

Porównanie wyników korekcji atmosferycznej 6S zdjęcia Landsat ETM z zastosowaniem standardowych parametrów wejściowych oraz uzyskanych na podstawie pomiarów meteorologicznych

Comparison of the results of 6S atmospheric correction of Landsat ETM image using default input parameters as well as meteorological measurements

Jędrzej BOJANOWSKI, Stanisław LEWIŃSKI

The complex phenomenon that is the interaction between electromagnetic wave and gasses and aerosols in the atmosphere makes the algorithm of atmospheric correction a very complicated operation; one needing many input parameters concerning the state of the atmosphere. This data is not easily accessible, nor is it very precise. This is why it is interesting to see in what degree the outcomes of the atmospheric corrections carried out on default input parameters differ from the corrections carried out with the use of real parameters, measured in the moment and place of the acquisition of the image.

The comparison of images after both standard (default) and optimal corrections is used to ascertain whether the lack of a real, measured state of the atmosphere in the moment of the acquisition-

ing of the image, on the one hand, and the use of standard parameters on the other, results in significant differences in the spectral reflectance. In order to carry out the comparison, there were used the default parameters available in the 6S, radiosonde measurements made at the IMGW station in Legionowo and aerosol optical thickness measured in Belsk, available in the AERONET.

The comparisons made clearly show that the results of atmospheric correction that were carried out on the basis of default input parameters are very similar to those obtained on the basis of real meteorological measurements. The stating of this is of crucial importance for quantitative researches made on the basis of satellite images, for which it is not always easy to obtain real meteorological data.

Wstęp

Wraz ze wzrostem liczby zastosowań zdjęć satelitarnych do badań ilościowych – nie związanych z interpretacją wizualną – istotnym problemem stała się ich porównywalność. Zobrazowania wykorzystywane do opracowań wykonywane są przez różne sensory, przy różnym stanie atmosfery i położeniu Słońca. Kąty padania promieni słonecznych na obrazowany teren zależą też od topografii terenu. Wszystkie te różnice powodują, że wartości jaskrawości pikseli na zdjęciu są wielkościami względnymi, uzależnionymi od rodzaju detektora, wpływu atmosfery czy położenia Słońca, a nie tylko od cech powierzchni, którą obrazują.

Wielkością, która jest bezwzględna i porównywalna, jest spektralny współczynnik odbicia ρ_λ . Proces przejścia od jaskrawości pikseli do współczynnika odbicia nazywa się korekcją radiometryczną. Jednym z jej etapów jest korekcja atmosferyczna, której poświęcona jest niniejsza praca. Ma ona za zadanie zniwelować wpływ atmosfery na rejestrowane promieniowanie elektromagnetyczne.

Sposoby korekcji atmosferycznych można podzielić przede wszystkim ze względu na informacje, jakie są potrzebne do ich wykonania. Możemy zatem wyróżnić metody proste, które polegają tylko na przekształceniu zdjęcia i nie wymagają żadnych informacji, poza tymi, które niesie samo zdjęcie, oraz metody złożone, do których potrzebne są m.in. dane o stanie atmosfery w chwili i miejscu wykonywania zdjęcia. Analizowany w pracy model 6S jest obecnie podstawowym przykładem metod złożonych.

Skomplikowane zjawisko interakcji fal z gazami i aerozolami w atmosferze powoduje, że algorytm przeprowadzania korekcji atmosferycznej jest złożony i wymaga wielu parametrów wejściowych, dotyczących stanu atmosfery. Dostęp do tych danych jest często bardzo trudny, a ich dokładność niewielka. Z tego powodu interesujące jest, w jakim stopniu różnią się wyniki korekcji atmosferycznej wykonanej na parametrach uśrednionych (standardowych), w stosunku do korekcji z zastosowaniem parametrów rzeczywistych, pomierzonych w chwili i miejscu wykonywania zdjęcia.

Model 6S

Skrót 6S pochodzi od pełnej nazwy algorytmu: Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum. 6S jest drugą, ulepszoną wersją modelu 5S, opracowanego w Laboratoire d'Optique Atmosphérique w Lille (Vermote, 1997a, Vermote, 1997b). Pozwala on na modelowanie transferu promieniowania elektromagnetycznego o długościach fal od 0,25 μm do 4,0 μm przez bezchmurną atmosferę. Model 6S pozwala na usunięcie błędu w satelitarnym pomiarze promieniowania odbitego od powierzchni Ziemi.

