

JAKUB WOJKOWSKI

Katedra Meteorologii i Klimatologii Rolniczej, Wydział Inżynierii Środowiska
Akademia Rolnicza w Krakowie

MODELOWANIE SKŁADNIKÓW BILANSU PROMIENIOWANIA
Z WYKORZYSTANIEM GIS ORAZ ZOBRAZOWAŃ
TELEDETEKCYJNYCH

The radiation budget modeling using GIS and satellite images

ABSTRAKT: Praca przedstawia metodę wyznaczania składników bilansu promieniowania powierzchni czynnej przy użyciu zaawansowanych technologii Geograficznych Systemów Informacyjnych. Składniki bilansu promieniowania obliczono na podstawie modelu dopływu promieniowania słonecznego zaimplementowanego do systemu GIS oraz wielospektralnych zobrażeń teledetekcyjnych. Modelowanie strumieni radiacyjnych przeprowadzono dla silnie urzeźbionego fragmentu południowej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej. Praca zwraca uwagę na integrację GIS z teledetekcją, która stwarza możliwość tworzenia coraz bardziej doskonałych modeli zjawisk i procesów przyrodniczych w oparciu o nowoczesne specjalistyczne oprogramowanie oraz aktualną informację tematyczną pozyskiwaną zdalnymi metodami.

słowa kluczowe – *key words:*

bilans radiacyjny – *radiation budget*, modelowanie – *modelling*, GIS – *GIS*, teledetekcja – *remote sensing*, zobrażenia satelitarne – *satellite images*

WSTĘP

Geograficzne Systemy Informacyjne (GIS) stały się w ostatnich latach podstawowym narzędziem w badaniach i analizie zjawisk przestrzennych. Pod pojęciem GIS należy rozumieć odpowiednio skonfigurowaną bazę danych przestrzennych (geograficznych i opisowych) oraz procedury, czyli oprogramowanie umożliwiające przeprowadzenie analiz przestrzennych. Systemy te pozwalają nie tylko na gromadzenie i wizualizację w postaci map zgromadzonych danych przestrzennych, prawdziwy potencjał GIS tkwi w możliwości tworzenia różnorodnych modeli zjawisk i symulacji procesów zachodzących w środowisku.

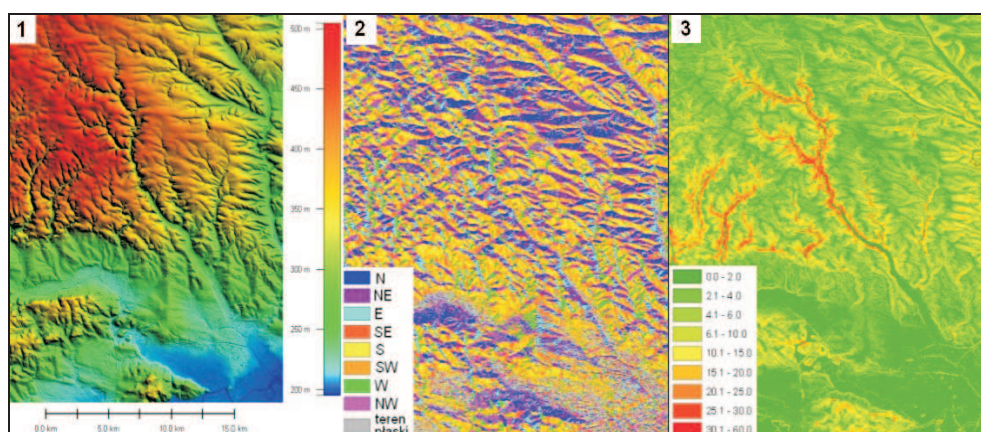
Nieocenionym źródłem pozyskiwania informacji o środowisku przyrodniczym może być również teledetekcja satelitarna, która w sposób naturalny łączy się z GIS. Obecnie w Polsce wzrostowi zainteresowania teledetekcją sprzyja coraz łatwiejszy dostęp do zobrażeń satelitarnych.

Zasadniczym celem niniejszej pracy było wyznaczenie dla testowego obszaru składników bilansu promieniowania na podstawie modelu zaimplementowanego do systemu GIS oraz zobrazowań teledetekcyjnych.

MATERIAŁY I METODY

Materiałem źródłowym wykorzystanym w pracy był numeryczny model terenu o rozdzielczości przestrzennej 20 m/piksel (WODGiK Kraków) oraz wielospektralne zdjęcie satelitarne LANDSAT-7 o rozdzielczości 15 i 60 m/piksel. Cyfrowy model terenu posłużył do wyznaczenia niezbędnych elementów topografii (wysokości względnej, nachylenia, spadku, zasłonięcia horyzontu).

Modelowanie składników bilansu promieniowania wykonano dla obszaru testowego, który stanowi fragment południowej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej (20 km × 28 km). Obszar ten celowo wybrano z uwagi na bardzo urozmaiconą rzeźbę terenu, czego świadectwem są mapy ekspozycji i spadków terenu (rys. 1).

