

Instytut Geodezji i Kartografii  
Warszawa

Teresa Baranowska

## KONTROLA ZANIECZYSZCZEN WÓD ZA POMOCĄ ZDJĘĆ LOTNICZYCH I OBRAZÓW TERMALNYCH

Wzrastająca liczba zakładów przemysłowych powoduje wzrost zapotrzebowania na wodę. Wiąże się to jednocześnie z dalszym wzrostem zanieczyszczeń wód lądowych. W związku z tym bardzo istotnym problemem staje się zagadnienie kontroli jakości wód, wykrywania źródeł zanieczyszczeń, a także ich zasięgu. W kontroli i wykrywaniu zanieczyszczeń wód, obok naziemnych metod kontaktowych, bardzo przydatne mogą być metody bezkontaktowe, polegające m.in. na wykorzystaniu zdjęć lotniczych.

W porównaniu z metodami kontaktowymi wykazują one wiele zalet. Przede wszystkim umożliwiają zarejestrowanie zjawisk zachodzących na dużych obszarach w stosunkowo krótkim czasie, co przy niektórych rodzajach zanieczyszczeń, np. termalnych, ma duże znaczenie. Dlatego w ostatnich latach w ośrodkach naukowych wielu krajów, a głównie w USA i RFN, prowadzone są badania nad wykorzystaniem technik zdalnego rozpoznania w badaniach zanieczyszczeń wód.

Obecny stan rozwoju technik zdalnego rozpoznania umożliwia:

- lokalizowanie zasięgu niektórych zanieczyszczeń wód,
- wyznaczanie stężenia zawiesiny ciał stałych w wodzie (mętność wody),
- określania rozkładu temperatur powierzchniowej warstwy wody.

W zależności od zanieczyszczenia, które może mieć charakter chemiczny lub fizyczny, w tym także termalny, w badaniach bezkontaktowych stosuje się rejestrację różnych długości promieniowania elektromagnetycznego, gdyż różny jest współczynnik odbicia i pochłaniania przez wodę tego promieniowania zależnie od długości fali oraz właściwości fizyczno-chemicznych wody.

- Promieniowanie ultrafioletowe (0,3-0,4  $\mu\text{m}$ ) odbija się całkowicie od

powierzchni wody i dlatego jest stosowane jedynie w badaniach zanieczyszczeń powierzchniowych. Natomiast promieniowanie niebiesko-zielone przenika przez warstwę wody, przy czym głębokość tego przenikania jest zależna od składu chemicznego i fizycznych właściwości wody. Promieniowanie w zakresie podczerwieni fotograficznej /0,7-1,0  $\mu\text{m}$ / jest z kolei całkowicie pochłaniane w kilkucentymetrowej warstwie wody, a promieniowanie w zakresie podczerwieni termalnej /3-20  $\mu\text{m}$ / jest pochłaniane na jej powierzchni.

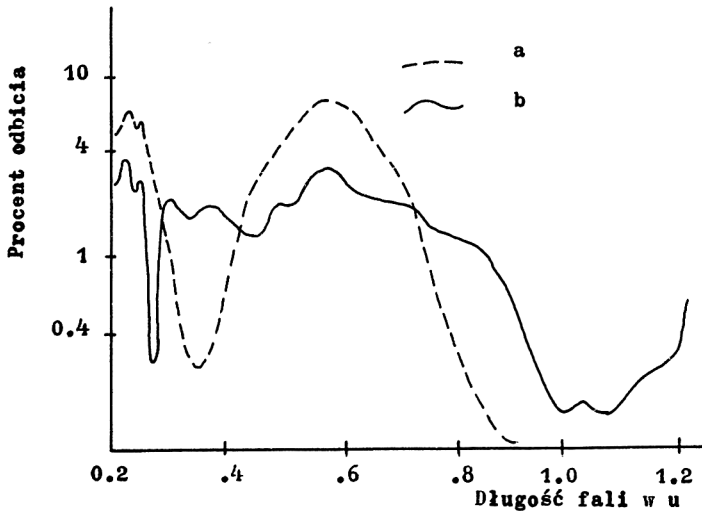
Wybierając zakres spektrum najbardziej przydatny dla kontroli zanieczyszczenia danego zbiornika wodnego, należy przeprowadzić wstępne badania, polegające na porównaniu krzywych charakterystycznych odbicia próbek wody niezanieczyszczonej /przefiltrowanej/ i wody zawierającej zanieczyszczenia.