Parametry wejściowe

Użycie modelu 6S wymaga wprowadzenia wielu zmiennych pogrupowanych w dane dotyczące: geometrii układu Ziemia–Słońce–satelita, modelu atmosfery, modelu aerozoli, detektora oraz typu wprowadzanych danych.

Geometria układu Ziemia–Słońce–satelita

Opisanie tego układu wymaga wprowadzenia rodzaju satelity (np. Landsat-7), daty wykonania zobrazenia: dzień, miesiąc oraz godzina w formacie dziesiętnym według czasu uniwersalnego oraz współrzędnych geograficznych środka sceny. Na tej podstawie program wyznacza kąty: azymutalny i zenitalny satelity oraz Słońca.

Model atmosfery

Zbudowanie modelu atmosfery wymaga podania profilu atmosfery, w którego skład wchodzi: wysokość n.p.m., ciśnienie powietrza, temperatura powietrza oraz gęstość pary wodnej i ozonu na trzydziestu czterech poziomach. Istnieje także możliwość wybrania sześciu zdefiniowanych w 6S modeli odpowiadających następującym warunkom:

- brak absorpcji przez gazy
- tropikalny
- szerokości umiarkowanych letni
- szerokości umiarkowanych zimowy
- subarktyczny letni
- subarktyczny zimowy
- standardowy amerykański (US 62)

Możliwe jest również podanie zawartości pary wodnej oraz ozonu łącznie w całej atmosferze. W takim przypadku rozkład H_2O i O_3 w profilu zostanie zrobiony na podstawie US 62.

Model aerozoli

Model aerozoli jest opisany przez udział cząstek różnych typów i ich wielkości w całym profilu. Mamy do dyspozycji sześć modeli zdefiniowanych w 6S:

- brak aerozoli
- model kontynentalny
- model morski,
- model miejski
- model Shettle'a dla krajobrazów pustynnych (Shettle, 1989).

- model dla pożarów biomasy.
- model stratosferyczny.

Istnieje możliwość zbudowania własnego modelu aerozoli. Można to zrobić na trzy sposoby:

- podając procentowy udział objętościowy czterech typów cząstek: pyłów, rozpuszczalnych w wodzie, pochodzenia oceanicznego i popiołów,
- definiując funkcję rozkładu wielkości cząstek (trzy typy rozkładu),
- wprowadzając wyniki z pomiarów fotometrycznych.

Konieczne jest również podanie parametru widoczności, wprowadzając albo widoczność meteorologiczną w kilometrach albo gęstość optyczną aerozolu dla fali o długości 550 nm.

Detektor

Detektor, którym zostało wykonane zobrazenie można zdefiniować samemu lub wybrać jeden z listy sześćdziesięciu siedmiu zdefiniowanych w 6S. Informacje dotyczące detektora zawierają zakres długości fal, które są rejestrowane, oraz parametry potrzebne do jego kalibracji.

Typ danych

Konieczne jest wprowadzenie informacji na temat typu danych, które odczytujemy z obrazu. Dla zdjęcia Landsat ETM+ dostępne są cztery typy danych:

- „pozorny” współczynnik odbicia w przedziale 1–100,
- jaskrawość piksela (DN) zmierzona przez Landsat ETM+ przed 1 lipca 2000 roku (0–255),
- jaskrawość piksela (DN) zmierzona przez Landsat ETM+ po 1 lipca 2000 roku (0–255),
- luminancja energetyczna na górnej granicy atmosfery (0–255).

Algorytm przeprowadzania korekcji

Do opisanego algorytmu 6S niezbędne jest wprowadzenie wielkości „pozornego” współczynnika odbicia na górnej granicy atmosfery ρ^{TOA} . Jest to współczynnik odbicia obiektu wyznaczony na podstawie wielkości luminancji energetycznej zarejestrowanej przez detektor na górnej granicy atmosfery, bez uwzględnienia wpływu atmosfery. Zatem, gdyby założyć, że atmosfera nie wpływa na promieniowanie mierzone przez detektor, „pozorny” współczynnik odbicia równałby się rzeczywistemu. Stąd, nie uwzględniając wpływu atmosfery, możemy zapisać, że:

$$\rho^{\text{TOA}} = \frac{\pi L_{\lambda}^s}{E_{\lambda}^0 \cos \theta}$$

gdzie:

- L_{λ}^s całkowite promieniowanie rejestrowane przez detektor,
- E_{λ}^0 natężenie napromienienia na górnej granicy atmosfery,
- θ kąt padania promieni słonecznych.

