

Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH

Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej

SPRAWOZDANIE

z badań własnych za 1998 rok
Nr umowy: 10.150.483

Główny wykonawca:

Dr inż. Stanisław Mularz

Temat: *Teledetekcyjny monitoring skarp kopalń odkrywkowych*

Cel badań

Głównym celem badań była ocena przydatności wielospektralnych zobrażeń satelitarnych dla potrzeb interpretacji warunków geologiczno-złożowych oraz dokumentowania stanu prac rekultywacyjnych, w oparciu o wyniki numerycznego modelowania rozkładu inercji termalnej.

Obszar testowy dla prowadzenia powyższych badań stanowiła Kopalnia Węgla Brunatnego „Bełchatów”.

Zakres wykonanych prac

Zakres podjętych prac badawczych obejmował dwa zasadnicze segmenty:

1. Przetwarzanie komputerowe cyfrowych obrazów satelitarnych systemu LANDSAT TM dla potrzeb monitoringu kopalni odkrywkowej oraz oceny górniczo-geologicznych i rekultywacyjnych aspektów eksploatacji
2. Testowanie procedur pozwalających na integrację danych satelitarnych o różnej rozdzielczości przestrzennej i spektralnej w celu wydobycia tematycznej treści wielospektralnych zobrażeń i jednocześnie znaczącej poprawy ich walorów interpretacyjnych.
3. Wykonanie wielowariantowego modelowania rozkładu inercji termalnej w rejonie KWB „Bełchatów”, pod kątem detekcji cech geologiczno-złożowych i warunków gruntowo-wodnych w odkrywce, dokumentowania stanu obudowy roślinnej na zwałowisku zewnętrznym, jak również możliwości identyfikacji wybranych elementów topograficznych znajdujących się w otoczeniu kopalni

Kontekst merytoryczny dla powyższego programu stanowiły wyniki wcześniejszych badań, które obejmowały m.in.:

- ocenę przydatności istniejących metod klasyfikacji obrazów numerycznych dla potrzeb geologiczno-inżynierskiej i geologiczno-złożowej interpretacji zdalnych zobrażeń skarp kopalń odkrywkowych,
- ocenę przydatności wysokorozdzielczych, wielospektralnych zobrażeń satelitarnych dla potrzeb interpretacji warunków geologiczno-złożowych oraz dokumentowania stanu prac rekultywacyjnych, w trakcie prowadzonej eksploatacji odkrywkowej.
- analizę możliwości wykorzystania systemów typu GIS (Geo-Information Systems) dla numerycznego modelu kopalni odkrywkowej,
- pomiary charakterystyk spektralnych oraz matematyczne modelowanie odpowiedzi spektralnej wybranych serii utworów nadkładowych i serii złożowej w Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów”,
- wykonanie testowych rejestracji skarp w kopalni odkrywkowej KWB „Bełchatów”, przy zastosowaniu różnych technik fotograficznych oraz kamer video i CCD (Charge Coupled Device),
- opracowanie metodyki wykonywania i interpretacji zobrażeń termalnych skarp kopalni odkrywkowej oraz cyfrowe modelowanie inercji termalnej gruntu na podstawie termowizyjnych obserwacji naziemnych,
- terenową weryfikację wyników przetwarzania i tematycznej interpretacji zdalnych zobrażeń naziemnych, jak również danych teledetekcyjnych pozyskiwanych z pułapu lotniczego i satelitarnego

Podstawy teoretyczne i aspekty praktyczne modelowania inercji termalnej

Informacja zarejestrowana za pomocą zdalnych technik termalnych zależy od energii promieniowania docierającego do detektora, jego czułości i sposobu rejestracji. Emitowane z powierzchni Ziemi natężenie promieniowania zależy, zgodnie z prawem Stefana-Boltzmana, głównie od jej temperatury i zdolności emisyjnych.

W przypadku stosowania obu najpopularniejszych zdalnych systemów obrazujących tj. kamery termowizyjnej i skanera termalnego, standardowa procedura wstępnego przetwarzania danych pomiarowych umożliwia wyznaczenie temperatury rzeczywistej badanego obiektu przy znajomości jego zdolności emisyjnych, rodzaju wykorzystanego detektora i uwzględnieniu wpływu otoczenia na obraz termalny badanego obiektu. Prawidłowe obliczenie rzeczywistej temperatury powierzchni ciała w oparciu o zarejestrowaną wielkość promieniowania termalnego jest zagadnieniem niezwykle ważnym dla dalszych etapów numerycznego modelowania, gdzie zwykle wykorzystuje się właśnie obliczoną temperaturę rzeczywistą.

