

MARIAN DRUŹKOWSKI
JERZY SOKOŁOWSKI
KAZIMIERZ TRAFAS

Instytut Botaniki
Instytut Geografii
Uniwersytet Jagielloński

Obrazy termalne jako pomoc w analizie terenu

Lotnicze obrazy termalne mogą dostarczać wielu nowych informacji o terenie w porównaniu ze standardowymi zdjęciami lotniczymi panchromatycznymi czy obrazami w podczerwieni, nawet jeśli będzie się je interpretować tylko w sposób jakościowy, tzn. wyłącznie na podstawie wizualnej analizy tonalnej, która jest w pewnym stopniu odbiciem rozkładu temperatury na danym obszarze. Jak wiadomo, w obrazie termalnym zarejestrowana jest nie bezpośrednio temperatura danego obiektu, lecz emitowana przez niego intensywność promieniowania podczerwonego, która tylko w części wynika z jego własnej temperatury (oprócz tego z temperatury otoczenia oraz temperatury podłoża). W przypadku obrazowania w krótkim czasie po zachodzie słońca, kiedy to występuje szybkie wypromieniowanie i maksymalny kontrast termalny pomiędzy obiektami (Ciołkosz, 1975), można z pewnym uproszczeniem przyjąć, że większa ilość energii emitowanej przez obiekty terenowe związana jest z większą jego temperaturą, możemy więc stosować określenia w skali względnej typu „cieplejsze” czy „chłodniejsze”, co odpowiada większej czy mniejszej emisyjności.

Wstępną ocenę przydatności obrazów termalnych w analizie terenu przeprowadzono na podstawie materiałów obrazowania termalnego obszaru leżącego na zachód od Krakowa (zob. ryc. 1 w: Drużkowski i in.: *Zastosowanie zdjęć spektrostrefowych...*, [w:] *Fotointerpretacja w geografii*, t. VII (17, s. 66), w ramach realizacji problemu węzłowego 10.2.09. Nalot wykonano w czterech pasach południkowych o długości 32 km oraz łącznej szerokości 7 km dnia 1 czerwca 1977 roku pomiędzy godz. 21³⁵ a 22²⁰. W czasie trwania nalotu wykonano w terenie patrolowe pomiary

temperatury gruntu w wybranych punktach, reprezentujących różne formy użytkowania terenu oraz różne sytuacje topograficzne. Niestety liczba pomiarów była niewystarczająca do wykonania termogramów w określonych profilach, co wykluczało ilościowy charakter opracowania. Ocena obrazów termalnych opiera się więc wyłącznie na wizualnej (jakościowej) analizie, przede wszystkim w aspekcie uchwycenia pewnych różnic w emisyjności (odzwierciedlającej się w różnych stopniach szarości), mogących świadczyć o odmiennych warunkach środowiska panujących w głównych jednostkach fizycznogeograficznych, według których dokonano niniejszego omówienia.

POŁUDNIOWY SKŁON WYŻYNY KRAKOWSKIEJ

Jest to obszar o przewadze gruntów ornych, głównie z uprawami zbożowymi, które charakteryzują się w obrazie termalnym jaśniejszym tonem, co jest spowodowane ich wyższą temperaturą emisyjną w stosunku do trwałych użytków zielonych; niską emisyjność mają też uprawy takie jak koniczyna i lucerna. Zdecydowanie niższą emisyjność niezależnie od rodzaju użytkowania mają dna dolin; jednakże w zależności od głębokości zalegania utworów wapiennych i grubości zwietrzliny występują pewne modyfikacje, ponieważ różnie kształtuje się stopień wilgotności gleby, na przykład w Dolinie Bolechowskiej wapienie zalegają płytko pod powierzchnią, przez co infiltracja wód jest lepsza, a strefa powierzchniowa jest suchsza. Również roślinność typu krzaczastego powoduje, że emisyjność dna doliny jest nieco wyższa niż w strefie, gdzie wapienie zalegają głębiej i warstwa zwietrzliny jest grubsza (uwilgotnienie gleby jest wówczas większe).

