

STANISŁAW LEWIŃSKI  
MARIA GRUSZCZYŃSKA

**BADANIE ZALEŻNOŚCI MIĘDZY TEMPERATURĄ RADIACYJNĄ  
MIERZONĄ Z PUŁAPU LOTNICZEGO I SATELITARNEGO A LAI,  
BIOMASĄ I WILGOTNOŚCIĄ GLEBY UŻYTKÓW ZIELONYCH**

*ZARYS TREŚCI.* Celem prezentowanej pracy było sprawdzenie występowania związku między temperaturą radiacyjną mierzoną teledetekcyjnie z pułapu lotniczego i satelitarnego a parametrami przyrodniczymi, charakteryzującymi użytki zielone. Pomiary lotnicze wykonane zostały z pokładu helikoptera z wysokości 100 m i 1600 m przy pomocy ręcznego radiometru KT-15. Temperatura radiacyjna z poziomu satelitarnego określona została na podstawie zdjęć satelitarnych AVHRR/NOAA. Wyniki pomiarów lotniczych i satelitarnych porównano z wartościami parametrów charakteryzujących użytki zielone: LAI (Leaf Area Index), biomasa świeża i wilgotność gleby.

**Wstęp**

Powierzchnia projekcyjna liści LAI (Leaf Area Index), biomasa świeża i wilgotność gleby są ważnymi parametrami decydującymi o wielkości plonów użytków zielonych. Parametry te zmieniają się w czasie i w przestrzeni i są trudne do określenia w przypadku dużych obszarów przy zastosowaniu konwencjonalnych pomiarów terenowych.

Powierzchnia Ziemi oraz szata roślinna podobnie jak każde ciało o temperaturze większej od wartości zera bezwzględnego emituje promieniowanie termalne. Natężenie tego promieniowania oraz długość emitowanej fali związana jest z temperaturą źródła emisji. Ciała o temperaturze w zakresie od 7 do 27° C emitują promieniowanie termalne, którego największe natężenie przypada na fale o długości od 8 do 10  $\mu\text{m}$  [1].

Teledetekcyjne pomiary promieniowania termalnego znajdują szerokie zastosowanie w badaniach przyrodniczych. Temperatura powierzchni użytków zielonych obliczona na podstawie promieniowania termalnego jest źródłem informacji o aktualnych fizjologicznych i anatomicznych cechach roślinności. Badaniami związanymi ze stresem wodnym roślin polegającym

na gwałtownym wzroście temperatury liści w wyniku niedoboru wody zajmował się między innymi R.D.Jackson [2]. Wykorzystując dane o temperaturze oraz dane związane z warunkami meteorologicznymi możliwe jest oszacowanie wartości ewapotranspiracji roślin [3], [4]. Wiele publikacji poświęconych jest badaniom zależności między emisją promieniowania termalnego a wilgotnością gleby, zagadnieniem tym zajmował się między innymi C.Wiegand [5].

Przyjmując założenie, że wahania temperatury radiacyjnej roślin są związane ze zmianą parametrów samej roślinności i środowiska, w którym znajduje się, podjęto próbę określenia związku między parametrami przyrodniczymi a temperaturą radiacyjną, mierzoną metodami teledetekcyjnymi.

Jako obszar badań wybrany został duży kompleks użytków zielonych w dolinie rzeki Obry w okolicy wsi Błocko. Są to łąki w przeważającej części zmeliorowane, na glebach torfowo-murszowych, mineralno-murszowych i murszowatych właściwych. Grunty należą do PGR oraz do gospodarstw chłopskich, charakteryzuje je duża różnorodność szaty roślinnej. Powierzchnia poligonu badawczego wynosiła około 15 km<sup>2</sup>.

Temperatura radiacyjna roślin była mierzona z trzech pułapów: dwóch lotniczych 100 m i 1600 m oraz z pułapu satelitarnego na podstawie zdjęć AVHRR/NOAA o rozdzielczości 1100 m x 1100 m.

Pomiary lotnicze wykonywano z pokładu helikoptera przy pomocy ręcznego radiometru KT-15, rejestrującego promieniowanie w zakresie 8-14 μm, obejmującym kanał 4 i 5 radiometru AVHRR. Z wysokości 1600 m pole widzenia radiometru wynosiło 1 km<sup>2</sup>, czyli odpowiadało wielkości jednego piksela satelity NOAA. Pole widzenia radiometru z wysokości 100 m było równe 1/250 km<sup>2</sup> i pomiary były wykonywane nad specjalnie oznakowanymi w terenie punktami. W punktach tych pobierane były próbki gleby do oznaczania wilgotności gruntu w warstwie 0-10 cm oraz zbierana była roślinność z 1m<sup>2</sup> do określenia LAI i biomasy.

Analizując dane temperaturowe przyjęto, założenie, że temperatura radiacyjna roślin mierzona z wysokości 100 m reprezentuje powierzchnię homogeniczną pod względem szaty roślinnej jak i charakterystyki gleby.