Na rysunku 1 pokazano takie krzywe charakterystyczne wyznaczone przez zespół J. S c h e r z a z Uniwersytetu Wisconsin dla promieniowania w zakresie 0,2-1,2  $\mu\text{m}$ , dla próbek wody pobranych z jeziora Monona i jeziora Kegonsa. Z wykresów tych wynika, że przebieg krzywych charakterystycznych dla przefiltrowanych próbek wody pobranych z obu zbiorników wodnych różni się nieznacznie. Natomiast krzywe charakterystyczne dla wody zanieczyszczonej mają w przypadku obu jezior odmienny przebieg. Krzywe charakterystyczne ułatwiają dobór odpowiednich technik fotografowania z pokładu samolotu. Zdjęcia lotnicze powinny być wykonane w tym zakresie spektrum, w którym krzywe charakterystyczne odbicia wody zanieczyszczonej i niezanieczyszczonej różnią się najbardziej.

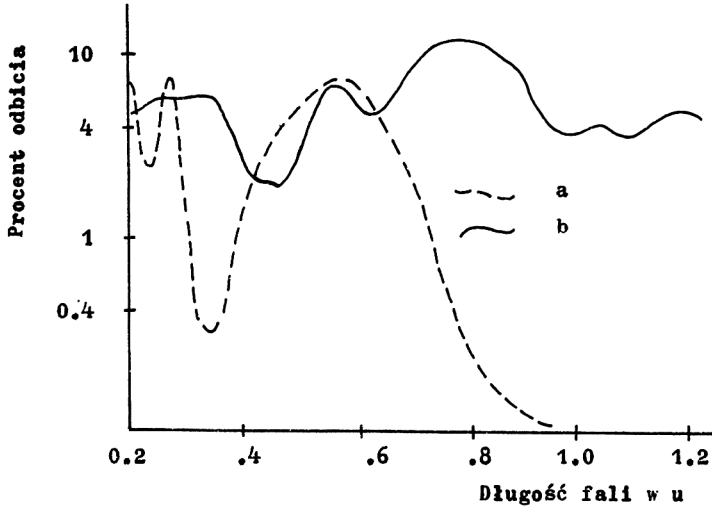
Przystępując do badań zanieczyszczeń wód za pomocą zdjęć lotniczych należy jednak zdawać sobie sprawę, że za ich pomocą jest możliwe wykrycie tylko niektórych typów zanieczyszczeń chemicznych, a mianowicie tych, które powodują zmiany współczynnika odbicia wody. Nie można zatem wykryć np. zanieczyszczenia wody dwutlenkiem węgla, azotem, fosforanami, azotanami, chlorkiem sodu, siarczkiem sodu, ponieważ właśnie ion i ztwory wodne mają ten sam współczynnik odbicia co i woda niezanieczyszczone.

Ze względu na omówioną uprzednio zdolność odbicia i pochłaniania promieniowania o różnej długości fal w środowisku wodnym, w badaniach zanieczyszczeń stosuje się najczęściej barwne filmy spektrostrofowe z odpowiednimi filtrami ograniczającymi zakres przepuszczanego promieniowania, a także zdjęcia multi-spektralne. Zasadniczo każdy zbiornik wodny i każdy rodzaj zanieczyszczeń wymagają wykonania

## jez. Monona



## jez. Kegonsa



Rys.1 Krzywe charakterystyczne odbicia dla próbek wody przefiltrowanej (a) i nieprzefiltrowanej (b)

Abb.1 Reflexionskurven von Proben filtertes (a) und nichtfiltertes (b) Wassers

wstępnej serii zdjęć, w celu określenia najbardziej odpowiedniego w danym przypadku zestawu filmów i filtrów.