Przejdźcie od ρ^{TOA} do rzeczywistego odbicia ρ_A wymaga rozwiązania następującego wyrażenia z niewiadomą ρ_A (Kowalik, 2002):

$$\rho^{\text{TOA}}(\theta_s, \theta_v, \varphi_s - \varphi_v, z) = t_g(\theta_s, \theta_v, z) \left[\rho_R(\theta_s, \theta_v, \varphi_s - \varphi_v, z) + \rho_A(\theta_s, \theta_v, \varphi_s - \varphi_v, z) + \tau_s(\theta_s, z) \tau_v(\theta_v, z) \frac{\rho_A}{1 - S(z) \rho_A} \right]$$

gdzie:

- ρ^{TOA} „pozorny” współczynnik odbicia,
- ρ_A współczynnik odbicia,
- θ_s kąt zenitalny Słońca,
- θ_v kąt zenitalny satelity,
- φ_s kąt azymutalny Słońca,
- φ_v kąt azymutalny satelity,
- z wysokość terenu n.p.m.,
- t_g współczynnik transmisji atmosfery, wynikający z absorpcji gazowej,
- ρ_R współczynnik odbicia własnego atmosfery związany z rozpraszaniem Rayleigh’a,
- ρ_A współczynnik odbicia własnego atmosfery związany z rozpraszaniem Mie,
- τ_s współczynnik transmisji przez atmosferę na drodze Słońce–Ziemia,
- τ_v współczynnik transmisji przez atmosferę na drodze Ziemia–detektor,
- S albedo sferyczne atmosfery.

Schemat modelu 6S przedstawia rysunek 1.