RÓW KRZESZOWICKI

W jego obrębie występują stoki o ekspozycji południowej i północnej, które jednak nie różnią się emisyjnością. Jest to wynik sytuacji atmosferycznej, to znaczy przede wszystkim małego napromieniowania w okresie poprzedzającym naloć. W obrazie termalnym można natomiast dobrze wyróżnić (najciemniejsze tony) samo dno Rowu, które jest zajęte przez podmokłe łąki, co jest wynikiem płytkiego zalegania wód gruntowych i częściowo braku odpływu oraz występowania nieprzepuszczalnych ilów. Warunki orograficzne Rowu Krzeszowickiego są wprawdzie korzystne dla inwersji temperatury, która jednak — z uwagi na wspomiane warunki przed i w czasie naloć — nie wystąpiła. Nieliczne grunty orne zaznaczają się jaśniejszym tonem, co spowodowane jest faktem, że mają nieco wyższą temperaturę niż otaczające je łąki. Jest to wynik przepro-

wadzonej melioracji. Wody i drogi zaznaczają się jaśniejszym tonem niż uprawy zbożowe. Świadczy to, że emisyjność ich jest zbliżona i że są „cieplejsze” od pozostałych elementów. Wały przeciwpowodziowe mają charakterystyczny ciemnoszary ton. Oznacza to, że pomimo iż są one pokryte trawą, ich emisyjność jest odmienna; na pewno wpływ na taki obraz ma także inny niż autochtoniczny rodzaj materiałów użytych do ich budowy.

GARB TENCZYŃSKI

W znacznej części obszar ten pokryty jest lasem. W obrazie termalnym jest on widoczny jako obszar o średniej i małej emisyjności. Las nie maskuje całkowicie rzeźby terenu. Tereny obniżone, tzn. doliny (o wysokości względnej do 80 m), charakteryzują się wyraźnie ciemniejszym tonem o płynnych granicach. Widać to przy różnicy wysokości względnej 80 m i mniejszej. Tego rodzaju obraz spowodowany jest prawdopodobnie podwyższoną wilgotnością gruntu względem otoczenia w wyniku opadu deszczu i utrudnionego parowania w zagłębieniach terenu. Podobną emisyjność mają doliny zajęte przez sady. W obrazie termalnym nie można rozróżnić składu gatunkowego lasu, jednak pewne rozjaśnienia na stromych stokach południowych należy łączyć z występowaniem ciepłolubnej roślinności kserotermicznej.

DOLINA WISŁY

Zbocza doliny w obrazie termalnym mają jaśniejsze tony niż jej dno, co wiąże się zapewne z innym rodzajem gruntu oraz stopniem uwilgotnienia terenu. Natomiast mniejszą emisyjnością (ciemniejsze tony) charakteryzują się małe boczne dolinki: zbocza ich ulegają zaoraniu i są wykorzystywane jako grunty orne, natomiast samo dno jest najczęściej podmokłe i pokryte roślinnością trawiastą, która ma niższą temperaturę niż otaczające je uprawy zbożowe. Dobrze widoczne są liczne starorzecza. Są one wykorzystywane głównie jako pastwiska i łąki. Oznacza to, że mają wysoki poziom wód gruntowych i zarazem są „chłodniejsze”. Wisła wyróżnia się bardzo jasnym tonem. Jest to spowodowane podwyższoną temperaturą w wyniku wpuszczania do rzeki ciepłych zrzutów wody (m. in. z pobliskiej elektrowni w Skawinie) oraz wcześniejszym ogrzaniem w górnym biegu (C i o ł k o s z, 1975). W strefie przykorytowej w obrębie terasy zalewowej występuje roślinność trawiasta, zobrazowana w obrazie termalnym w bardzo ciemnym tonie. Świadczy to o jej niskiej emisyjności. Pomimo kontaktu płytko zalegających wód podziemnych z wo-

dami rzeki nie występuje ogrzanie strefy przykorytowej. Jaśniejsze plamy na zdjęciu wiążą się z plantacją wikliny, której emisyjność jest nieznacznie większa.