Dla określenia własności fizyczno-termicznych obiektu nie wystarczy znajomość rozkładu temperatury rzeczywistej na jego powierzchni. Interesująca jest bowiem analiza innych parametrów termalnych takich jak: pojemność cieplna, przewodność termalna, dyfuzyjność termalna czy np. inercja termalna. Inercja termalna (bezwładność cieplna) jest to wielkość charakteryzująca sposób reagowania ciała na zmiany temperatury i jest odwrotnie proporcjonalna do amplitudy zmian temperatury powierzchni ciała. Z definicji inercja termalna (P) zależy od przewodności termalnej (k), pojemności cieplnej (c) i gęstości ciała (ρ):

$$P = \sqrt{kc\rho} \quad (1)$$

Istnieje wiele przesłanek wskazujących na to, że parametr inercji termalnej jest bardzo interesujący z punktu widzenia detekcji cech litologicznych podłoża gruntowego oraz jego zawodnienia w warstwie przypowierzchniowej. Z badań teoretycznych prowadzonych przez Pratta i innych (1979), wynika, że obraz powierzchniowego rozkładu inercji termalnej jest dobrym materiałem interpretacyjnym dla szacowania rozkładu wilgotności w gruncie. W pośrednich metodach określania wilgotności gruntu poszukiwany jest jakiś parametr, którego zmiana byłaby związana głównie ze zmianą wilgotności, natomiast wpływ innych czynników byłby zaniedbywalny, czy niewielki. Istnieje wiele wielkości fizycznych, które są zależne od składu granulometrycznego oraz wilgotności gruntu (przewodność, pojemność cieplna, gęstość, zdolność emisyjna, albedo czy temperatura i wiele innych).

W trakcie tworzenia teledetekcyjnej metody określania wilgotności gruntu poszukuje się takiego parametru, który byłby w głównej mierze związany z wilgotnością gruntu, przy możliwie minimalnym wpływie innych czynników, a poza tym, aby można było wyznaczyć ten parametr zdalnie, za pomocą technik teledetekcyjnych. Parametr inercji termalnej został wybrany ze względu na to, że jest on silnie związany z wilgotnością gruntu przy niewielkim, zakłócającym wpływie składu mineralogicznego, głównie granulometrii, a poza tym można określić go zdalnie. Zależność inercji termalnej od wilgotności jest wprost proporcjonalna tzn.: *wzrost zawartości wody w gruncie powoduje wzrost jego inercji termalnej*. Najlepszym parametrem byłyby pojemność cieplna, która zupełnie nie zależy od składu mineralogicznego. Jednak nie istnieje zdalna metoda określania parametru pojemności cieplnej. Dlatego najlepszą obecnie metodą wyznaczania wilgotności gruntu, wykorzystując techniki teledetekcyjne, jest metoda oparta na parametrze inercji termalnej .

Wykorzystanie inercji termalnej nie polega na bezpośrednim pomiarze wielkości przewodności termalnej (k), ciepła właściwego (c) i gęstości (ρ) zgodnie z równaniem (1). Rzeczywistą wielkość inercji przybliża się za pomocą modelu matematycznego, w którym jako danych wejściowych używa się danych teledetekcyjnych. Modelowanie inercji termalnej wymaga jako danych wejściowych: rozkładu albedo i maksymalnych dobowych różnic temperatur. Dodatkowo wprowadza się dane dotyczące miejsca pomiaru, pory roku i dnia oraz parametry meteorologiczne. Podstawy teoretyczne modelowania inercji termalnej w oparciu o dane teledetekcyjne zostały zamieszczone w podręczniku Carslaw'a i Jeager'a (1959). Od tego czasu powstały różne modele matematyczne dla modelowania inercji termalnej gruntu [np. Kahle B.A. i in. 1977; Kimball B.A. i in. 1979; Kimes D.S, Kirche J.A. 1981; Pratt i in. 1979,1980; Rosema A. 1975; Watson K. 1973]

Model inercji termalnej.

±

Parametry modelu i dane wejściowe.

Poniżej opisane podstawy teoretyczne modelowania inercji termalnej opracowałam na podstawie publikacji Pratta D. A. i innych z 1980 roku.