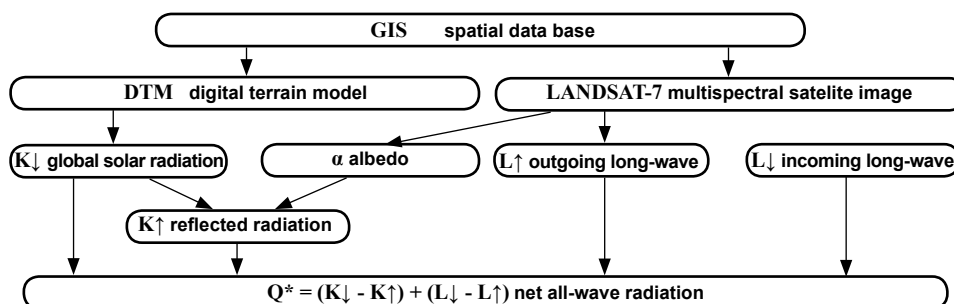


Rys. 1. Rzeźba terenu (1), ekspozycje (2) i spadki (3) badanego obszaru
Relief (1), aspect (2) and slope (3) of studied area

Można tu wyróżnić trzy zasadnicze rodzaje form, a mianowicie płaszczyznę i wierzchołną sięgającą wysokości około 500 m n.p.m. oraz głęboko wcięte kaniowate doliny. Według Kondrackiego (2) obszar ten należy do Wyżyny Olkuskiej, która jest zwartym płytowym blokiem wapieni górnojurajskich ograniczonych od południa Rowem Krzeszowickim i rozciętych przez krótkie głęboko wcięte doliny. Od wschodu sąsiaduje z Wyżyną Miechowską, od północy z Wyżyną Częstochowską, a od zachodu z Wyżyną Śląską.

Zdjęcie satelitarne LANDSAT-7 posłużyło do określenia zdolności odbijania promieniowania słonecznego, czyli wartości albedo, a także do wyznaczenia strumienia promieniowania długofalowego od powierzchni czynnej. Satelita LANDSAT-7 jest jednym z bardziej zaawansowanych technicznie satelitów przeznaczonych do badania środowiska przyrodniczego. Przesyła dane od lipca 1999 roku. Do obrazowania powierzchni Ziemi używa skanera ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). Wykorzystane w niniejszej pracy zdjęcie wykonane zostało przez satelitę 7 maja 2000 roku o godzinie 10³⁰ CET.

Modelowanie wykonane zostało w pięciu etapach (rys. 2). Pierwszy polegał na stworzeniu i skonfigurowaniu dla obszaru testowego bazy danych przestrzennych. W drugim etapie wymodelowano dopływ całkowitego promieniowania słonecznego K_{\downarrow} . Następnie obliczono ze zdjęcia satelitarnego LANDSAT-7 wartość albedo α powierzchni czynnej, a w kolejnym kroku wyznaczono wartości promieniowania długofalowego powierzchni czynnej L_{\uparrow} . Wyznaczone w ten sposób strumienie pozwoliły na obliczenie salda promieniowania w pełnym zakresie widma (krótkofalowego i długofalowego).



Rys. 2. Schemat modelowania bilansu promieniowania Q^*
Diagram of model radiation budget Q^*

Konfigurowanie bazy danych przestrzennych obszaru testowego polegało na wykonaniu rektyfikacji, czyli korekcji geometrycznej „surowego” zdjęcia satelitarnego oraz sprowadzeniu wszystkich map tematycznych w bazie danych do jednego układu odniesienia. Zastosowano układ 1992 oparty na odwzorowaniu Gaussa-Kruggera i elipsoidzie WGS-84 z południkiem środkowym 19°.

Większość analiz przestrzennych przeprowadzonych na numerycznym modelu terenu NMPT wykonano przy użyciu oprogramowania ARC GIS 9.0, GRASS GIS 5.4 oraz IDRISI 32 natomiast rektyfikację oraz analizy spektralne zdjęcia satelitarnego LANDSAT-7 ETM+ wykonano przy użyciu programu ERDAS IMAGINE 8.7.

BILANS PROMIENIOWANIA POWIERZCHNI CZYNNEJ

Warunki topoklimatyczne danego miejsca zależą przede wszystkim od ilości energii dochodzącej do podłoża oraz od sposobu wykorzystania tej energii w różnego rodzaju procesach fizycznych (3). Z tych względów tak ważne w badaniach topoklimatycznych jest poznanie składników bilansu promieniowania powierzchni czynnej oraz jego struktury.