POGÓRZE WIELICKIE

Obraz termalny tego obszaru charakteryzuje się dużą mozaiką tonów i nie da się wyróżnić jakichś większych stref o tej samej emisyjności. Jest to spowodowane zarówno zróżnicowaniem ukształtowania terenu, jak i występowaniem wszystkich form użytkowania ziemi. Generalnie można stwierdzić, że największą emisyjność mają wody, a następnie uprawy zbożowe (szczególnie na stokach) oraz lasy występujące na wierzchowinach. Ciemne tony, a więc mniejszą emisyjność, mają terasy rzeczne zadarnione oraz dna małych dolinek. Bardzo zróżnicowane tonalnie są tereny zajęte przez osadnictwo, gdzie sady, ogrody, budynki tworzą skomplikowaną mozaikę.

Osobnego omówienia wymaga obraz termalny miasta Skawiny oraz położonych w jego obrębie zakładów przemysłowych. Zwarta zabudowa oraz tereny przemysłowe, a także drogi, tereny składowe — często pokryte betonem, stanowią najjaśniejsze plamy na zdjęciu. Wysoka emisyjność tych obszarów wynika przede wszystkim z silnego nagrzania w ciągu dnia, a także z dużej ilości ciepła, jakie wydzielane jest przez hutę aluminium* oraz elektrownię. Rozróżnienie szczegółów na terenie miasta jest w obrazie termalnym prawie niemożliwe — wysoka emisyjność prawie wszystkich obiektów powoduje wyrównanie tonalne. Zróżnicowanie tonalne zaznacza się w strefie podmiejskiej, co łączy się z rozluźnieniem zabudowy i odsłonięciem naturalnego podłoża, występowaniem ogrodów i sadów, a więc obszarów o zdecydowanie mniejszej emisyjności dających ciemniejsze tony w obrazie termalnym. Można natomiast wyróżnić osadniki pyłów z elektrowni, które znajdują się w różnym stadium użytkowania, a przez to dają różny tonalnie obraz na zdjęciu termalnym. Osadnik, który nie jest już używany i częściowo rekultywowany, odznacza się trójtonalną strukturą: ton ciemny to obszar, gdzie pyły są odsłonięte; jasny jest charakterystyczny dla wprowadzonych w części osadnika upraw zbożowych, natomiast bardzo jasne plamy związane są z występowaniem wody. Osadnik obecnie funkcjonujący ma ton jasny, ponieważ pyły transportowane w postaci zawiesiny są ciepłe i odznaczają się dużą emisyjnością. Osadnik w budowie ma dwa tony: ciemny to obszar jeszcze zadarniony, natomiast jasny to obszar, który już został za-

* Już po napisaniu tego artykułu najbardziej uciążliwy dla środowiska wydział elektrolizy huty aluminium został zlikwidowany (T r a f a s, 1981)

lany wodą. Interpretację obrazu termalnego tych osadników pokazuje ryc. 1.

Wstępna ocena obrazów termalnych pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków:

- Obrazy termalne w postaci odbitek pozytywowych na papierze (bez profili termograficznych) pozwalają tylko na względne, ogólne zróżnicowanie terenu pod względem emisyjności.
- Najważniejszym czynnikiem delimitującym okazała się wilgotność gruntu dająca najciemniejsze tony w obrazie termalnym, co świadczy o najniższej emisyjności.
- Najjaśniejsze tony, a więc świadczące o wysokiej emisyjności, są związane z wieloma, różniącymi się znacznie między sobą, obiektami (zabudowa, woda, drogi); ich jednoznaczne wyróżnienie jest niemożliwe, szczególnie gdy obiekty te występują obok siebie, na przykład na terenie miasta.
- Obszary leśne w obrazie termalnym nie wykazują jednolitości tonalnej. Obserwować można zależność ich tonu od konfiguracji terenu (lasy porastające wzgórza mają tony znacznie jaśniejsze niż położone na przykład w dnach dolin). Tony lasów mieszanych są niejednolite i tworzą słabo zaznaczającą się strukturę gąbczastą.
- Pola uprawne tworzą w obrazie termalnym bardzo zróżnicowaną mozaikę tonalną, podobnie jak na zdjęciach panchromatycznych, chociaż trudno przeprowadzić tutaj jakościowe analogie. Konfrontacja z terenem wykazała brak prostych zależności pomiędzy rodzajem upraw a konkretnym tonem.
- Pomimo dużej różnorodności tonów główne formy terenu (np. doliny, wierzchowiny) są łatwe do wyróżnienia.
- Należy sądzić, że obraz termalny wykonany w innych warunkach meteorologicznych może być przydatny w analizie stosunków radiacyjnych i inwersyjnych (Gil, 1981).