Modele matematyczne do obliczania inercji termalnej są tworzone w oparciu o założenie, że energia cieplna dostarczana jest do gruntu przez radiację Słońca i przekazywana

w głąb na zasadzie przewodzenia. Przewodzenie ciepła w gruncie można opisać podwójnym równaniem różniczkowym :

$$c \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (2)$$

gdzie: c - objętościowa pojemność cieplna, [J/m³K],

k - współczynnik przewodności termalnej, [J/smK],

T - temperatura gruntu na głębokości x i w czasie t.

Z teoretycznego punktu widzenia, rozwiązanie równania (2) wymaga przyjęcia następujących wstępnych założeń:

- grunt jest półpłaszczyzną rozciągającą się w głąb Ziemi,
- właściwości termalne gruntu nie zmieniają się w zależności od głębokości,
- rozkład mocy promieniowania Słońca w czasie cyklu dobowego jest sinusoidalny.

Równanie (2) ma nieskończenie wiele rozwiązań, które zależą od przyjętych warunków granicznych i wybranej metody rozwiązania. Istnieją trzy podstawowe metody rozwiązania tego równania:

- rozwinięcie w szereg Fouriera,
- transformacja Laplace'a,
- algorytm skończonych różnic.

Główną zaletą rozwijania w szereg Fouriera równania (2) jest dostarczenie analitycznej postaci rozwiązania. Ponadto czas rozwiązania tą metodą jest znacznie krótszy niż za pomocą zarówno transformacji Laplace'a, jak i algorytmem skończonych różnic. Wadą natomiast jest konieczność linearyzacji warunków granicznych. Carslaw i Jeager (1959) jako pierwsi zaproponowali wykorzystanie szeregu Fouriera dla rozwiązania równania przepływu ciepła. Watson (1973, 1975) rozwinął tę metodę pod kątem zastosowania w geologii, tworząc model inercji termalnej gruntu. W bilansie energetycznym uwzględnił on jako energię dostarczoną do gruntu - energię promieniowania Słońca i nieba, a jako energię oddaną - energię emitowaną z powierzchni gruntu. Zaniedbał natomiast wpływ innych czynników np. warunków atmosferycznych.

Dalsze badania prowadzone na ten temat przez Pratta i innych (1980) umożliwiły opracowanie bardziej wszechstronnej metody. Uwzględnia ona:

- energię dostarczoną do gruntu: pochłonięte przez grunt promieniowanie termalne Słońca i nieba,

- energię oddaną przez grunt: emitowane promieniowanie termalne gruntu, turbulentny przepływ ciepła na granicy powietrze-grunt i ciepło parowania.

Według Pratta i innych (1980) energia G "netto" dostarczona do gruntu spełnia równanie:

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = G, \text{ przy czym:} \quad (3)$$

$$G = [(1 - A_s) S_0 C_T + L_d] - (L_u + H + E), \quad (4)$$

gdzie: A_s - średni współczynnik odbicia dla widzialnego przedziału spektrum,

S_0 - stała słoneczna,

C_T - współczynnik transmisji promieniowania widzialnego przez atmosferę,

L_d - promieniowanie ciepłe nieba,

L_u - promieniowanie ciepłe emitowane przez grunt,

H - przepływ ciepła zależny od:

- a) różnicy temperatur na granicy powietrze-powierzchnia gruntu,
- b) prędkości wiatru,
- c) stabilności atmosfery,

E - utajone ciepło parowania.

Po przekształceniach, energię G można wyrazić jako liniową funkcję temperatury powierzchni gruntu (T_g) wzorem:

$$G = (1 - A_s) S_0 C_T - (A + B T_g) \quad (5)$$

gdzie: A i B są parametrami, które zależą od lokalnych warunków atmosferycznych. Szczegółowy opis parametrów A i B znajduje się w źródłowej publikacji Pratta i in. (1980).

Uwzględniając powyższą postać równania (5) opisującego wielkość energii "netto" dostarczonej do gruntu można rozwiązać równanie przepływu ciepła (2), a po odpowiednich przekształceniach (Pratt D.A. i inni, 1980) otrzymać formułę określającą maksymalną dzienną różnicę temperatur powierzchni gruntu:

$$\Delta T = T_{\max} - T_{\min} = (1 - A_s) S C_T \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n \{ \cos(n\omega t_{\max} - \delta_n) - \cos(t_{\min} - \delta_n) \}}{(B^2 + BP\sqrt{2}\omega n + P^2\omega n)^{\frac{1}{2}}} \quad (6)$$