Bilans promieniowania składa się z części krótkofalowej, której źródłem jest Słońce, i z części długofalowej, na którą przypada promieniowanie powierzchni Ziemi i atmosfery:

$$Q^* = (K_{\downarrow} - K_{\uparrow}) + (L_{\downarrow} - L_{\uparrow}) = Q_K + Q_L$$

gdzie: Q^* – saldo promieniowania w pełnym zakresie widma,

Q_K – saldo promieniowania krótkofalowego (promieniowanie słoneczne pochłonięte),

Q_L – saldo promieniowania długofalowego (wypromieniowanie efektywne),

K_{\downarrow} – promieniowanie słoneczne całkowite (bezpośrednie i rozproszone),

K_{\uparrow} – promieniowanie słoneczne odbite od powierzchni czynnej,

L_{\downarrow} – promieniowanie zwrotne atmosfery,

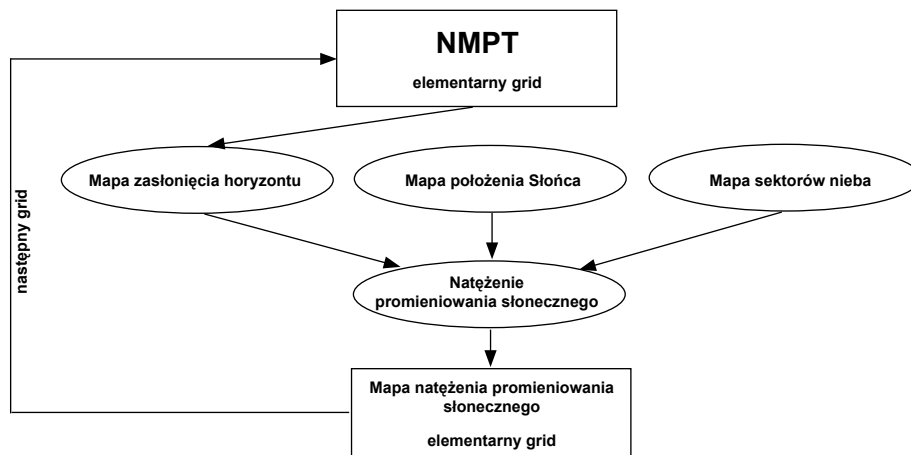
L_{\uparrow} – promieniowanie długofalowe od powierzchni czynnej.

Przyjęto umownie, że wszystkie strumienie promieniowania dochodzące do powierzchni czynnej mają wartość dodatnią, zaś wszystkie strumienie uchodzące od powierzchni czynnej – wartość ujemną.

Obliczenie dopływu promieniowania słonecznego K_{\downarrow} do powierzchni czynnej

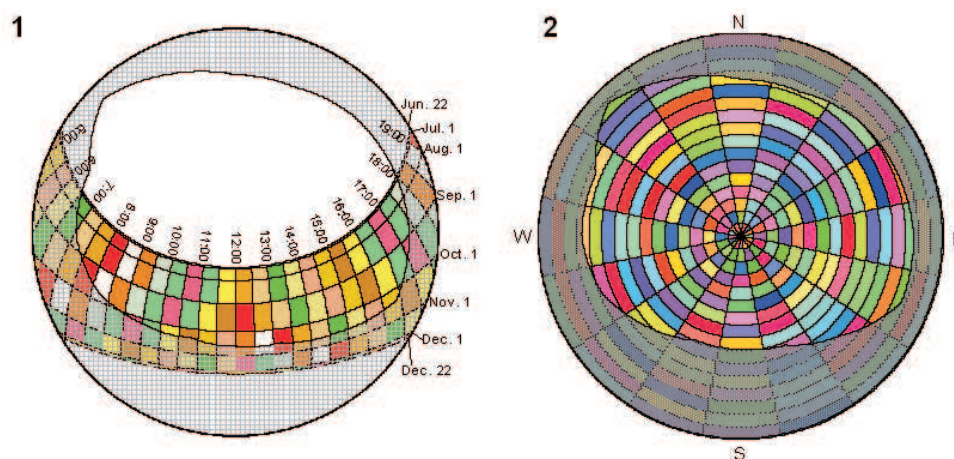
Do obliczenia promieniowania słonecznego wykorzystano algorytm zaproponowany i zaimplementowany do systemu GIS przez Richa (4). Algorytm ten wykorzystuje numeryczny model terenu (NMPT), z którego obliczane są elementy topografii (zasłonięcie horyzontu, ekspozycje, spadki, wysokość względna), oraz założenia dotyczące parametrów atmosfery (współczynnik przezroczystości atmosfery, optyczna masa atmosfery, współczynnik proporcji rozproszenia); (rys. 3).

Dla każdego elementarnego pola grid numerycznego modelu terenu (NMPT) wyznaczony był kąt horyzontalny w 16 kierunkach geograficznych. Na podstawie kątów horyzontalnych obliczane było dla każdego pola grid zasłonięcie horyzontu (linia horyzontu). Następnie nad każdym polem grid, w oparciu o standardowe wzory astronomiczne uwzględniające długość geograficzną, dzień roku i dokładny czas w ciągu doby, tworzona była „mapa położenia Słońca”, czyli mapa sektorów zawierających informację o położeniu Słońca w danym czasie. W kolejnym kroku nad każdym elementarnym polem grid następował podział hemisfery na elementarne pola i wyznaczenie „mapy sektorów nieba”. „Mapa sektorów nieba” wykorzystana była do obliczania promieniowania rozproszonego.