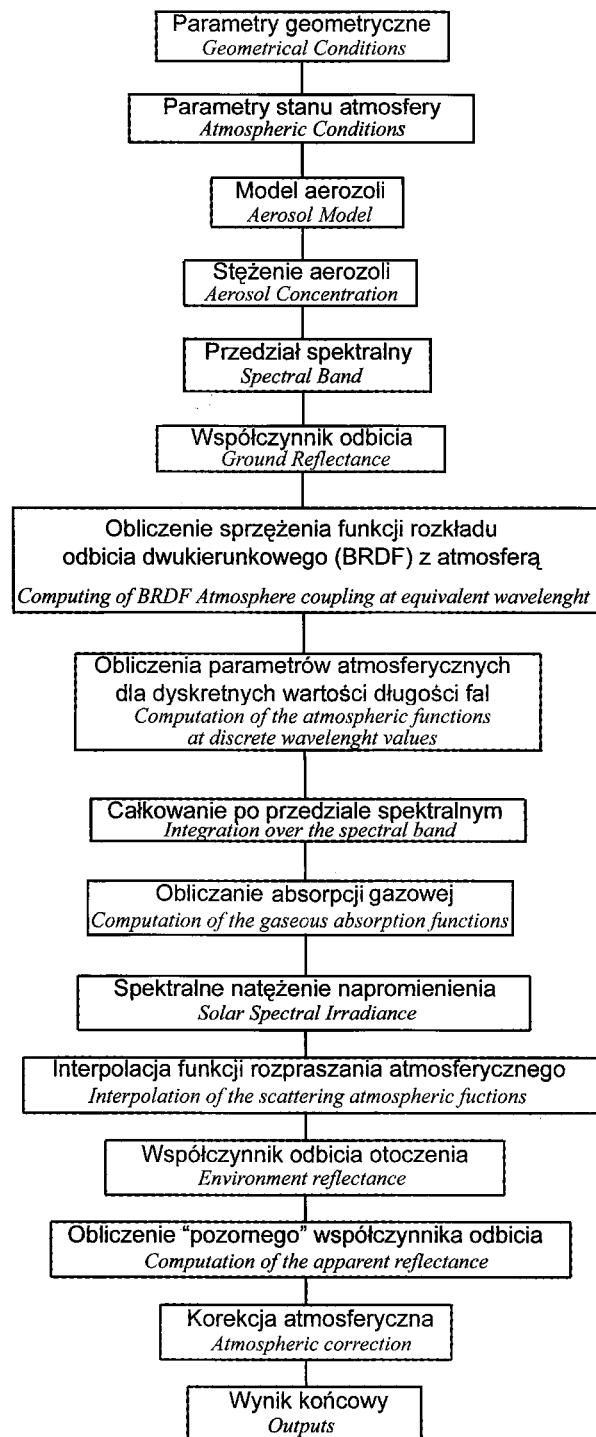
Materiały źródłowe

Część materiału źródłowego jest wspólna dla wszystkich zagadnień analizowanych w niniejszej pracy. Jednakowe dla wszystkich analiz są: teren badań, zdjęcie satelitarne oraz część parametrów wejściowych modelu 6S.

Teren badań

Teren badań obejmuje 736 km² w centralnej części Polski, na północny-wschód od Warszawy. Administracyjnie mieści się w granicach trzech powiatów województwa mazowieckiego: legionowskiego, wołomińskiego i wyszkowskiego. W jego zasięgu znajdują się: Dolina Dolnego Bugu z ujściem do Narwi, Dolina Dolnej Narwi, wraz z zaporowym Jeziorem Zegrzyńskim o powierzchni 33 km², oraz Równina Wołomińska z doliną Rządzy i Wysoczyzna Ciechanowska (Kondracki, 2001). Deniwelacje na tym obszarze nie przekraczają 60 m. Pod względem użytkowania ziemi teren jest dość urozmaicony. Duże powierzchnie zajmują grunty orne, łąki w dolinach Bugu i Rządzy oraz lasy, przeważnie iglaste. Las liściasty występuje na małym obszarze na północ od Marek. Zważywszy na bliskie sąsiedztwo aglomeracji warszawskiej, w południowej części terenu występuje zabudowa rozproszona, wzdłuż Kanału Żerańskiego i drogi krajowej Warszawa–Białystok. Zabudowa zwarta występuje w granicach miast: Wołomina i Radzymina.

Wybrany został ten fragment sceny satelitarnej ze względu na bliskie położenie Legionowa, w którym znaj-



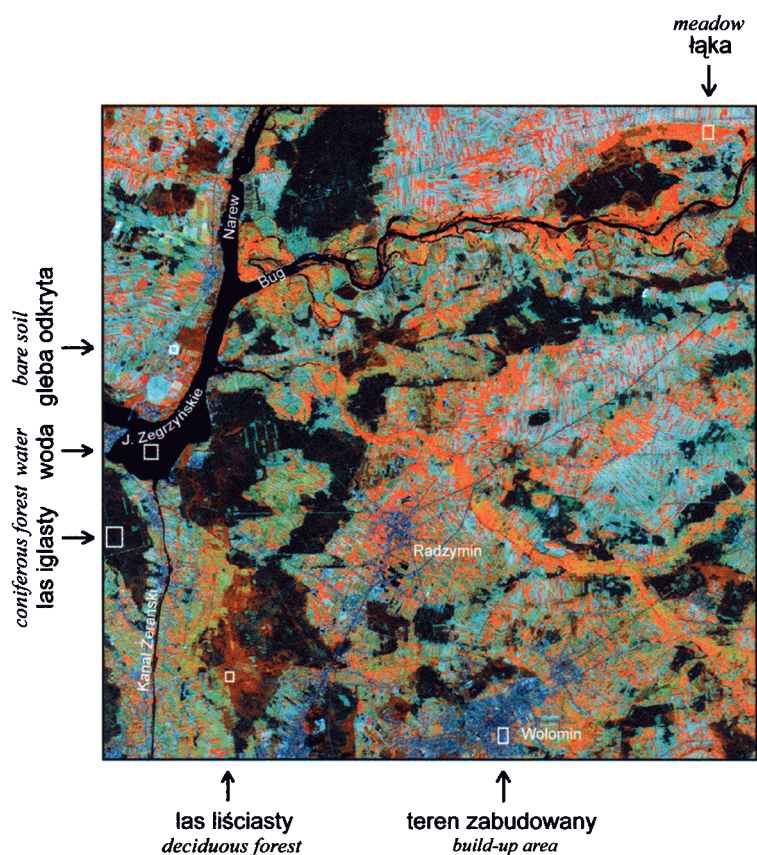
Ryc. 1. Schemat blokowy modelu 6S (Kowalik, 2002 [za:] Vermote, 1997b).