gdzie: $\delta_n = \arctg(1 + (2/n\omega)^{1/2} B/P)$,

$$S = S_0(\cos\delta \cos\varphi \cos\omega t + \sin\delta \sin\varphi),$$

$$A_n = -\frac{2\Phi}{n\pi} - \sin nx + \frac{2\theta}{\pi(n^2 + 1)} (n \cos x \sin nx + \cos nx \sin x),$$

$$A_1 = \frac{2\Phi}{\pi} \sin x + \frac{\theta}{\pi} (0.5 \sin 2x + x),$$

$$\Phi = \cos \delta \sin \varphi,$$

$$\theta = \cos \delta \cos \varphi,$$

φ - szerokość geograficzna

δ - deklinacja Słońca,

$x = \arccos(\tan \delta \tan \varphi)$,

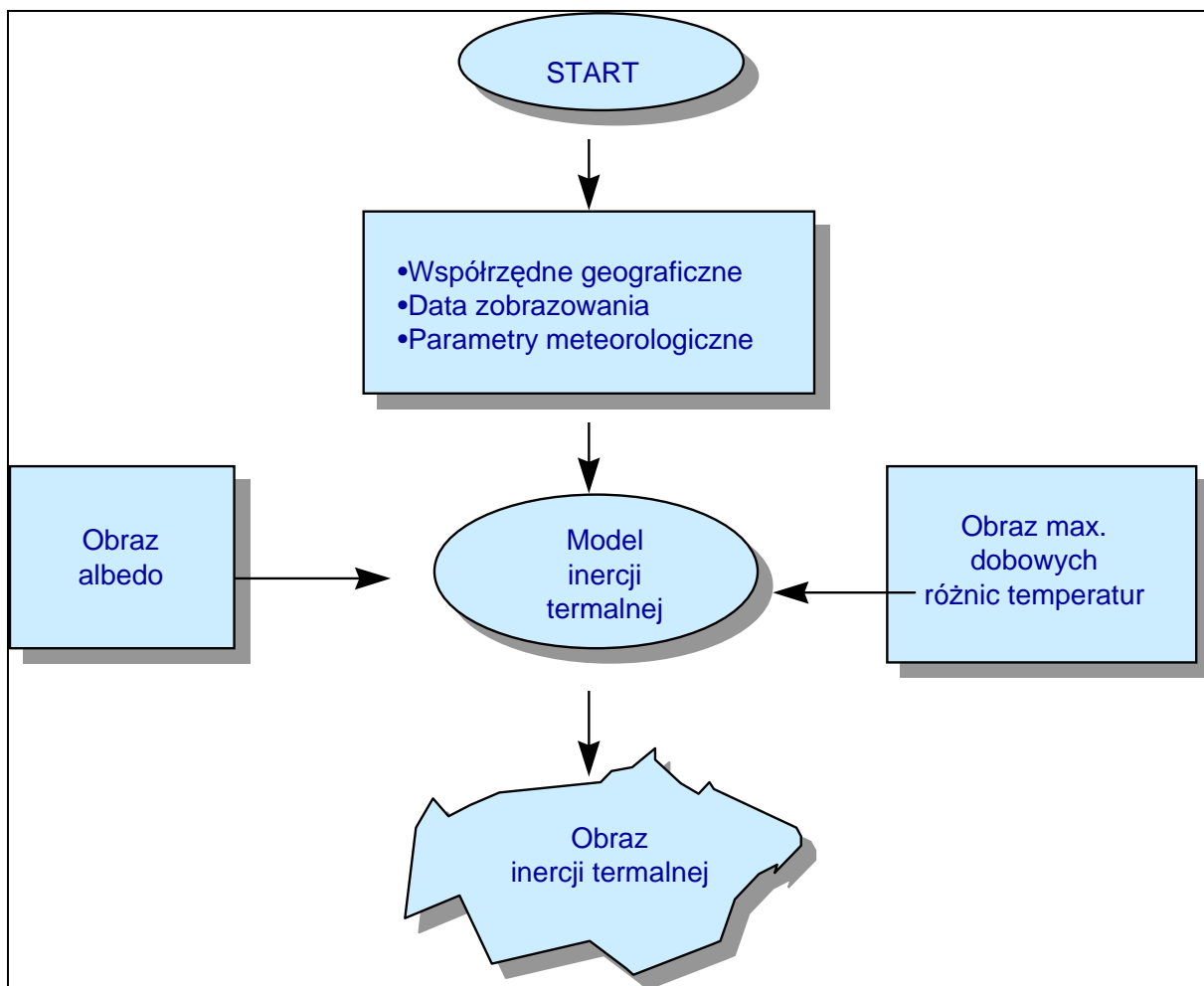
$$\omega = 2\pi/T,$$

T_{\max} i T_{\min} - odpowiednio maksymalna i minimalna temperatura gruntu w czasie

t_{\max} i t_{\min} .