Rys. 3. Algorytm wyznaczania całkowitego promieniowania słonecznego K_{\downarrow}
Diagram of global solar radiation calculating K_{\downarrow}

Nałożenie „mapy zasłonięcia horyzontu” na „mapę położenia Słońca” oraz na „mapę sektorów nieba” pozwoliło wyznaczyć część wspólną, przez którą dociera promieniowanie bezpośrednie i rozproszone do danego elementarnego pola grid NMPT (rys. 4).



Rys. 4. Mapa położenia Słońca (1) i mapa sektorów nieba (2) z nałożoną mapą zasłonięcia horyzontu
Overlay of a viewshed on a sunmap (1) and a skymap (2)

Model dopływu bezpośredniego promieniowania słonecznego

W algorytmie Richa (4) do obliczenia dopływu bezpośredniego promieniowania słonecznego zastosowano wzór Bougera.

$$\mathbf{Dir}_{tot} = \Sigma \mathbf{Dir}_{\theta,\alpha} = \Sigma (\mathbf{S}_{const} \cdot \tau^{m(\theta)} \cdot \mathbf{SunDur}_{\theta,\alpha} \cdot \mathbf{SunGap}_{\theta,\alpha} \cdot \cos(\mathbf{AngIn}_{\theta,\alpha}))$$

gdzie: \mathbf{Dir}_{tot} – bezpośrednie promieniowanie słoneczne padające na elementarne pole grid NMPT,

$\Sigma \mathbf{Dir}_{\theta,\alpha}$ – suma bezpośredniego promieniowania słonecznego ze wszystkich sektorów „mapy położenia Słońca”,

\mathbf{S}_{const} – stała słoneczna,

τ – współczynnik przezroczystości atmosfery,

$m(\theta)$ – optyczna masa atmosfery,

$\mathbf{SunDur}_{\theta,\alpha}$ – czas trwania bezpośredniego promieniowania dla danego sektora „mapy położenia Słońca”,

$\mathbf{SunGap}_{\theta,\alpha}$ – przerwa w dopływie promieniowania z danego sektora „mapy położenia Słońca” spowodowana przysłonięciem horyzontu,

$\mathbf{AngIn}_{\theta,\alpha}$ – kąt zawarty pomiędzy prostą łączącą centroidę sektora „mapy położenia Słońca” z elementarną powierzchnią grid NMPT, a prostą normalną do tej powierzchni.

Model dopływu rozproszonego promieniowania słonecznego

Obliczając promieniowanie słoneczne rozproszone wykorzystano model równomiernego rozpraszania (uniform overcast sky UOC).

$$\mathbf{Dif}_{tot} = \Sigma \mathbf{Dif}_{\theta,\alpha} = \Sigma (\mathbf{R}_{glb} \cdot \mathbf{P}_{dif} \cdot \mathbf{Dur} \cdot \mathbf{SkyGap}_{\theta,\alpha} \cdot \mathbf{Weight}_{\theta,\alpha} \cdot \cos(\mathbf{AngIn}_{\theta,\alpha}))$$

gdzie: \mathbf{Dif}_{tot} – promieniowanie słoneczne rozproszone padające na elementarne pole grid NMPT,

$\Sigma \mathbf{Dif}_{\theta,\alpha}$ – suma promieniowania rozproszonego ze wszystkich sektorów „mapy sektorów nieba”,

\mathbf{R}_{glb} – bezpośrednie promieniowanie ze wszystkich sektorów „mapy położenia Słońca”,

\mathbf{P}_{dif} – stosunek promieniowania bezpośredniego który uległ rozproszeniu,

\mathbf{Dur} – czas analizy,

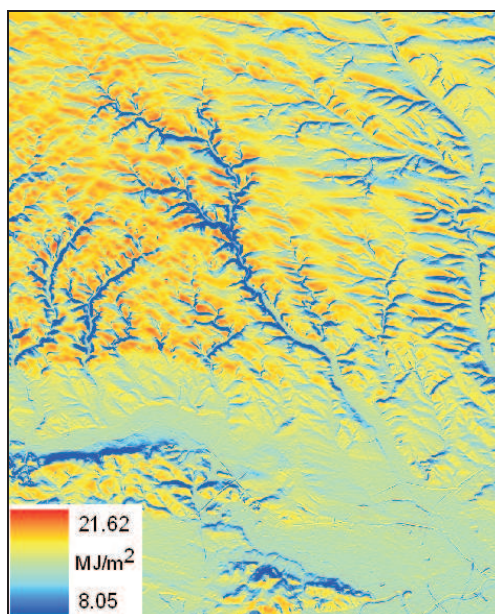
$\mathbf{SkyGap}_{\theta,\alpha}$ – stosunek widocznej części nieba,

$\mathbf{Weight}_{\theta,\alpha}$ – stosunek promieniowania rozproszonego z danego sektora „mapy sektorów nieba” do promieniowania rozproszonego ze wszystkich sektorów,

$\mathbf{AngIn}_{\theta,\alpha}$ – kąt zawarty pomiędzy prostą łączącą centroidę (środek geometryczny elementarnego pola grid) sektora „mapy sektorów nieba” z elementarną powierzchnią grid NMPT, a prostą normalną do tej powierzchni.