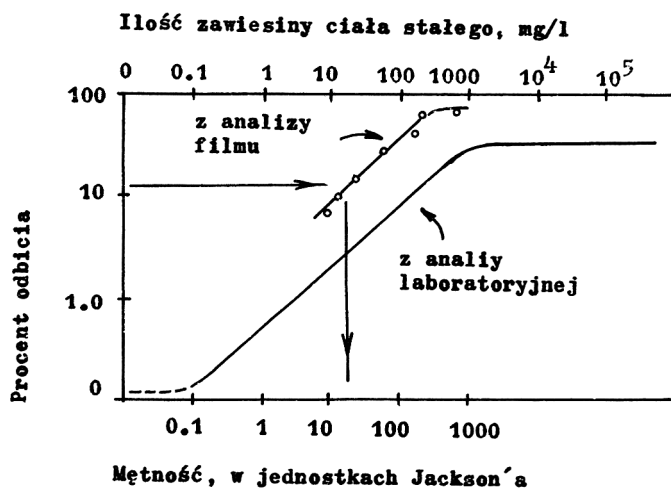
Najprostszy sposób interpretacji wykonanych zdjęć polega na wyznaczeniu zasięgu zanieczyszczeń. Przy rozwiązywaniu wielu problemów jest to bardzo cenny i wystarczający materiał. Jednakże w niektórych przypadkach potrzebne jest również określenie rozkładu stężenia zawiesziny ciał stałych w zbiorniku wodnym, tzn. wyznaczenie zasięgu zmian mętność wody. Rozwiązanie tego zadania jest już bardziej złożone.

Metody określania mętności wody na podstawie jej fotograficznego obrazu opracowywane są głównie w Stanach Zjednoczonych. Jedną z takich metod, stosunkowo prostą a efektywną, opracowali S. Klooster i J. Scherz z Uniwersytetu Wisconsin. Polega ona na wykorzystaniu zależności jaka zachodzi między mętnością wody a współczynnikiem odbicia promieniowania. Zależność tę określa się na podstawie laboratoryjnych badań próbek wody pobranych w czasie wykonywania lotu. Względny współczynnik odbicia wyznacza się dla próbek wody metodą laboratoryjną jako wartość procentową w stosunku do współczynnika odbicia promieniowania przez siarczan baru. Przy opracowaniu zdjęć lotniczych współczynnik odbicia jest wyznaczany z zależności jaka zachodzi między gęstością optyczną filmu a współczynnikiem odbicia.

Jako terenowe wzorce dla wyznaczenia procentowego współczynnika odbicia mogą służyć białe płyty ze styropianu, zakotwiczone na wodzie w miejscach, w których są pobierane próbki wody. Badania wykazały, że białe płyty styropianowe, a także siarczan baru stosowany w badaniach laboratoryjnych, charakteryzują się odbiciem praktycznie całego padającego na nie promieniowania.

Omówiona powyżej w skrócie metoda została zastosowana przez S. Kloostera i J. Scherza do badania zanieczyszczenia rzeki przez ścieki z fabryki papieru. Zdjęcia lotnicze wykonano na barwnym filmie spektrostrefowym stosując jednocześnie żółty filtr. Zastosowany zestaw filmu i filtru zapewniał rejestrację promieniowania podczerwonego i części promieniowania zielonego, co pozwoliło ograniczyć badania do głębokości tylko kilku centymetrów, eliminując całkowicie efekty odbicia od dna. Laboratoryjna analiza próbek wody pobranych w pięciu punktach położonych wzdłuż smugi zanieczyszczeń wykazała, że w tym zakresie spektrum współczynnik odbicia wody o różnym stopniu zanieczyszczenia jest już znacznie zróżnicowany.

W swoich pracach S. Klooster i J. Scherz stosowali tzw. mikro - densytmotr barwny, umożliwiającą wyznaczenie gęstości optycznej dla promieniowania o różnej długości, a przedstawione wyniki uzyskano dla promieniowania o długości 0,55 m. Dla pobranych próbek wody wyznaczono laboratoryjnie ilość ciał stałych zawieszonych w wodzie, a następnie współczynnik jej odbicia. Otrzymane wyniki narysowano na wykres uzyskując krzywą przedstawioną na rys.2. Analogiczną krzywą wy-



Rys.2 Krzywe charakterystyczne odbicia wody wyznaczone z analizy filmu i z analizy laboratoryjnej próbek wody dla promieniowania długości 0,55  $\mu\text{m}$