Program do modelowania inercji termalnej MODI

Zależność (6) jest podstawą modelowania inercji termalnej gruntu (P) w oparciu o zdalne informacje, dotyczące rozkładu współczynnika odbicia (albedo A_S) i rozkładu maksymalnych i minimalnych temperatur na powierzchni badanego gruntu (T_{\max} i T_{\min}), po uwzględnieniu danych geograficznych i warunków atmosferycznych dla rejonu pomiaru. Formuła (6) stanowi podstawę programu: MODI, opracowanego przez dr inż. Beatę Hejmanowską (Hejmanowska B., 1991) dla cyfrowego modelowania inercji termalnej gruntu. Poniżej został przedstawiony schemat blokowy działania programu MODI.



Schemat blokowy programu MODI.

Materiały i metodyka badań

Wprowadzenie zdalnych metod kartowania skarp odkrywki do praktyki geologicznej obsługi wielkoprzestrzennych kopalń odkrywkowych uzasadnia celowość przeprowadzenia badań nad wykorzystaniem do tego celu również cyfrowych obrazów satelitarnych. Spośród aktualnie dostępnych danych satelitarnych, za najbardziej przydatne do tego rodzaju badań uznano zobrazowania pozyskiwane przez systemy LANDSAT TM oraz SPOT, które łącznie charakteryzują się zarówno dużą rozdzielczością spektralną jak również wysoką rozdzielczością przestrzenną.

Zestaw wykorzystanych materiałów obejmował następujące dane teledetekcyjne dla rejonu KWB „Bełchatów”:

1) obraz satelitarny systemu LANDSAT TM zarejestrowany w siedmiu kanałach spektralnych (rozdzielczość 30m) obejmujących pełny zakres widma widzialnego, bliską i środkową podczerwień oraz tzw. długofalową podczerwień termalną (rozdzielczość 120 m). Obraz ten został zakupiony w ramach specjalnej oferty EURIMAGE, dla badań prowadzonych w poprzednim etapie,

2) barwne zdjęcia lotnicze, w skali 1:26 000, wykonane i udostępnione w ramach programu PHARE

W pracach studialnych wykorzystywano również inne materiały fotolotnicze, dane kartograficzne, w tym także wyniki bezpośredniego, geologicznego kartowania skarp odkrywki oraz raporty i opracowania dotyczące zabiegów rekultywacyjnych prowadzonych na zwałowisku zewnętrznym kopalni.

Metodyka badań obejmowała następujące elementy:

1. Wstępne przygotowanie danych satelitarnych do dalszej analizy polegające na zastosowaniu różnorodnych procedur przetwarzania obrazów cyfrowych, takich jak: usuwanie zniekształceń geometrycznych i radiometrycznych, wzmacnianie kontrastu wyciągów spektralnych, generowanie kompozycji, klasyfikacja danych obrazowych, przekształcenie rozdzielczości przestrzennej, techniki filtracyjne.

2. Kalibrację „surowych” obrazów satelitarnych LANDSAT TM-3 do postaci albedo oraz LANDSAT TM-6 do rozkładu temperatury kinetycznej, w obrębie obszaru testowego;

3. rekonstrukcję maksymalnej różnicy temperatury dobowej (ΔT) poprzez symulację termogramu dziennego (T_{\max}) i porannego (T_{\min});

4. numeryczne modelowanie rozkładu inercji termalnej dla obszaru testowego wg koncepcji Pratta D.A. i in. (1980), przy użyciu programu MODI.

Wszystkie procedury przetwarzania zobrazowań teledetekcyjnych wykonano pod nadzorem systemu IDRISI. Natomiast numeryczne modelowanie rozkładu inercji termalnej prowadzono przy użyciu programu MODI, którego autorem jest dr inż. Beata Hejmanowska

Wybór kanału TM-3 (czerwonego) systemu LANDSAT, jako wzorca do kalibracji obrazu albedo, oparto na wynikach wcześniej prowadzonych badań (Mularz S., Hejmanowska B., 1990). Zabieg kalibracji polegał na przeskalowaniu rzeczywistych wartości obrazowych (DN) do zakresu albedo od 0.00 do 0,43, który odpowiadał minimalnej i maksymalnej wartości odbicia spektralnego obiektów odwzorowanych w obrębie pola testowego. Obraz temperatury kinetycznej na badanym obszarze wygenerowano za pomocą wewnętrznego algorytmu kalibracyjnego systemu IDRISI, który umożliwia zamianę rejestrowanego przez skaner satelity LANDSAT, poziomu temperatury radiacyjnej na temperaturę rzeczywistą w °C. Tak uzyskany obraz posłużył następnie do rekonstrukcji tzw. termogramu dziennego, który odzwierciedla maksymalny poziom temperatury dobowej tzn. około godz. 14⁰⁰ (Rys.4).