Obliczenie strumienia całkowitego promieniowania słonecznego K_{\downarrow}

Promieniowanie słoneczne całkowite K_{\downarrow} padające na powierzchnię czynną jest sumą promieniowania przychodzącego bezpośrednio od tarczy słonecznej oraz promieniowania rozproszonego dochodzącego od sklepienia nieba. Sumując wynik modelowania dopływu promieniowania bezpośredniego i promieniowania rozproszonego otrzymano mapę rozkładu całkowitego promieniowania słonecznego K_{\downarrow} na badanym obszarze (rys. 5).



Rys. 5. Suma dobowa całkowitego promieniowania słonecznego K_{\downarrow}
Daily sum of global solar radiation K_{\downarrow}

Obliczenie strumienia promieniowania słonecznego odbitego K_{\uparrow}

Całkowite promieniowanie słoneczne padające na powierzchnię czynną ulega częściowemu odbiciu i pochłonięciu przez nią. Wielkość α wyrażona jako stosunek promieniowania słonecznego odbitego K_{\uparrow} do padającego K_{\downarrow} nosi nazwę albedo. Zatem promieniowanie słoneczne odbite obliczyć można następująco:

$$K_{\uparrow} = \alpha \cdot K_{\downarrow}$$

gdzie: α – albedo powierzchni czynnej,

K_{\downarrow} – promieniowanie słoneczne całkowite (bezpośrednie i rozproszone),

K_{\uparrow} – promieniowanie słoneczne odbite od powierzchni czynnej.

W celu wyznaczenia zdolności odbijania promieniowania słonecznego przez powierzchnię czynną α posłużono się 8. kanałem spektralnym (panchromatycznym) sensora ETM+ satelity LANDSAT-7. Promieniowanie zarejestrowane w tym kanale obejmuje część zakresu widzialnego i podczerwieni (0,52–0,90 μm), a rozdzielczość przestrzenna tego kanału jest dwukrotnie większa niż w pozostałych kanałach (15 m/piksel).

Konwersję zarejestrowanych przez detektor satelity 8-bitowych wartości cyfrowych DN na promieniowanie widzialne R_λ przeprowadzono zgodnie z poniższym równaniem:

$$R_\lambda = \text{gain} \cdot \text{DN} + \text{offset}$$

$$R_\lambda = ((L_{\text{max}} - L_{\text{min}}) / (QCAL_{\text{max}} - QCAL_{\text{min}})) \cdot (QCAL - QCAL_{\text{min}}) + L_{\text{min}}$$

gdzie: R_λ – promieniowanie widzialne zarejestrowane przez sensor satelity [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$],
 L_{min} – promieniowanie widzialne (dla $QCAL_{\text{min}} = 1$) -4.70 [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$],
 L_{max} – promieniowanie widzialne (dla $QCAL_{\text{max}} = 255$) 243.1 [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$],
 $QCAL$ – 8-bitowa wartość cyfrowa DN.

Następnie obliczono wartość albedo α powierzchni czynnej:

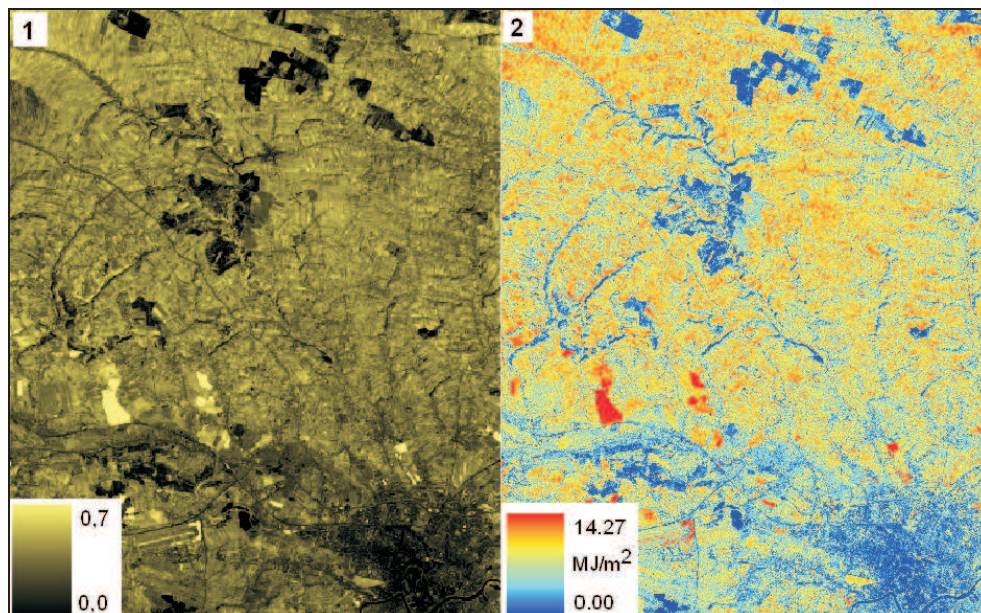
$$\alpha = \pi \cdot R_\lambda \cdot d^2 / ESUN_\lambda \cdot \cos\theta_s$$