Abb.2 Reflexionskurven Wassers, durch die Analyse des Filmes und durch die Laboranalyse von Proben Wassers für die Strahlung mit der Länge von 550 nm bestimmt

znaczono dla zależności między mętnością wody a współczynnikiem odbicia uzyskanym z mikrodensytmetrycznych pomiarów gęstości optycznej filmu w punktach, w których pobrano próbki wody. Na przedstawionym wykresie jest to krzywa górna. Stwierdzono, że obie krzywe przebiegają równolegle, przy czym krzywa wyznaczona z analizy filmu położona jest powyżej krzywej uzyskanej z badań laboratoryjnych. Wynika to m.in. z tego, że na zdjęciu lotniczym zostaje zarejestrowane zarówno odbicie bezpośredniego promieniowania słonecznego jak i odbicie światła rozproszonego.

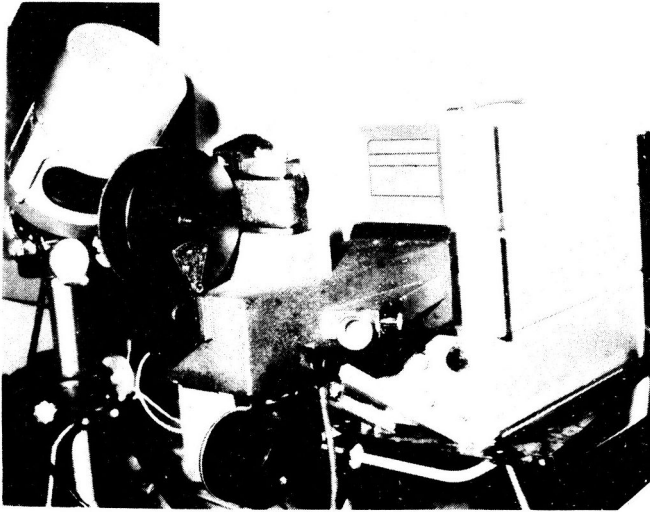
Z innych zastosowań teledetekcji do wykrywania zanieczyszczeń wody należy wymienić wykrywanie miejsc zanieczyszczonych ropą naftową. Jest to problem bardziej złożony niż w przypadku badania innego typu zanieczyszczeń. Wzrastająca liczba tankowców do przewozu ropy i skutki ich awarii, zagrażające życiu biologicznemu mórz i oceanów spowodowały, że badania zanieczyszczeń ropą naftową są obecnie prowadzone w wielu ośrodkach naukowych.

Prowadzone są różne sposoby badań. W większości przypadków preferowane są zdjęcia wykonywane w ultrafiolecie /0,3-0,4  $\mu\text{m}$ / lub w ultrafiolecie i niebieskim zakresie spektrum, a także w podczerwieni fotograficznej. Stwierdzono, że zarówno zdjęcia barwne jak i panchromatyczne zdjęcia czarno-białe dają zbyt mały kontrast między ropą a wodą, a także nie pozwalają odróżnić rozlewisk ropy od zanieczyszczeń materiałami pochodnymi od ropy lub od innych typów zanieczyszczeń. Rejestracja promieniowania w zakresie ultrafioletu umożliwia wykrywanie cienkich plam ropy na morzu i pozwala określić granice rozlewiska ropy. Natomiast przy wyznaczaniu grubości rozlewiska ropy wykorzystywane są wyniki rejestracji radiometru mikrofalowego /3,5-20  $\mu\text{m}$ /. Mikrofalowy zakres spektrum dostarcza najlepszego kontrastu między wodą niezanieczyszczoną i zanieczyszczoną, jednakże instrumenty pracujące w tym zakresie zostały udostępnione służbom cywilnym dopiero niedawno i dlatego brak jeszcze na ten temat bliższych danych.

W Instytucie Geodezji i Kartografii została natomiast opracowana metoda badania termalnych zanieczyszczeń wód przy wykorzystaniu zakresu podczerwieni termalnej. W badaniach tych stosuje się Thermoprofile THP 1 produkcji szwedzkiej firmy AGA rys.3.