Symulacja termogramu porannego, pokazującego rozkład minimalnej temperatury dobowej, przebiegała dwuetapowo. Najpierw sporządzono rodzaj „maski” (Rys.5), która stanowiła rezultat klasyfikacji nadzorowanej, metodą równoległościaków (PIPED), wszystkich danych wielospektralnych (kanały odbijalne) systemu LANDSAT TM (1,2,3,4,5,7). W drugim etapie dokonano klasyfikacji wydzielonych kategorii w oparciu o dostępne dla nich dane kalibracyjne, określające średni poziom temperatury rzeczywistej dla wód powierzchniowych zwartych kompleksów leśnych, odsłoniętych robotami górniczymi, utworów nadkładu i węgla brunatnego. Z kolei termogramy; dzienny i poranny posłużyły do wygenerowania rozkładu maksymalnych różnic temperatury dobowej (Rys.6). Obraz ten stanowi, obok obrazu albedo, drugi element obrazowy danych wejściowych, zgodnie z wymaganiami modelu Pratta i in. (1980).

Numeryczne modelowanie rozkładu inercji termalnej przeprowadzono w dwóch wariantach, wykorzystując następujące zestawy danych wejściowych:

- obraz albedo + skalibrowany kanał termalny TM 6 systemu LANDSAT (wersja 1),
- albedo + symulowany obraz amplitudy temperatury dobowej (wersja 2).

Omówienie wyników

Graficzna syntezę prowadzonych prac badawczych stanowią ilustracje (Rys.7, Rys.8). Wyniki modelowania rozkładu inercji termalnej dla obydwu wariantów danych wejściowych ujawniły jednoznaczną geometryzację kompleksu górniczo energetycznego (odkrywką,

zwałowisko zewnętrzne, elektrownia, składowisko popiołu i żuźla). Obiekty te cechuje ogólnie biorąc niższy poziom inercji termalnej niż otoczenia. Dotyczy to zwłaszcza modelowania wg wersji 1 (Rys.7) z udziałem tylko skalibrowanych obrazów wejściowych (albedo + kanał termalny z LANDSATA). Środowisko wód otwartych zgodnie z przewidywaniami, charakteryzuje się zdecydowanie najwyższym poziomem inercji, zaś obudowa roślinna zbocza północnego zwałowiska zewnętrznego kopalni, podobnie jak zwarte kompleksy leśne w otoczeniu kopalni charakteryzują pośrednie wartości inercji.

Ponadto stwierdzono, iż modelowanie inercji termalnej pozwala na jednoznaczną detekcję serii złożowej i płonnych utworów nadkładu, zwłaszcza gdy dysponujemy obrazem maksymalnej amplitudy temperatury dobowej (Rys.8). W tym przypadku istnieje duża zgodność rezultatów modelowania z wartościami inercji termalnej obliczonymi w oparciu o parametry fizyko-termiczne głównych gruntów nadkładu i serii złożowej w KWB „Bełchatów” (Tab.1).

Tabela 1

Opis makroskopowy próby gruntu	Gęstość przestrzenna $[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]\cdot 10^3$	Właściwa poj.ciepna c $[\text{Jm}^{-1}\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]\cdot 10^3$	Współ. przew.ciepła $[\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}]$	Inercja termalna $P[\text{Wm}^{-2}\text{OK}^{-1}\text{s}^{\frac{1}{2}}]$		
				Obliczo- Na	Model. wersja 1	Model. wersja 2
Piasek drobny,szary	1,85	0,82	1,65	1582.10	170	1465
Piasek średni,beżowy	1,90	0,88	1,72	1695.83	-	-
Piasek pylasty	1,95	0,96	1,80	1835,64	253	1837
Gлина zwałowa, j. brązowa	2,25	0,75	1,27	1463.94	370	1668
Mułek oliwkowy	2,15	1,04	2,15	2192,58	-	-
Il c. brązowy	2,45	0,92	2,05	2149,58	-	-
Il węglowy czarny	2,50	0,98	2,12	2279,03	555	1923
Grytia kremowo- biała	2,50	0,95	2,47	2422,03	-	-
Węgiel brunatny, ziemisty	1,08	0,64	0,28	439.93	586	438