Fig. 1. Block diagram of 6S model.

duże się stacja IMGW, w której wykonane zostały wykorzystane w pracy pomiary balonowe. Kompozycję barwną obejmującą teren badań przedstawia rycina 2.

Zdjęcia satelitarne

Zdjęcie satelitarne pochodzi z bazy The Global Land Cover Facility (GLCF) (<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/>). Wykonane zostało przez satelitę Landsat-7 skanerem



Ryc. 2. Analizowane zdjęcie satelitarne (RGB 453) z zaznaczonymi polami testowymi.

Fig. 2. Analysed satellite image (RGB 453) with test fields.

ETM+ 6 maja 2002 roku. W pracy używany jest fragment sceny 187/24, dystrybuowany przez GLFC w formie TIFF, zawierający wartości jaskrawości pikseli. Wykorzystano kanały od pierwszego do piątego oraz siódmy, wszystkie o rozdzielczości przestrzennej 30 metrów i radiometrycznej 8-bitów (tabela 1).

Tabela 1. Zakresy spektralne wykorzystanych kanałów ETM+ (Landsat, 2005)

Table 1. Spectral ranges of bands of Landsat ETM+

Numer kanału Band number	Zakres spektralny [µm] Spectral range
1	0, 450 – 0,515
2	0, 525 – 0,605
3	0, 630 – 0,690
4	0, 750 – 0,900
5	1, 550 – 1,750
7	2, 090 – 2,350

Wybór poligonów testowych

Na terenie badań wybrano poligony testowe na podstawie interpretacji wizualnej zdjęcia. Wyznaczono sześć pól o powierzchniach od 80 do 725 pikseli, związanych z: wodą, lasem iglastym, lasem liściastym, łąkami, zabudową i odkrytą glebą. Średnie wartości jaskrawości pikseli poligonów testowych obejmują cały zakres wartości na zdjęciu.

Parametry wejściowe modelu 6S

W rozdziale 2 szczegółowo omówiono zestawy parametrów wejściowych wymagane przez model 6S. Zaznaczono również, iż istnieje możliwość wyboru modeli standardowych lub definiowania własnych. Poniżej zostaną scharakteryzowane modele utworzone przez autorów na podstawie danych pochodzących z pomiarów meteorologicznych, które posłużyły do najlepszej, jaką autorzy mogli wykonać, korekcji atmosferycznej – zwanej dalej **optymalną** oraz modele standardowe (zdefiniowane w modelu 6S), które zostały wykorzystane do standardowej korekcji atmosferycznej na parametrach uśrednionych.

Korekcja standardowa

Do korekcji standardowej wykorzystano następujące parametry:

- standardowy model atmosfery dla szerokości umiarkowanych – letni. Ten model został użyty jako najlepszy opis stanu atmosfery w chwili i miejscu wykonywania zdjęcia, który można wybrać w 6S jako standard dla tego położenia geograficznego i pory roku. Wykonując korekcję 6S używanego w tej pracy zdjęcia, nie dysponując danymi o stanie atmosfery, powinno się użyć tego właśnie modelu atmosfery.

- widoczność – dla korekcji standardowej wprowadzono widoczność meteorologiczną 23 km, uznawaną za „wielkość standardową przyjmowaną dla stosunkowo dobrej widoczności w krajobrazach wiejskich” (Jakomulska, 2001).

Korekcja optymalna

Model atmosfery. Wykorzystano profil atmosfery pochodzący z pomiarów balonowych, wykonanych w dniu rejestracji zdjęcia, o 12:00 w południe na stacji IMGW w Legionowie. Wyniki pomiarów przedstawia tabela 2. Zakłada się, że ten pomiar jest reprezentatywny dla całego analizowanego obszaru.

Widoczność. Wykorzystano możliwość wprowadzenia do 6S grubości optycznej aerozolu dla fali o długości 550 nm. Wyniki takich pomiarów zaczerpnięto z sieci AERONET¹. Wynosiła ona 0,15, co według wzoru zawartego w kodzie algorytmu 6S, szacuje się na 38 km widoczności meteorologicznej (Bojanowski, 2006).