Thermoprofile THP 1 jest urządzeniem termowizyjnym, którego działanie polega na rejestracji promieniowania elektromagnetycznego w zakresie 2,0-5,6  $\mu\text{m}$  i przetworzeniu tego promieniowania na modulowany sygnał elektryczny. Thermoprofile THP 1 składa się z dwóch zasadniczych części: jednostki analizującej /skanera/ i jednostki obrazującej. Urządzenie skanerowe rejestruje emitowane przez obiekt promieniowanie podczerwone oraz zamienia je na odpowiedni sygnał elektryczny, który po wzmocnieniu przesyłany jest do jednostki obrazującej. W jednostce obrazującej sygnał elektryczny jest zamieniany na sygnał widzialny na ekranie lampy oscyloskopowej monitora.

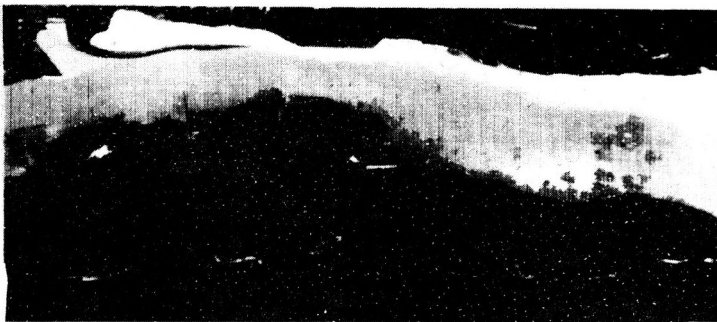
Thermoprofile THP 1 posiada dwa monitory. Jeden z nich pokazuje obraz jako linię o modulowanej jasności, drugi zaś jako wykres o modulowanej amplitudzie. Monitor, na którym obraz termalny jest przed-



Rys.3 Thermopile Model THP 1 szwedzkiej firmy AGA zmodyfikowa-  
ny w Instytucie Geodezji i Kartografii

Abb.3 Thermopile Model THP 1 der schwedischen Firma AGA, im  
Institut für Geodäsie und Kartographie modifiziert

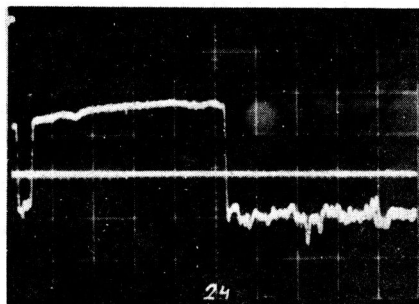
stawiany w postaci linii o modulowanej jasności, jest fotografowany ka-  
merą szczelinową Vaisala, na filmie przesuwającym się ruchem jedno-  
stajnym. Dzięki temu uzyskuje się obraz termalny, przypominający pan-  
chromatyczne zdjęcie czarno-białe, a obrazujący teren wzdłuż kierun-  
ku lotu samolotu rys. 4. Ton obrazu termalnego jest związany z tempe-



Rys.4 Obraz termalny rzeki

Abb.4 Wärmebild des Flusses

raturą i emisyjnością obiektu. Im obiekt jest cieplejszy, tym ton obrazu jest jaśniejszy. Drugi monitor daje wykres rozkładu temperatury prostopadle do kierunku lotu w postaci wykresu o modulowanej amplitudzie rys.5. Odczyt wartości temperatur może odbywać się bezpośrednio z monitora w czasie trwania lotu lub też kameralnie, na podstawie fotograficznej rejestracji obrazu monitora.



Rys.5 Profil termalny otrzymany na ekranie monitora

Abb.5 Wärmeprofil des Flusses im Bildschirm

W wyniku lotu termalnego otrzymuje się negatyw termogramu badanego obszaru na filmie o szerokości 24 mm oraz małoobrazkowe zdjęcia wykresów temperatury /profile/. Negatyw termogramu stanowi podstawę dla opracowania jakościowego, natomiast zdjęcia wykresów są podstawą dla analizy ilościowej. Analiza wykresów umożliwia wyznaczenie temperatury punktów metodą termowizyjną z dokładnością  $\pm 0,1^{\circ}$ . Interpretacja termogramu i termoprofilu pozwala na opracowanie map tematycznych, obrazujących za pomocą izolinii rozkład temperatury w zbiornikach wodnych.

