytucie Geodezji i Kartografii.

1. WYKORZYSTANIE MATERIAŁÓW SATELITARNYCH W BADANIACH ŚRODOWISKA

Zasadniczą cechą teledetekcyjnych metod pozyskiwania informacji o powierzchni Ziemi tak z pułapu lotniczego, jak satelitarnego jest obiektywna rejestracja chwilowego stanu środowiska na zaznaczonym obszarze. Już pierwsze badania materiałów satelitarnych przyniosły ciekawe spostrzeżenia odnośnie do rozprzestrzeniania się i zasięgu zanieczyszczeń pyłowych zwłaszcza smug kominowych emitowanych z dużych zakładów przemysłowych i energetycznych.

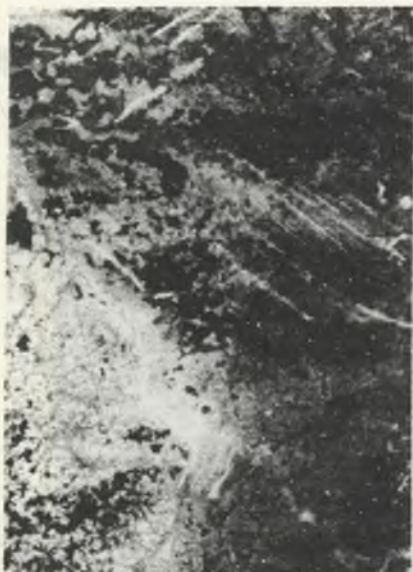
Obrazy z LANDSATA są przydatne do analizowania smug kominowych o szerokości przynajmniej kilkudziesięciu metrów. Mogą to być smugi z pojedynczych emitorów lub będące sumą emisji kilku źródeł. Zdjęcia wykonane ze stacji Salut-6 pozwalają na rozszerzenie badań na smugi o szerokości nawet poniżej 20 m.

Możliwość obserwacji zanieczyszczeń pyłowych zależy nie tylko od wielkości emisji, ale także od warunków atmosferycznych, tj.: prędkości wiatru, wysokości inwersyjnej, stopnia turbulencji atmosfery, zachmurzenia oraz od charakteru powierzchni Ziemi, która jest tłem dla dymu. Istotną rolę odgrywa również kąt i kierunek padania promieni słonecznych, które oświetlając smugę zanieczyszczeń powodują powstanie jej cienia na powierzchni Ziemi. Poprzez analizę cienia, przy znajomości kąta padania i azymutu promieni słonecznych, można uzyskać informację o wysokości wyniesienia smugi w różnej odległości od źródła emisji.

W przypadku zdjęć pochodzących ze stacji załogowej SALUT, wykonanych kamerą fotogrametryczną z zachowaniem pokrycia stereoskopowego możliwe jest stworzenie modelu przestrzennego obserwowanych smug oraz pomiaru wysokości wyniesienia i parametrów geometrycznych smugi.

Mała skala obrazów satelitarnych sprawia, że na jednym zdjęciu rejestrowane jest położenie całej smugi zanieczyszczeń. Nierzadko zasięg smug zanieczyszczeń pyłowych rejestrowany jest na odległości do 50 km jak to ma miejsce w przypadku zakładów przemysłowych Śląska lub też 60 km dla Huty im. Lenina, bądź też prawie 130 km w odniesieniu do Zakładów Chemicznych w Oświęcimiu.

W czasie występowania inwersji, gdy jedynym mechanizmem transportu jest zjawisko turbulencji nad obszarami dużego skupienia przemysłu (Śląsk), ma miejsce kumulacja zanieczyszczeń w dolnych warstwach atmosfery. Tworzą się wtedy charakterystyczne "czapy" zanieczyszczonego powietrza, co np. zostało zarejestrowane na jednym ze zdjęć LANDSATA.



Rys. 1. Rejestracja smug emisji kominowych na zdjęciu satelitarnym. W centralnej części zdjęcia - smugi pochodzące z zakładów Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego, w dolnej części zdjęcia z Zagłębia Ostrawsko-Karwińskiego

Fig. 1. Chimney smoke trails record on a satellite photorgaph. In the central area of photograph - trails from plants belonging to the Upper-Silesian Industrial Region, in the lower area - from the Ostrava-Karvina Region.