gdzie: α – albedo powierzchni czynnej,
 R_λ – promieniowanie widzialne zarejestrowane przez sensor satelity [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$],
 d – odległość Ziemi od słońca w astronomicznych jednostkach dla danego dnia w roku,
 $ESUN_\lambda$ – średnie pozaatmosferyczne promieniowanie słoneczne dla kanału PAN [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1}$],
 θ_s – kąt zenitalny Słońca w stopniach.

Na podstawie uprzednio obliczonego całkowitego promieniowania słonecznego K_\downarrow (rys. 4) i wartości albedo α policzona została wartość promieniowania słonecznego odbitego od powierzchni czynnej K_\uparrow . Wynik obliczeń w postaci mapy wartości albedo α powierzchni czynnej i promieniowania słonecznego odbitego przedstawiono na rysunku 6.

Obliczenie strumienia promieniowania długofalowego powierzchni czynnej L_\uparrow

Do wyznaczenia strumienia promieniowania długofalowego powierzchni czynnej wykorzystano 6. kanał spektralny (termalny) sensora ETM+ satelity LANDSAT-7. W kanale tym zarejestrowane zostało promieniowanie podczerwieni termalnej w zakresie 10,4–12,5 μm z rozdzielczością przestrzenną 60 m/piksel.



Rys. 6. Albedo powierzchni czynnej (1) i suma dobowa promieniowania słonecznego odbitego $K\uparrow$ (2)
Albedo of active surface α (1) and daily sum of reflected solar radiation $K\uparrow$ (2)

Konwersję zarejestrowanych przez detektor satelity 8-bitowych wartości cyfrowych DN na promieniowanie podczerwieni termalnej R_λ przeprowadzono podobnie jak w przypadku kanału panchromatycznego zgodnie z równaniem:

$$R_\lambda = \text{gain} \cdot \text{DN} + \text{offset}$$

$$R_\lambda = ((L_{\max} - L_{\min}) / (QCAL_{\max} - QCAL_{\min})) \cdot (QCAL - QCAL_{\min}) + L_{\min}$$

gdzie: R_λ – promieniowanie podczerwieni termalnej zarejestrowane przez sensor satelity [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$],

L_{\min} – promieniowanie podczerwieni termalnej (dla $QCAL_{\min} = 1$) 3.20 [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$],

L_{\max} – promieniowanie podczerwieni termalnej (dla $QCAL_{\max} = 255$) 12.65 [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$],

$QCAL$ – 8-bitowa wartość cyfrowa DN.

Następnie korzystając z prawa Stefana-Boltzmannia obliczono strumień promieniowania długofalowego powierzchni czynnej $L\uparrow$:

$$L\uparrow = \varepsilon \cdot \delta \cdot T^4$$

gdzie: $L\uparrow$ – promieniowanie długofalowe powierzchni czynnej [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$],

ε – zdolność emisyjna,

δ – stała Stefana-Boltzmannia $5.669 \cdot 10^{-8}$ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$],

T – temperatura radiacyjna powierzchni czynnej [$^{\circ}\text{K}$]

Przeliczenie zarejestrowanego przez detektor satelity promieniowania podczerwieni termalnej R_λ na wartości temperatury radiacyjnej T wykonano zgodnie z poniższym równaniem (1):

$$T = K_2 / \ln(K_1 / R_\lambda + 1)$$

gdzie: R_λ – promieniowanie podczerwieni termalnej zarejestrowane przez sensor satelity [$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$],

K_1 – stała kalibracyjna $K_1 = 2 \cdot \pi \cdot c^2 \cdot h / \lambda^5$ [$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$],

K_2 – stała kalibracyjna $K_2 = h \cdot c / k \cdot \lambda$ [$^{\circ}K$],

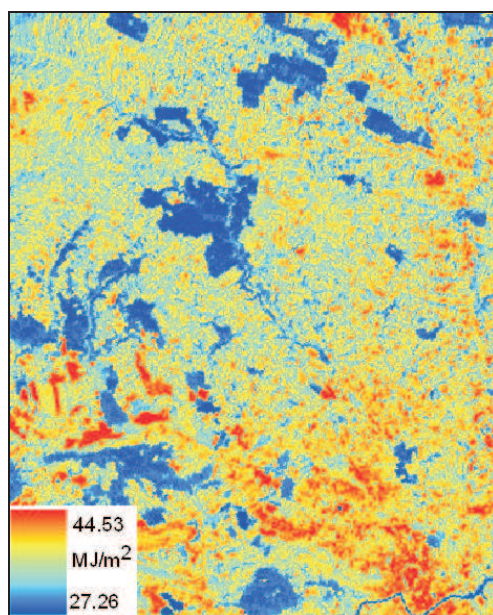
k – stała Boltzmanna $1,380 \cdot 10^{-23}$ [$J \cdot K^{-1}$],

h – stała Plancka $6,626 \cdot 10^{-34}$ [$J \cdot s$],

c – prędkość światła $2,998 \cdot 10^8$ [$m \cdot s^{-1}$],

λ – długość fali [m].