Instytut Geodezji i Kartografii prowadzi od 1974 roku systematyczne badania termalne zanieczyszczenia Wisły poniżej zrzutu wody podgrzanej z elektrowni "Kozienice". Podobne badania wykonano dla elektrowni "Ostrołęka" na Narwi, "Pątnów" nad jez. Konińskim i dla elektrowni nad zbiornikiem "Rybnik".



## L I T E R A T U R A

- B r o w n W.L., 1972, Calculating water quality parameters using remotely sensed scanner data, Proceed. of the 8<sup>th</sup> Internat. Symp. on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor.
- K i e f e r R.W., S c h e r z J.P., 1970, Applications of airborne remote sensing technology. Journal of the surveying and Mapping Division, ASCE, vol.96, Nr SU 1, Proc.Paper 7225, April s. 57-80.
- K l o o s t e r S.A., S c h e r z J.P., 1974, Water quality by photographic analysis. Photogr. Eng., nr 8.
- M u n d a y J.C., M a c I n t y r e W.G., P e n n e y M.E., 1971, Oil slick studies using photographic and multispectral scanner data, Proc. of the Seventh International Symposium on Remote Sensing of Environmental, Ann Arbor.
- S c h e r z J.P., G r a f f D.R., B o y l e W.C., 1969, Photographic characteristics of water pollution. Photogr.Eng. nr 1.
- S c h e r z J.P., 1971, Monitoring water pollution by remote sensing, J. of the Surveying and Mapping Division. Proceeding of the American Society of Civil Engineers. November, SU2, s. 307-320.
- S c h e r z J.P., 1971, Remote sensing considerations for water quality monitoring. The VII-th International Symposium Remote Sensing of Environmental, 17-21 may.
- S c h n e i d e r S. i n n i, 1974, Gewässerüberwachung durch Fernerkundung. Die mittlere Saar. Landeskundliche Luftbildauswertung im mittel europäischen Raum. Heft 12.
- V i z y K.N., 1974, Detecting and monitoring oil slicks with aerial photos. Photogram. Eng. t.40 nr 6 s. 697-708, rys.11, tabl.4, bibliogr. poz.44.

Teresa Baranowska

"  
"ÜBERWACHUNG VON GEWÄSSERVERSCHMUTZUNG  
MIT FERNERKUNDUNGSVERFAHREN

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

Die Gewässerverschmutzung kann sowohl chemischen wie auch physikalischen, darunter auch thermalen Charakter haben. In der Abhängigkeit von der Verschmutzungsart werden in der Fernerkundung verschiedene Verfahren zur Bild- und Datenaufnahme in den sichtbaren und nicht-sichtbaren Bereichen des elektromagnetischen Spektrums angewandt.

Beim Auswählen des Spektrumbereiches, welches zur Untersuchung des Verschmutzungszustandes eines bestimmten Wasserbehälters am geeignetsten ist, sind die Reflexionskurven von nicht verschmutzter und verschmutzter Wasser zu vergleichen und diesen Bereich des Spektrums anzunehmen, in dem die beiden Kurven am meisten auseinandergehen.

Die gegenwärtigen Fernerkundungsverfahren ermöglichen:

- nicht verschmutzte Gewässer zu lokalisieren,
- Temperaturverteilung für die Wärmeverschmutzung zu bestimmen,
- Konzentration der Suspension von festen Körpern /Trübe des Wassers/ zu bestimmen.

Dagegen ist es nicht möglich, chemische Verschmutzung z.B. mit Kohlendioxyd, Stickstoff, Phosphaten, Nitraten, Natriumchlorid, Natriumsulfid zu bestimmen, weil sie keine Änderungen der Reflexionskurve des Wassers verursachen.

Die Wärmeverschmutzung der Gewässer wird mittels Wärmebildmethode, unter Anwendung des Bereiches des Thermal-Infrarotes ausgemittelt.

Im Institut für Geodäsie und Kartographie in Warszawa werden die Arbeiten an der Bestimmung der Wärmeverschmutzung, vor allem für die Weichsel, seit einigen Jahren geführt, und in diesem Jahr werden die Untersuchungen am Nachweis von anderen Verschmutzungsarten begonnen.