Zdjęcia satelitarne wykonane zimą mogą posłużyć do obserwacji opadu pyłu w postaci zanieczyszczenia białej powierzchni śniegu. Poprzez analizę stopnia zanieczyszczenia i określania względnych zmian wielkości opadu pyłu, dzięki uzupełniającym danym, jakimi są wyniki pomiarów naziemnych, wyróżnionym obszarom zostają przyporządkowane konkretne wartości liczbowe.

Tak więc zdjęcia satelitarne stanowią materiał, mogący doskonale służyć weryfikacji wiedzy teoretycznej poprzez konfrontację modelu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń pyłowych z rzeczywistym obrazem ich rozkładu z uwzględnieniem wpływu warunków meteorologicznych i orograficznych.

Poza możliwościami, jakie dają materiały satelitarne przy badaniu rozprzestrzeniania się smug emisji kominowych z dużych obiektów przemysłowych, nie mniej istotne jest ich wykorzystanie do sporządzania map stanu środowiska (map sozologicznych).



Rys. 2. Opad pyłu tworzący wyraźne zaczerwienie na powierzchni śniegu w rej. El. Turoszów rejestrowany na zdjęciu satelitarnym

Fig. 2. Dust fall-out next to Turoszów power plant clearly seen as a shadow on the snow surface

Jeśli przydatność materiałów pochodzących z pierwszych generacji satelitów teledetekcyjnych była dość ograniczona ze względu na stosunkowo małą rozdzielczość rzędu 80 m, to rozdzielczość najnowszej generacji satelitów w granicach 30 m (Thematic Mapper) oraz 20 m (SPOT) daje realne możliwości stosowania tych materiałów do analizy zmian zachodzących w środowisku rejonów poddanych silnym przeobrażeniom antropogenicznym, do których w pierwszej kolejności należy zaliczyć Górnośląski Okręg Przemysłowy.

Materiały pochodzące z satelitów pierwszych generacji wykorzystano do opracowania mapy użytkownika Ziemi w skali 1:500000, obejmującej obszar całej Polski. Prace związane z wykonaniem mapy oparto na metodach analogowych interpretacji zdjęć satelitarnych. Wykorzystywano do tego celu barwne odbitki papierowe w skali 1:250000, odpowiadające jednej scenie zobrazowania landsatowskiego o wymiarach 185 × 185 km.



Rys. 3. Fragment przeglądowej mapy użytkowania Ziemi obejmujący rejon GOP, skala 1:500000. Oryginał jest wykonany w wersji barwnej

Fig. 3. Part of the survey map of land use in scale of 1:500000 showing the Upper-Silesian Industrial Region; the original is a colour photograph

Materiały te posłużyły również do sporządzania mapy obszarów zdegradowanych, znajdujących się w sąsiedztwie dużych obiektów przemysłowych, przy zastosowaniu analogowych metod interpretacji.

Podjęte próby oceny stanu zagrożenia przemysłowego lasów znajdujących się na obszarze Śląska na podstawie analizy zdjęć satelitarnych pochodzących ze stacji SALUT-6 przyniosły w efekcie wydzielenie drzewostanów znajdujących się w III strefie uszkodzeń. Nie jest to niestety materiał satysfakcjonujący, ze względu na zbyt drobną skalę 1:500000, lecz może dać jedynie ogólną orientację odnośnie do występującego zjawiska.

Powyższe ograniczenia szczegółowości uzyskiwanych informacji spowodowane zbyt małą rozdzielczością w mniejszym stopniu dotyczą najnowszych materiałów satelitarnych. Prowadzone badania obejmujące stan środowiska leśnego w rejonie Sudetów z wykorzystaniem wysokorozdzielczych zdjęć satelitarnych z Thematic Mappera dały bardzo ciekawe wyniki tak od strony zakresu tematycznego, jak również wiarygodności uzyskanych informacji. W pracy zostały szeroko wykorzystane metody numeryczne analizy i klasyfikacji materiałów zawartych na taśmach magnetycznych. Poza wydzieleniem rodzajów drzewostanu, materiały poklasyfikacyjne zawierają dane odnośnie do stanu zdrowotnego lasów, istniejących wylesień, a także terenów zabudowanych i gruntów ornych. Badania w tym kierunku są nadal prowadzone i zmierzają do

opracowania systemu monitorowania zmian zachodzących w drzewostanach poddanych degradacyjnemu działaniu głównie powietrza atmosferycznego zanieczyszczonego emisjami przemysłowymi.