Wynik obliczeń strumienia promieniowania długofalowego powierzchni czynnej L_\uparrow przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Suma dobowa promieniowania długofalowego powierzchni czynnej L_\uparrow
Daily sum of outgoing long-wave radiation L_\uparrow

Strumień promieniowania zwrotnego atmosfery L_\downarrow

Strumień promieniowania zwrotnego atmosfery L_\downarrow w porównaniu z dochodzącym z góry promieniowaniem słonecznym całkowitym K_\downarrow charakteryzuje się małą zmiennością, zarówno w czasie, jak i w przestrzeni (3). Obserwowane wartości strumienia L_\downarrow na badanym obszarze w grupie wyżowych sytuacji synoptycznych wynoszą na ogół około $30 MJ \cdot m^{-2}$, a ich wahania roczne czy dobowe nie są duże

(5). Podobna sytuacja synoptyczna miała miejsce w dniu 7 maja 2000 r., z którego pochodzi analizowane zobrazowanie satelitarne LANDSAT-7. W związku z powyższym do dalszych obliczeń przyjęto wartość promieniowania zwrotnego atmosfery $L_{\downarrow} = 30 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$.

Saldo promieniowania krótkofalowego Q_K

Saldo promieniowania krótkofalowego Q_K , czyli promieniowanie słoneczne pochłonięte Q_K jest różnicą między promieniowaniem całkowitym K_{\downarrow} a promieniowaniem odbitym K_{\uparrow} :

$$Q_K = K_{\downarrow} - K_{\uparrow}$$

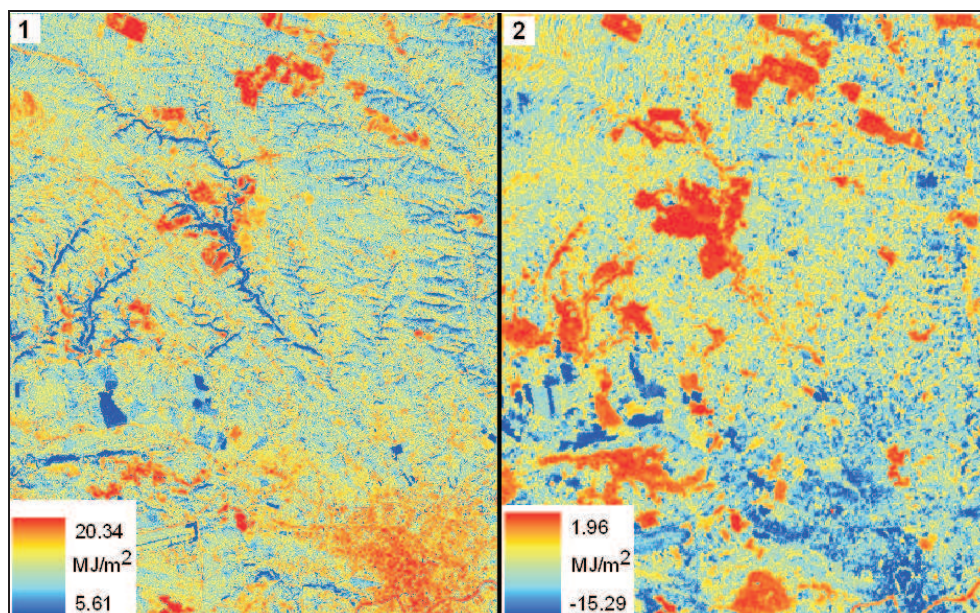
Wynik obliczeń salda promieniowania krótkofalowego Q_K przedstawiono na rysunku 8.