Pomimo dużej generalizacji obrazu związanej z rozdzielczością przestrzenną danych teledetekcyjnych (30 m dla albedo i 120 m dla kanału termalnego) ujawnia się zróżnicowanie poziomu inercji w obrębie, odsłaniających się na skarpach i poziomach roboczych, utworów nadkładu, zarówno w odkrywce, jak i na zwałowiskach: zewnętrznym i wewnętrznym. Jest to

związane przede wszystkim ze zróżnicowaniem litologicznym nadkładu złoża, jak również ze zmianami wilgotności zalegających tam utworów.

Wyniki aktualnie wykonanych prac zostały w całości włączone do treści mojej rozprawy habilitacyjnej pt. „*Monitoring skarp kopalń odkrywkowych*”

Podsumowanie

Rezultaty wykonanych badań potwierdziły, iż kompleksowy monitoring geologiczno-górnictwo wielkoprzestrzennych kopalń odkrywkowych może być z powodzeniem prowadzony w oparciu o wspomaganą komputerowo interpretację obrazów satelitarnych systemu LANDSAT TM. Dotyczy to zwłaszcza możliwości kompleksowego dokumentowania głównych elementów litologiczno-strukturalnych w obrębie nadkładu i serii złożowej. Odmienny i niezwykle interesujący zakres zastosowań zobrazowań satelitarnych stanowi problematyka rekultywacji zwałowisk zewnętrznego i wewnętrznego. Stwierdzono tutaj możliwość szczegółowej inwentaryzacji obudowy roślinnej zwałowiska, a także oceny stanu i stopnia zaawansowania prac rekultywacyjnych.

Zobrazowania wieloczasowe (multitemporalne) dokonywane z pułapu satelitarnego umożliwiają ponadto prowadzenie tzw. monitoringu dynamicznego, który pozwala na dokumentowanie i analizę zachodzących zmian w obrębie kopalni, tak w sensie jakościowym jak i ilościowym.

Dokumentowanie szczegółowej budowy geologicznej i warunków gruntowo-wodnych dla bieżących potrzeb ruchu kopalni powinno być w dalszym ciągu dokonywane na podstawie zdalnych rejestracji naziemnych. W toku dotychczas wykonanych badań stwierdzono, iż efektywność teledetekcyjnego monitoringu skarp kopalń odkrywkowych może być wydatnie zwiększona poprzez zastosowania video kamery lub kamery CCD wraz z metodyką interpretacji tematycznej opartą na cyfrowym przetwarzaniu danych obrazowych.

Praktyczny aspekt realizacji całości tematu dotyczy możliwości wdrożenia opracowanej metodyki teledetekcyjnego monitoringu kopalń odkrywkowych oraz sposobów interpretacji i opracowania różnej postaci zobrazowań, dla potrzeb górniczo-geologicznej obsługi ruchu kopalni.