LITERATURA

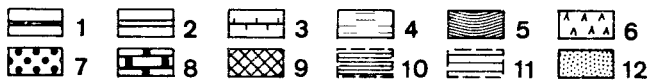
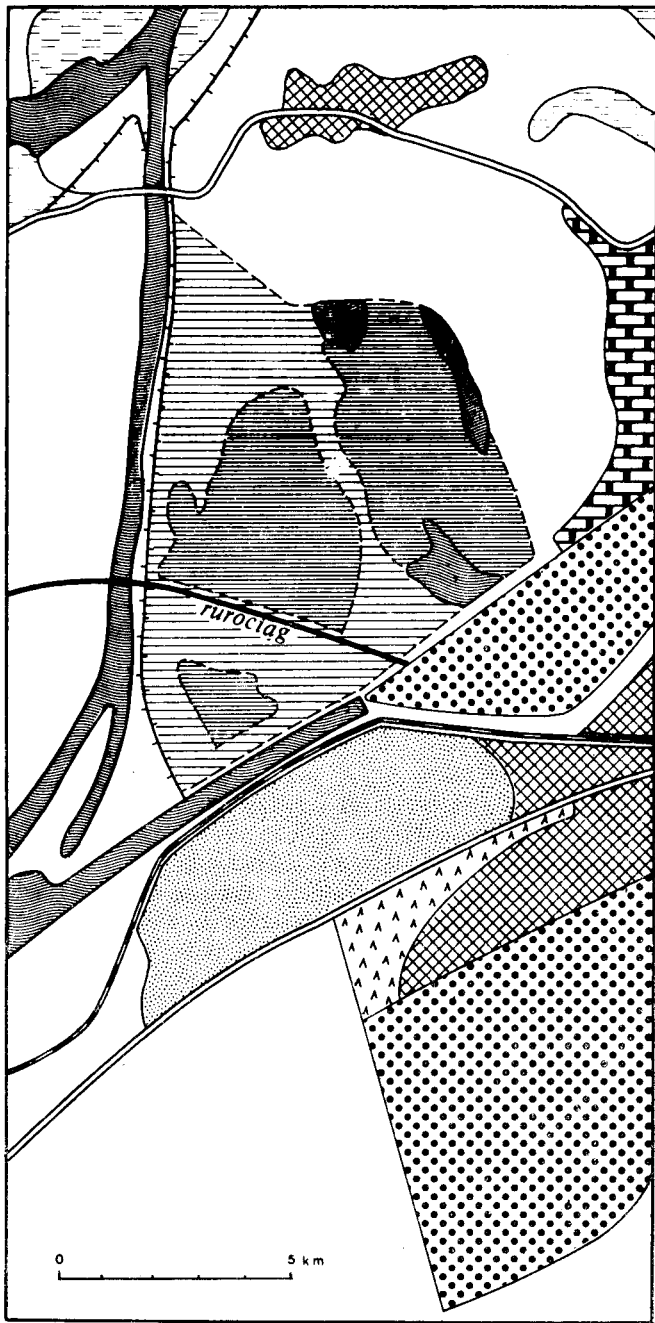
Ciołkosz A., 1975: *Zastosowanie długofalowego promieniowania podczerwonego w badaniach termalnych zanieczyszczenia rzek w Polsce*, Prace Instytutu Geodezji i Kartografii t. XXII, z. 2(51).