Saldo promieniowania długofalowego Q_L

Saldo promieniowania długofalowego Q_L stanowi różnicę między promieniowaniem zwrotnym atmosfery L_{\downarrow} a promieniowaniem długofalowym uchodzącym L_{\uparrow} :

$$Q_L = L_{\downarrow} - L_{\uparrow}$$

Wynik obliczeń salda promieniowania długofalowego Q_L przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Suma dobowa salda promieniowania krótkofalowego Q_K (1) i suma dobowa promieniowania długofalowego (2) Q_L

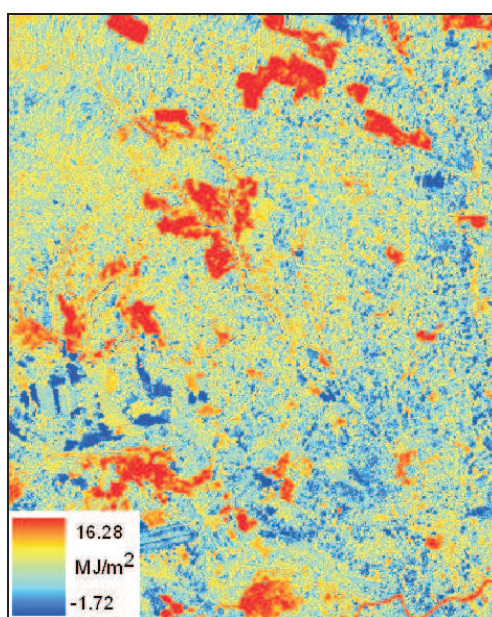
Daily sum of absorbed solar radiation Q_K (1) and daily sum of net long-wave radiation Q_L (2)

Saldo promieniowania w pełnym zakresie widma Q^*

Sumę wszystkich strumieni radiacyjnych skierowanych do powierzchni czynnej i od niej uchodzących opisuje poniższe równanie bilansu promieniowania:

$$Q^* = (K\downarrow - K\uparrow) + (L\downarrow - L\uparrow)$$

Wynik obliczeń salda promieniowania w pełnym zakresie widma Q^* przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 9. Suma dobowa salda promieniowania w pełnym zakresie widma Q^*
Daily sum of net all-wave radiation Q^*

PODSUMOWANIE

Integracja GIS z teledetekcją stwarza możliwość tworzenia coraz bardziej doskonałych modeli zjawisk i procesów przyrodniczych w oparciu o nowoczesne specjalistyczne oprogramowanie oraz aktualną informację tematyczną pozyskiwaną zdalnymi metodami.

W klimatologii zaprezentowany sposób modelowania salda radiacyjnego może okazać się szczególnie przydatny tam, gdzie prowadząc badania nie dysponujemy materiałem pochodzącym z bezpośrednich pomiarów. Dotyczy to szczególnie obszarów trudnodostępnych lub takich, na których nie wykonuje się stałych obserwacji aktynometrycznych.

Przedstawiona metoda modelowania salda promieniowania jest najbardziej wiarygodna (i możliwa do wykonania) dla okresów z typem pogody radiacyjnej. Dużym ograniczeniem jest trudność w uwzględnieniu zachmurzenia (typu, przebiegu i wielkości). Dla okresów pochmurnych obliczanie strumieni promieniowania ze zdjęć satelitarnych byłoby niemożliwe.

Dokładność obliczeń zależy w dużej mierze również od dokładności cyfrowego modelu terenu. Dla większych obszarów i dużych rozdzielczości przestrzennych NMPT czas obliczeń wykonywanych przez procesor komputera może być bardzo długi, liczony w dniach a nawet tygodniach. Przykładowo dla wybranego obszaru testowego charakteryzującego się następującymi parametrami: powierzchnia 616 km² (22 km × 28 km), rozdzielczość przestrzenna NMPT 20 m/piksel (1,009 kolumn × 1,376 wierszy), ilość elementarnych pól grid 1512224, czas obliczeń na komputerze PC klasy Pentium IV z zegarem 1,5 GHz wyniósł ponad 12 godzin.

LITERATURA

1. Irish R.R.: Landsat 7 science data user's handbook. Report 430-15-01-003-0, National Aeronautics and Space Administration, 2000.
2. Kondracki J.: Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa, 1998.
3. Paszyński J., Skoczek J., Miara K.: Wymiana energii między atmosferą a podłożem jako podstawa kartowania topoklimatycznego. PAN IGiPZ, Warszawa, Dok. Geogr., 1999, **14**.
4. Rich P.M.: Using viewshed models to calculate intercepted solar radiation: applications in ecology. American Society for Photogrammetry and Remote, Sensing Technical Papers, 1994.
5. Wojkowski J., Olechnowicz-Bobrowska B.: Struktura bilansu promieniowania na Płaskowyżu Proszowickim. Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska SGGW, Warszawa, 2001, **23**: 67-71.
6. WODGiK. Cyfrowy model pokrycia terenu. Wojewódzki Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Krakowie.

THE RADIATION BUDGET MODELLING USING GIS AND SATELLITE IMAGES

Summary

The paper presents the method of calculating the radiation budget of the active surface while using Geographical Information Systems – GIS. The budget radiation was estimated on the basis of multispectral satellite images and the solar radiation model transferred to the GIS system. The radiation modelling was carried out for a diverse relief of the south part of Krakowsko-Częstochowska Upland.

The research draws attention to the integration of GIS and remote sensing. This enables us to create more perfect models of environmental phenomena and processes on the basis of modern professional software and current information, which are obtained by remote sensing.

Praca wpłynęła do Redakcji 23 XI 2005 r.