Szersze wykorzystanie zdjęć satelitarnych, dla których barierą jest jeszcze zbyt mała rozdzielczość oraz duże koszty zakupu, nie wyczerpuje możliwości stosowania materiałów teledetekcyjnych w badaniach środowiska. Większe bowiem nadal możliwości dają materiały teledetekcyjne pozyskane z pułapu lotniczego.

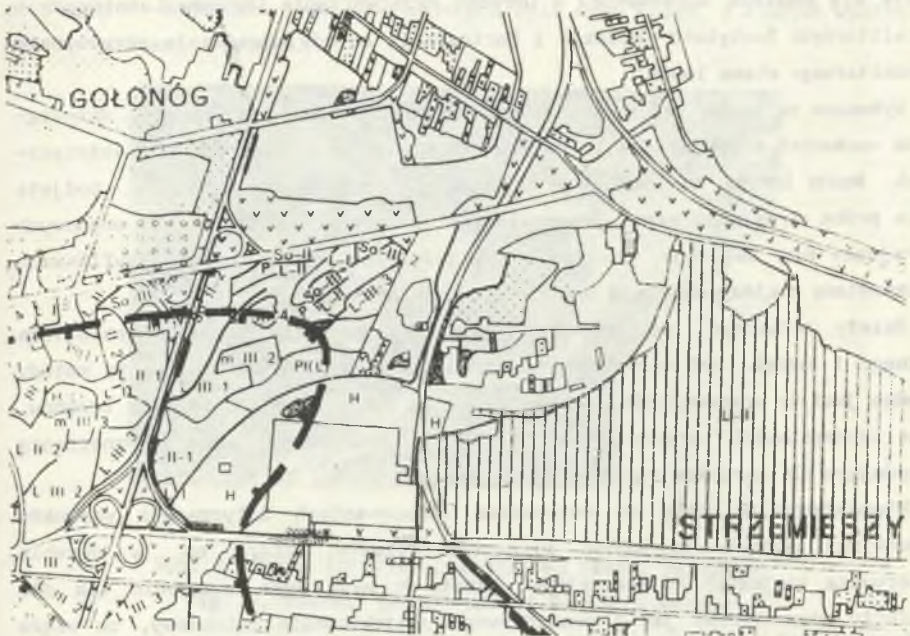
2. ZDJĘCIA LOTNICZE I ICH WYKORZYSTANIE

Powszechnym i najbardziej dostępnym materiałem teledetekcyjnym otrzymywanym z pułapu lotniczego są czarno-białe zdjęcia panchromatyczne, używane dla celów sporządzania i aktualizacji map topograficznych. Zdjęcia te stanowią zarazem najbardziej obiektywne źródło informacji o powierzchni terenu i stąd też najwcześniej były wykorzystywane w badaniach środowiska. Nieocenioną wręcz wartością tych zdjęć jest udokumentowanie stanu środowiska w różnym okresie czasu, czego przykładem są zdjęcia archiwalne.

Wykorzystanie zdjęć nie tylko aktualnych, ale przede wszystkim archiwalnych umożliwia wykonanie analizy zmian i przeobrażeń środowiska w czasie. Jest to szczególnie ważne w obrębie obszarów znajdujących się pod intensywnym oddziaływaniem czynników antropogennych. Dla tych celów wykorzystywane są zdjęcia niezależnie od wielkości skali, przy czym im skala zdjęcia większa, tym większa również jest zawartość informacyjna treści. Wartość zdjęć lotniczych podnosi dodatkowo łatwość w posługiwaniu się nimi, bowiem w procesie interpretacji wykorzystywane są proste urządzenia optyczne i suma wiedzy interpretatora. Przykładem opracowań wykonanych na podstawie zdjęć panchromatycznych jest między innymi komplet trzech map rejonu Huty Katowice. Celem przedstawienia zmian i przeobrażeń środowiska spowodowanych budową i eksploatacją Huty Katowice Wykonano mapę obrazującą stan środowiska i dokonane przeobrażenia przed rozpoczęciem budowy w okresie od 1956 do 1972 roku. Na tle tej sytuacji drastycznie uwidacznia się wielkość dokonanych za sprawą Huty Katowice przeobrażeń. Zmiany te obejmują szereg elementów. Do największych należy zaliczyć zmiany dokonane w szacie leśnej w wyniku wycięcia dużych powierzchni leśnych pod obiekty techniczne Huty, zmiany wykorzystania rolniczej przestrzeni produkcyjnej, zmiana zabudowy mieszkaniowej oraz sieci komunikacyjnej.