Parametry identyczne dla obu korekcji

Parametry wejściowe modelu 6S dotyczące geometrii układu Ziemia–Słońce–satelita, detektora oraz typu wprowadzanych danych były identyczne dla wszystkich przeprowadzonych korekcji. Informacje o nich znajdują się zawsze w metadanych dołączonych do obrazu. Zestaw tych danych przedstawia tabela 3.

¹<http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>

Tabela 2. Profil atmosfery dla Legionowa z dnia 6 maja 2002 r. z godziny 12:00 w południe (<http://weather.uwyo.edu/up-perair/sounding>).

Table 2. Atmospheric profile measured in Legionowo on 6th May 2002 at 12:00 AM.

Wysokość [km]	Ciśnienie [hPa]	Temperatura [K]	H ₂ O [g/m ³]	O ₃ [g/m ³]
0,1	1010,00	297,75	5,7550	0,00006
0,2	1002,00	295,55	5,3253	0,00006
0,6	948,00	290,85	4,9304	0,00006
0,8	925,00	288,75	4,7303	0,00006
1,5	860,00	282,85	4,1041	0,00006
2,0	808,00	278,15	3,5429	0,00006
3,1	701,00	269,15	2,1286	0,00006
3,9	635,00	264,25	0,2806	0,00006
4,5	585,00	260,85	0,0185	0,00006
5,7	500,00	251,45	0,0341	0,00007
6,6	444,00	244,35	0,0850	0,00007
7,3	400,00	238,25	0,0447	0,00008
7,8	370,00	233,65	0,0376	0,00008
8,7	326,00	227,45	0,0156	0,00008
9,2	300,00	225,65	0,0047	0,00009
10,4	250,00	217,85	0,0028	0,00009
10,6	244,00	217,15	0,0027	0,00009
11,4	215,00	217,95	0,0017	0,00011
12,2	188,00	220,05	0,0011	0,00012
12,4	183,00	219,25	0,0009	0,00012
12,8	173,00	217,65	0,0005	0,00012
13,7	150,00	221,45	0,0004	0,00015
15,5	113,00	218,65	0,0005	0,00019
16,6	95,00	216,55	0,0005	0,00021
17,6	82,00	215,25	0,0004	0,00024
18,2	74,00	214,35	0,0003	0,00028
18,9	66,00	214,75	0,0004	0,00028
19,8	57,30	216,85	0,0004	0,00032
20,7	50,00	215,85	0,0004	0,00034
21,5	44,00	215,15	0,0004	0,00036
22,6	37,00	215,45	0,0004	0,00036
23,9	30,00	217,65	0,0005	0,00034
25,1	25,00	219,05	0,0006	0,00030
26,8	19,00	221,65	0,0009	0,00020

Porównanie korekcji atmosferycznych 6S z zastosowaniem parametrów standardowych i optymalnych

W celu uzyskania odpowiedzi na pytanie czy brak rzeczywistego modelu atmosfery w chwili rejestracji zdjęcia może w istotny sposób wpłynąć na wartości współczynnika odbicia, wykonano dwie korekcje atmosferyczne. W pierwszej zastosowano standardowy model atmosfery, natomiast w drugiej model uzyskany na podstawie pomiaru balonowego. Parametry obu korekcji przedstawione są w tabeli 4.

Wyniki korekcji dla każdego z pól testowych przedstawiają ryc. 3 i 4. Podobne zależności wystąpiły w pracy A. Jakomulskiej i M. Sobczaka (Jakomulska, 2001), przy korekcji zdjęcia Wysoczyzny Kolneńskiej.

Korekcja atmosferyczna wprowadza największą zmianę w wartościach współczynnika odbicia dla pikseli o du-

Tabela 3. Parametry wejściowe 6S związane ze zdjęciem satelitarnym, nie analizowane w pracy, identyczne dla wszystkich wykonanych korekcji.

Table 3. Input parameters of 6S concerning satellite image, not analysed in this paper and identical for all atmospheric corrections.