Literatura

- Carslaw, H.S., Jeager, J.C. 1959 - „*Conduction of heat in solid*” - Oxford, London, 1959.
- Gillespie A.R., Kahle A.B., 1977 - „*Construction and Interpretation of a Digital Thermal Inertia Image*” - Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 43, No. 8, August 1977, str. 983-1000.
- Cierniewski, J., 1985 - „*Relation Between Soil Moisture Tension and Spectral Reflectance of Different Soil in Visible and Near-Infrared Range*” - Proceedings of 3rd International Colloquium on Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing, Les Arcs, France, 16-20 Dec. 1985 (ESA SP-247).
- Civco, D.L., 1989 - „*Topographic Normalisation of Landsat Thematic Mapper Digital Imagery*” - Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 55 (9): 1303-1309.
- Hejmanowska B, Mularz S., Sroka R., Stencel M., 1996 - „*Pomiary temperatury kinetycznej powierzchni gruntu przy użyciu cyfrowego termometru matrycowego*” - XXVII Międzyuczelniana Konferencja Metrologów MKM'96, Politechnika Częstochowska
- Hejmanowska B., Mularz S., 1996 - „*Thermal inertia modelling for soil moisture assessment based on remotely sensed data*” - Int. Archives of Photogrammetric and Remote sensing XVII ISPRS Congress, Vienna, Austria,
- Hejmanowska B., Mularz S., Sitek S., 1997 - „*Badanie wilgotności gruntów z wykorzystaniem zobrazowań teledetekcyjnych i modelu inercji termalnej*” - Projekt badawczy Komitetu Badań Naukowych Nr 9 S605 019
- Kahle A.B., 1977 - „*A simple model of the earth's surface for geologic mapping by remote sensing*” - Journal of Geophysical Research 82,
- Kahle B.A., Gillespie A.R., Geotz A.F.H. - „*Thermal Inertia Mapping; A New Geologic Mapping Tool*” - Geophysical Research Letters, January 1976, Vol.3, No.1,
- Kimball B.A., Jackson R.D., Reginato R.J., Nakayama F.S., Idso S.B., 1976 - *Comparison of Field - measured and Calculated Soil - heat Fluxes* - Soil Sci.Soc.Amer.J., Vol 40.
- Kimes, D.S., Kirchner, J.A., 1981 - „*Modelling the Effects of Various Radiant Transfer in Mountains Terrain on Sensor Response*” - IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GE-19 (2): 100-107.
- Mularz S., Tokarczyk A. Tokarczyk R., 1984 - „*Termowizyjne badania dużej kopalni odkrywkowej węgla brunatnego*” - w Materiałach VI Ogólnopolskiego Symposium PRTF „Fotogrametria i teledetekcja w zagadnieniach inżynierskich”, Zeszyty Naukowe AGH, Geodezja z.84.
- Mularz S., 1985 - „*Termowizyjne obserwacje szarp w kopalni odkrywkowej*” - Fotointerpretacja w geografii, T.VIII Katowice,
- Mularz S., Hejmanowska B., 1987 a - „*Termowizyjne badania dwuskładnikowych prób gruntowych*” - Zeszyty Naukowe AGH Geodezja z. 94
- Mularz S., Hejmanowska B. 1987 b - „*Laboratory test of specially prepared soil samples using AGA 750 thermovision system*”, - 5th Conference on Thermogrammetry and Thermal Engineering, Budapest, Hungary, 8-10 June 1987,

Mularz S.C., Hejmanowska B., 1990 a - „*Digital processing of remotely sensed data for thermal inertia mapping*” - In International Archives of Photogrammetric and Remote Sensing, International Symp. Com. III of ISPRS, „Progress in data analysis”, Wuhan, China, May 20-24.

Mularz S., Hejmanowska B., 1990 b - „*Numeryczne modelowanie inercji termalnej dla zdalnego określania wilgotności gleb*”- Akademia Rolnicza, Wrocław, Inst. Plan. i Urządz. Terenów Wiejskich, RPBR nr 21, „Urządzanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej”, z. 5 „Metody transformacji obrazów satelitarnych i fotogrametrycznych dla potrzeb gospodarki rolnej i wodnej”,

Mularz S. 1990 - „*Katalog charakterystyk spektralnych utworów występujących w rejonie KWB Belchatów*” - w ramach pracy RPBP I.07.II.8NEN AGH, Kraków 1990 nt.: „*Doskonalenie metod pomiarów fotogrametrycznych kopalni odkrywkowych i kamieniołomów*”

Mularz S., Hejmanowska B., 1991 - „*Using thermal inertia distribution for land-cover classification*” - 7th Conference on Thermogrammetry and Thermal Engineering, Budapest, 1991,

Pettit, E., Nicholson, S.B., 1930 - „*Lunar Radiation and Temperature*” - Astrophysical Journal, 71: 102-193.

Pratt D.A., Ellyett C.D., - 1979 - „*Thermal Inertia Approach to Mapping of Soil Moisture and Geology*” - R.S. of Environment 8, 151-168,

Pratt D., Foster S.J., Ellyett C.D., 1980 - „*A Calibration Procedure for Fourier Series Thermal Inertia Model*” - Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, No 4, April., pp. 529-538,

Rosema A., 1975 - „*A mathematical model for simulation of the thermal behaviour of the bare soils, based on heat and moisture transfer*” - NIWARS Publ., No11, The Netherlands, Delft, 1975

Watson, R.D., 1972 - „*Spectral Reflectance and Photometric Properties of Selected Rocks*” - Remote Sensing of Environment,

Watson K., 1973 - „*Periodic Heating of Layer over a Semi-Infinite Solid*” - Journal of Geophysical Research, September 10, Vol. 78, No. 26,

Watson K., 1975 - „*Geologic Application of Thermal Infrared Images*” - Proceeding of IEE January,