Poza zmianami warunków ekologicznych, spowodowanych budową Huty i całej infrastruktury towarzyszącej, z chwilą rozpoczęcia eksploatacji zaczęły oddziaływać niekorzystnie, głównie na ekosystemy leśne, emisje pyłowo-gazowe

powodujące postępującą dągradację gatunków iglastych. Mimo że zdjęcia panchromatyczne nie są najlepszym materiałem dla oceny uszkodzeń drzewostanów leśnych, to jednak przy dużych zmianach (a takie w tym rejonie występują) są one materiałem dostatecznie dobrym.



Rys. 4. Mapa zoologiczna rejonu Huty Katowice w wersji barwnej, skala 1:25000. Prezentowany fragment obejmuje część kompleksu leśnego i zalesień ochronnych znajdujących się na SW od Huty Katowice

Fig. 4. The zoological map of Katowice Steel Foundry region in the scale 1:25000. The presented segment shows the forest complex and protection forests SW of the Katowice Steel Foundry

Podobne opracowania w formie map dotyczące warunków ekologicznych wykonano dla rejonu Bełchatowskiego Okręgu Paliwowego, obszaru górniczego Kopalni Wieliczka, rejonu Zabrze i innych.

W badaniach obejmujących ekosystemy leśne dla oceny aktualnego stanu zdrowotnego i sanitarnego stosowane są spektrostrefowe zdjęcia lotnicze. Istotą budowy filmu spektrostrefowego są trzy warstwy światłoczułe uczulone na promieniowanie podczerwone, czerwone i zielone, odmiennie reagujące na promieniowanie słoneczne odbite od korony drzew. Drzewa zdrowe z prawidłowo rozwiniętym aparatem asymilacyjnym odbijają najwięcej promieniowania w zakresie podczerwieni i ono to ma decydujący wpływ na obraz tych drzew na

zdjęciu. Drzewa chore, o uszkodzonym aparacie asymilacyjnym, odbijają więcej światła w zakresie czerwonym przy zmniejszeniu się odbicia w zieleni i podczerwieni. W efekcie obraz koron drzew zarejestrowanych na zdjęciu spektrostrefowym będzie miał barwę zmieniającą się w określonym kierunku w zależności od stopnia uszkodzenia bądź ubytku aparatu asymilacyjnego. Zależność ta, polegająca na zmianie barwy drzew chorych lub uszkodzonych, stała się podstawą opracowanej w Ośrodku Przetwarzania Obrazów Lotniczych i Satelitarnych Instytutu Geodezji i Kartografii metody określania zdrowotnego i sanitarnego stanu lasów.

Wykonane na bazie tej metody prace przyniosły szereg opracowań, dotyczących uszkodzeń drzewostanów iglastych tak biotycznych, jak również abiotycznych. Mędzy innymi na podstawie zdjęć spektrostrefowych w 1982 r. podjęta była próba określania stref przemysłowego uszkodzenia drzewostanów sosnowych w rejonie Huty Katowice. Efektem pracy była mapa, na której sklasyfikowano drzewostany znajdujące się w trzech strefach uszkodzeń.

Należy zaznaczyć, że metoda ta znalazła szerokie uznanie środowiska leśnego i zaczęła być szeroko stosowana w badaniach lasów. Znaczenie metody trudne jest do przecenienia, bowiem w ocenie warunków ekologicznych terenów, a w szczególności terenów zagrożonych, stan zdrowotny lasów ma znaczenie decydujące dla warunków sanitarnych środowiska.