Dzień zobrazowania <i>Day of acquisition</i>	6
Miesiąc zobrazowania <i>Month of acquisition</i>	5
Godzina zobrazowania <i>Time of acquisition</i>	9.14
Długość geograficzna <i>Longitude</i>	21.370
Szerokość geograficzna <i>Latitude</i>	52.467
Długość fali <i>Wavelength</i>	Odpowiednio dla każdego kanału <i>Accordingly to band number</i>
Typ danych <i>Input data</i>	Jaskrawość piksela <i>Digital Number</i>

Tabela 4. Parametry wejściowe 6S użyte do porównania korekcji standardowej i optymalnej.

Table 4: Input parameters used for the comparison of default and optimal corrections.

Parametr <i>Parameter</i>	Korekcja standardowa <i>Default correction</i>	Korekcja optymalna <i>Optimal correction</i>
Model atmosfery <i>Atmospheric model</i>	Szerokości umiarkowanych – letni <i>Midlatitude summer</i>	Pomiar balonowy – Legionowo <i>Atmospheric sounding</i>
Model aerozoli <i>Aerosols model</i>	Kontynentalny <i>Continental</i>	Kontynentalny <i>Continental</i>
Widzialność <i>Visibility</i>	23 km	38 km

żej jaskrawości. Dla pola treningowego obejmującego odsłoniętą glebę, różnica współczynnika odbicia obrazów przed i po korekcji wynosi od 21% w kanale TM4 do 44% w kanale TM5.

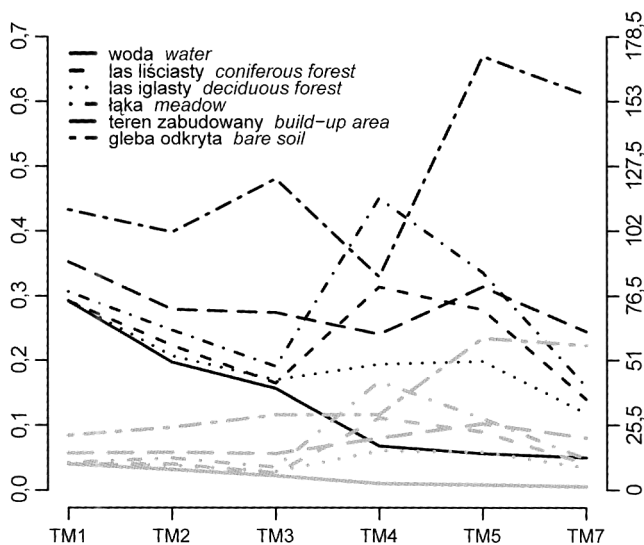
Duże różnice występują też dla terenów o dużej zawartości chlorofilu (las liściasty, łąka) – około 20%. Dla lasu liściastego korekcja powoduje największą zmianę w kanałach o małej długości fali – od 26% w TM1 do 9% w TM7.

Dla wody krzywa spektralna ma podobny kształt jak dla lasu iglastego, z tym że nie występuje pik w kanale TM4, charakterystyczny dla roślinności. W rezultacie, największe różnice występują w kanale TM1 – 26% i maleją wraz ze wzrostem długości fali do 6% w TM7.

Różnice pomiędzy krzywymi spektralnymi pól testowych po korekcji atmosferycznej 6S na parametrach standardowych i optymalnych przedstawia rysunek 4. Widac na nim, że różnice nie przekraczają 3%.

Dla terenów zielonych (las liściasty, łąka) największa różnica występuje w bliskiej podczerwieni i sięga 2%. Dla lasu iglastego i wody krzywe spektralne po obu korekcjach są bardzo zbliżone – różnice współczynnika odbicia nie przekraczają 1%.

Dla odsłoniętego gruntu, różnice rosną wraz z długością fali i w kanale TM7 wynoszą prawie 3%.



Ryc 3. Charakterystyki spektralne pól testowych przed korekcją (linia czarna) i po korekcji optymalnej 6S (linia szara).