Ryc. 1. Interpretacja obrazu termalnego (fragment):

1 — kolej, 2 — drogi, 3 — wały przeciwpowodziowe, 4 — tereny o większej wilgotności, 5 — wody, 6 — lasy, 7 tereny przemysłowo-składowe, 8 — zwarta zabudowa, 9 — luźna zabudowa, 10 — osadnik pyłów odsoniętych, 11 — osadnik pyłów przykrytych ziemią, 12 — wysypisko odpadów

Fig. 1. Interpretation of the thermal image (fragment):

1 — railway, 2 — roads, 3 — flood banks, 4 — areas of increased moisture, 5 — water, 6 — forest, 7 — industrial and storage yards, 8 — compact building, 9 — loose building, 10 — uncovered dusts bank, 11 — covered dusts bank, 12 — refuse dump



- Ciołkosz A., Miszański J., Ołędzki J. R., 1978: *Interpretacja zdjęć lotniczych*, PWN, Warszawa.
- Gil E., 1982: *Zróżnicowanie termiczne okolic Szymbarku (na podstawie lotniczego obrazu termalnego)*, Fotointerpretacja w geografii, t. V (15), Katowice.
- Trafas K., 1981: *Teledetekcyjne badania zasięgów dymów przemysłowych w Regionie Krakowskim*, Folia Geograph. Series Geographica-Physica, vol. XIV.

MARIAN DRUŻKOWSKI, JERZY SOKOŁOWSKI, KAZIMIERZ TRAFAS

THERMAL IMAGES AS AN ASSISTANCE IN THE TERRAIN ANALYSIS

S u m m a r y

Thermal images may provide many additional information about the area under investigation. The image of the terrain located west of Cracow was made. The flight on the 1st of June, 1977, 9.35, 10.20 p.m., covered a number of physico-geographical units different in their geological structure, relief, and land-use. Terrain measurements of the temperature, made at random, did not enable to make out thermographical profiles, in consequence merely visual interpretation was accomplished. It enabled to notice only some interrelations between the temperature of different forms of land-use and their emissivity. On the images the terrain of the highest emissivity (buildings, roads) reflected the lightest tone, therefore one may say that they were „warmer”. At the Skawina territory where those elements were concentrated in quite a big quantity the image was less differentiated. The important factor, resulting in a tonal differentiation, appeared to be soil moisture. The relief, in spite of the considerable tonal ground diversity, was quite discernable, even if the territory was covered with forest. The thermal imagery appeared to be less useful in case of arable lands interpretation; fields make up a tonal mosaic and any distinct relationship can not be detected. It was found out that, in spite of some shortcomings, the thermal images was useful for the analysis of the examined territory and enabled to detect additional marks specific for its some categories.

MARIAN DRUŻKOWSKI, JERZY SOKOŁOWSKI, KAZIMIERZ TRAFAS

LES IMAGES THERMIQUES — AUXILIAIRES DANS L'ANALYSE DU TERRAIN

R é s u m é

Les images thermiques peuvent fournir de nombreuses informations complémentaires sur le territoire étudié. Nous avons dressé des images du territoire situé à l'ouest de Cracovie. Le survol effectué le 1^{er} juin 1977 de 21^h35 à 22^h20 heures a englobé plusieurs unités physico-géographiques se distinguant par leur structure géologique, leur relief et l'utilisation de leurs sols. Des échantillons de mesures de température sur place n'ont pas permis d'effectuer des profils thermographiques, ce qui fait que nous nous sommes bornés à une interprétation visuelle.

Celle-ci n'a permis de saisir que certaines dépendances entre la température de certaines formes d'utilisation des sols et leur émissivité. Les clichés photographiques ont laissé apparaître des tons plus clairs là où le terrain possédait la plus haute émissivité (les constructions, les routes), et l'on peut donc dire que ce genre de terrains était „plus chaud”. Sur le territoire de la ville de Skawina où la concentration de ces éléments est grande, l'image est très peu diversifiée. C'est l'humidité des sols qui s'est avérée un facteur important dans la différenciation des tonalités. Malgré la grande diversité tonale des cultures, le relief du sol était assez bien lisible, même lorsque le territoire était couvert de forêts. L'image thermique s'est avérée peu utile dans l'interprétation des champs cultivés; les champs constituent une mosaïque tonale et nous n'avons réussi à trouver de nettes dépendances. Malgré certains défauts, l'image thermique s'avère utile dans l'analyse d'un territoire étudié et elle permet de découvrir des traits complémentaires pour en reconnaître certaines catégories.

(Traduit par Michał Michalak)