Niezaprzeczalną rolę we wszystkich opracowaniach dotyczących warunków środowiska odgrywa znajomość elementów klimatu, które np. w obrębie zbiorowisk miejskich - mikroklimat miasta - mają duże znaczenie tak dla komfortu mieszkańców, jak i prawidłowego projektowania zabudowy, co wiąże się między innymi z zapewnieniem prawidłowego przewietrzania itp. Jednym z elementów są warunki termiczne. Generalną cechą miasta jest wyższa temperatura w stosunku do terenów otaczających oraz znaczny gradient temperatury i wynikająca stąd silna cyrkulacja powietrza w obrębie miasta. Wyraża się to występowaniem tzw. "miejskiej wyspy ciepła", zależnej od charakteru zabudowy i zaінwestowania terenu. Pomiary warunków termicznych, szczególnie w obrębie organizmu miejskiego, nastęrczały przy wykorzystaniu tradycyjnych metod pomiarowych dużych trudności. Zastosowanie do tego celu skanera termalnego daje jednoczesny obraz stanu termiki znacznej powierzchni obszaru zabudowanego. Skaner termalny Thermoprofile THP-1 wykorzystuje promieniowanie w zakresie 2,0 - 5,6 μm i aby uniknąć zakłócającego promieniowania słonecznego, zobraowanie wykonywane jest w ciągu nocy. Obrazy skanerowe wykonywane są z pokładu samolotu. W efekcie pracy urządzenia skanującego otrzymuje się obraz przypominający czarno-białe zdjęcie panchromatyczne wykonywane wzdłuż kierunku lotu oraz prostopadły do kierunku lotu wykres temperatury w postaci wykresu o modulowanej amplitudzie. Na powstałym obrazie

rejestrującym emisję ciepła z powierzchni terenu miejsca jaśniejsze oznaczają obszary ciepła, a miejsca ciemniejsze tereny chłodne. Taki zapis (bez późniejszych przetworzeń na obraz barwny ułatwiający ocenę) umożliwia szybką interpretację wizualną termiki terenu i wnioskowanie na tej podstawie o naturalnej i wymuszonej cyrkulacji powietrza w obrębie miasta oraz terenów przyległych. Badaniami tego typu objętych było dużo miast, z których wymienić należy Warszawę i Kraków.



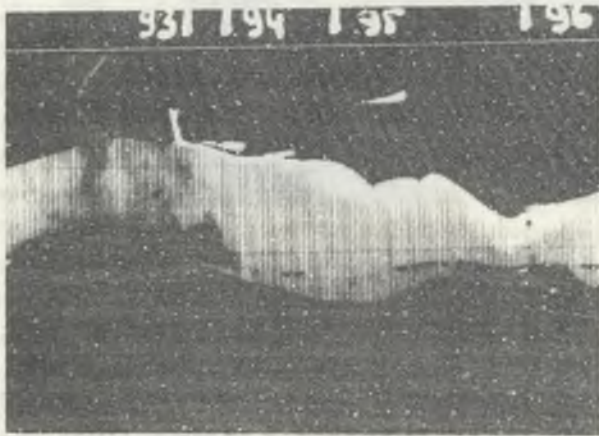
Rys. 5. Obraz termalny południowej części Warszawy

Fig. 5. Thermal photograph of Southern Warsaw

Dla oceny warunków sanitarnych terenu bardzo istotne znaczenie ma znajomość obszarów występowania mgieł radiacyjnych, powstawaniu których sprzyjają warunki inwersji termicznej. W rejonach silnie zanieczyszczonego powietrza w sąsiedztwie dużych zakładów przemysłowych jest to dość często spotykane i bardzo uciążliwe dla mieszkańców zjawisko. Znajomość takich stref pozwoliłyby uniknąć zaprojektowania tam i budowy nowych osiedli mieszkaniowych, (jak to ma miejsce w rejonie Huty Katowice).