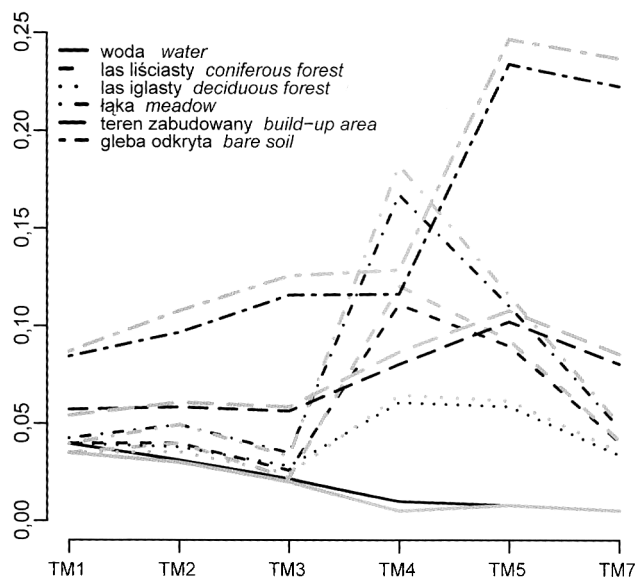
Fig. 3. Spectral characteristics of test fields before (black lines) and after 6S optimal correction (gray lines).

Można zauważyć, że im wyższe wartości współczynnika odbicia w danej długości fali, tym bardziej różnią się od siebie wyniki korekcji optymalnej i standardowej.

Wykonane porównania wskazują, że wyniki korekty atmosferycznej wykonane na podstawie parametrów standardowych są bardzo zbliżone do wyników uzyskanych na podstawie rzeczywistych pomiarów meteorologicznych. Stwierdzenie to jest bardzo ważne w przypadku badań ilościowych, wykonywanych na podstawie zdjęć satelitarnych, dla których nie zawsze możemy uzyskać rzeczywiste dane meteorologiczne.

Literatura

- Bojanowski J., 2006, *Badanie wrażliwości modelu korekcji atmosferycznej 6S na zmianę parametrów wejściowych*, Teledetekcja Środowiska, 36.
- Jakomulska A., Sobczak S., 2001, *Korekcja atmosferyczna obrazów satelitarnych – metodyka i przykłady*, Fotointerpretacja w Geografii, 32, 152–171.



Ryc. 4. Charakterystyki spektralne pól testowych po korekcji 6S na parametrach standardowych (linia szara) i optymalnych (linia czarna).

Fig. 4. Spectral characteristics of test fields after default 6S correction (gray lines) and after 6S optimal correction (black lines).

- Kondracki J., 2001, *Geografia Regionalna Polski*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kowalik W., 2002, *Zastosowanie korekcji atmosferycznej zdjęć satelitarnych wykonanych w paśmie widzialnym i podczerwieni termalnej*, Instytut Geodezji i Kartografii, Warszawa.
- Landsat Project Science Office at NASA, 2005: *Landsat-7 Science Data User's Handbook*, Maryland. http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc.
- Shettle E.P., 1989, *Models of aerosols, clouds and precipitation for atmospheric propagation studies*. [w:] AGARD Conference Proceedings: Atmospheric propagation in the uv, visible, ir and mm-region and related system aspects, 454, Neuilly-sur-Seine.
- Vermote E., Tanre D., Deuze J.L., Herman M., Morcrette J.J., 1997, *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum: an overview*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 35, 675–686.
- Vermote E., Tanre D., Deuze J.L., Herman M., Morcrette J.J., 1997, *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum. User Guide Version 2*. Laboratoire d'Optique Atmospherique, Lille.



Dr inż. Stanisław Lewiński pracuje w Instytucie Geodezji i Kartografii w Zakładzie Teledetekcji – OPOLiS. Jest absolwentem Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej. W 1994 r. uzyskał w IGiK tytuł doktora nauk technicznych. Uczestniczył w różnorodnych pracach związanych z teledetekcją satelitarną. Zajmuje się cyfrowym przetwarzaniem oraz klasyfikacją obrazów satelitarnych. Od 1999 r. prowadzi zajęcia na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego.

Instytut Geodezji i Kartografii, ul. Modzelewskiego 27, 02-679 Warszawa, tel: (22) 3291976, e-mail: stanislaw.lewinski@igik.edu.pl.



Mgr Jędrzej Bojanowski jest absolwentem Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego. Tytuł magistra uzyskał w Zakładzie Teledetekcji Środowiska. Tematem pracy dyplomowej była „Korekcja atmosferyczna zdjęć satelitarnych z zastosowaniem modelu 6S w środowisku oprogramowania GRASS”. Zajmuje się wpływem atmosfery na promieniowanie elektromagnetyczne mierzone podczas rejestracji zdjęć satelitarnych oraz metodyką statystycznego opracowywania danych satelitarnych.