Emisja ciepła z terenu, rejestrowana kamerą termalną, pozwala wykrywać źródła pożarów znajdujących się w obrębie zwałowisk, głównie odpadów górniczych, przy czym źródła pożarów znajdują się znacznie poniżej powierzchni Ziemi. Pożary takie mają miejsce niejednokrotnie w obrębie zwałów już zagospodarowanych i bywają często powodem degradacji roślinności wprowadzonej na te tereny w trakcie ich zagospodarowania. Wykrycie takich rejonów (źródeł pożarów) metodami tradycyjnymi nie zawsze bywa łatwe, a już zupełnie niemożliwe jest okonturowanie obszaru wokół źródła pożaru posiadającego podwyższoną temperaturę.

Spośród wielu zastosowań lotniczych obrazów termalnych ważna jest możliwość wykrywania i rejestracji tych zanieczyszczeń termalnych rzek i zbiorników wód stojących, których źródłem są zrzuty podgrzanych wód technologicznych z zakładów przemysłowych, w tym głównie energetycznych. Materiały termalne pozwalają na prześledzenie procesu zachowania się zrzuconej strugi wody, jej mieszania się z wodami zimnymi i zasięgu oddziaływania ciepła zrzutowego. Czulość urządzenia skanującego pozwala na dokładność zdalnego pomiaru temperatury w granicach $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ tak w przypadku elementów pokrycia terenowego, jak i wody. Dokładność poznania mechanizmu mieszania się wód ciepłych z wodami odbiornika ma duże znaczenie w warunkach występowania zlodzeń, a także służy wyjaśnieniu i poznaniu mikroklimatu znajdujących się w zasięgu oddziaływania strug podgrzanej wody.



Rys. 6. Obraz termalny przedstawiający zrzut podgrzanych wód z El. Kozienice i ich mieszanie się z chłodnymi wodami Wisły.

Fig. 6. Thermal photograph showing the issue of warmed-up waters from Kozienice power plant and their mixing with the cold waters of the Wisła (Vistula) River

Przedstawiony w ogromnym skrócie zakres wykorzystania różnych technik pozyskiwania informacji teledetekcyjnych oraz stosowanych materiałów nie wykorzystuje w pełni wszystkich możliwości zdalnego badania powierzchni Ziemi. Ograniczono się głównie do zasygnalizowania tych możliwości do wykonywania map ekologicznych.

Jest natomiast faktem, że aktualne zdjęcia satelitarne, ze względu na zbyt jeszcze małą rozdzielczość i wysoką cenę (środki dewizowe), pozostawiają duży obszar stosowania materiałów pozyskiwanych z pułapu lotniczego. Zdjęcia

lotnicze pozostaną nadal jeszcze podstawowym materiałem w badaniach stanu i przeobrażeń środowiska, w tym również wykonywania map obszarów poddanych silnym procesom degradacyjnym.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Andrzej Majde

Wpłynęło do Redakcji 4.06.1987 r.

THE IMPORTANCE OF REMOTE SENSING DATA FOR ECOLOGICAL PROTECTION IN THE UPPER SILESIA DISTRICT

S u m m a r y

The paper contains a comprehensive review of systems applied for the acquisition of satellite and aerial data concerning phenomena occurring over the surface of the Earth.

The application of various of aerial and satellite data for environmental research has been presented mainly on the basis of research projects conducted in the industrial district of Upper Silesia.

The described case studies concern interpretation of phenomena entailing serious environmental threats. Having demonstrated the feasibility of acquiring repetitive results of such environmental expertise the author concludes that similar approach may be applied while surveying other regions and processes.

TELEDETEKTIONSMATERIALE UND IHRE ROLLE BEI UNTERSUCHUNGEN IN DER NATURUMGEBUNG

Z u s a m m e n f a s s u n g

Dieser Artikel beinhaltet eine synthetische Übersicht für das einziehen der Erkundigungen betr. der Erdoberfläche aus dem Satelliten - wie auch dem Flugzeugblick.

Im Kontext dieser Informationen wurden Beispiele für Verwendung der Satellit - und Flugmaterialie für Untersuchungen in Naturumgebung, mit besonderen exponieren dieser Verwendung im GOP - Oberschlesisches Betriebsgebiet vorgestellt. Die aufgeführten Beispiele betreffen die Möglichkeit zur Durchführung von wiederholten Arbeiten, sie umschließen Ursachen mit großen Ökologischen Bedrohungen.