Do obliczeń temperatury, radiacyjnej na podstawie obrazu satelitarnego NOAA wykorzystano dwa kanały termalne 4 i 5, rejestrujące promieniowanie w zakresie 10.3-11.3 μm i 11.5-12.5 μm. Uzyskane na podstawie obrazu satelitarnego wartości temperatury radiacyjnej zostały skorygowane ze względu na wpływ pary wodnej zawartej w atmosferze. Do korekty zastosowano metodę rozszczepionego okna SWT (Split Window Technique), polegającą na wykorzystaniu różnicy między promieniowaniem rejestrowanym w 4 i 5 kanale radiometru AVHRR/NOAA. Na metodzie SWT opartych jest wiele formuł obliczeniowych różniących się głównie warto-

ściami przyjętych współczynników. Najczęściej stosowane są algorytmy według Dalu-Liberti [6] i Pricea [7]. W obliczeniach przez nas wykonanych została przyjęta formuła Dalu-Liberti:

$$T_s = T_4 + A \cdot (T_4 - T_5) + B$$

gdzie:

$T_s$  - temperatura powierzchni w °C

$T_4$  - temperatura radiacyjna obliczona dla kanału 4

$T_5$  - temperatura radiacyjna obliczona dla kanału 5

$A = 2.68$

$B = -0.78$

Przydatność algorytmu Dalu-Liberti dla użytków zielonych została sprawdzona w czasie prac prowadzonych w IGiK-OPOLiS [4].

Pomiary lotnicze, podobnie jak satelitarne, były również korygowane ze względu na zawartość pary wodnej w atmosferze. Dla obu wysokości pomiarowych zastosowano metodę "in situ". Metoda ta polegała na wprowadzeniu do obliczeń poprawki będącej różnicą między temperaturą określoną z wysokości 100 m i 1600 m a temperaturą kontaktową powierzchni jeziora, znajdującego się w pobliżu terenu badań.

Na pokładzie helikoptera zainstalowana była kamera fotograficzna Hasselblad z filmem uczulonym na podczerwień. Obiektyw kamery został tak dobrany, aby jego kąt widzenia był taki sam, jak obiektywu radiometru KT-15. Wykonywanie zdjęć było zsynchronizowane z pomiarami radiometrycznymi w taki sposób, aby każdemu pomiarowi odpowiadał jeden kadr filmu. Materiał fotograficzny posłużył do określenia średnich ważonych wartości LAI, biomasy i wilgotności gleby w ramach powierzchni reprezentowanych przez pomiar radiometryczny wykonany z wysokości 1600 m i pojedynczy piksel obrazu NOAA.

### Analiza wyników

Prezentowane wyniki otrzymano na podstawie badań terenowych wykonanych 3 sierpnia 1990 r. oraz obrazu satelitarnego AVHRR/NOAA zarejestrowanego w tym samym dniu przez satelitę NOAA 11 o godzinie 12 : 27 GMT.

Badania zależności między temperaturą radiacyjną użytków zielonych a wybranymi parametrami przyrodniczymi charakteryzującymi roślinność rozpoczęto od analizy danych pomiarowych uzyskanych z wysokości 100 m. W tablicy 1 przedstawione są wyniki obliczeń regresji liniowej między wartościami LAI, biomasy i wilgotności gleby a temperaturą radiacyjną zmierzoną z wysokości 100 m.

Tablica 1  
Współczynniki korelacji między LAI, biomasa (B) i wilgotnością gleby (W) użytków zielonych a temperaturą radiacyjną (Ts100) zmierzoną z wysokości 100 m

	LAI/Ts100	B/Ts100	W/Ts100
Współczynnik korelacji	-0.83	-0.84	-0.64
Liczba obserwacji	14	14	14

Wartości parametrów przyrodniczych zostały określone na podstawie pomiarów terenowych w punktach, nad którymi mierzona była temperatura radiacyjna z wysokości 100 m. Uzyskano stosunkowo wysoką zależność temperatury radiacyjnej od wartości LAI i biomasy. Zdecydowanie niska zależność występuje między wilgotnością gleby a temperaturą radiacyjną traw.

Analizując wyniki pomiarów temperatury radiacyjnej uzyskanej z wysokości 1600 m nie można było wykonać bezpośredniej korelacji z punktowymi pomiarami parametrów przyrodniczych. Pojedynczy pomiar temperatury z tej wysokości dotyczy bowiem obszaru o powierzchni 1 km<sup>2</sup>.

W celu określenia zależności między temperaturą a parametrami przyrodniczymi, wykorzystano zdjęcia fotograficzne w podczerwieni wykonane z wysokości 1600 m. Na negatywach w miejscach, w których zlokalizowane były naziemne punkty pomiarowe, została zmierzona gęstość optyczna materiału fotograficznego. Następnie określono zależności między gęstością optyczną negatywów a parametrami przyrodniczymi mierzonymi w tych punktach. Wyniki uzyskanych korelacji przedstawione są w tabl. 2.

Tablica 2  
Współczynniki korelacji między gęstością optyczną materiału fotograficznego (G) uczulonego na podczerwień a wartościami LAI, biomasy (B) i wilgotności gleby (W)

	G/LAI	G/B	G/W
Współczynnik korelacji	0.92	0.86	0.61
Liczba obserwacji	23	23	23

Uzyskano dobrą zależność między gęstością optyczną negatywu a LAI i biomasa, wraz ze wzrostem wartości LAI i biomasy rośnie gęstość optyczna negatywu fotograficznego. Obszary łąkowe pokryte gęstą roślinnością o wysokich wartościach LAI i biomasy charakteryzował duży stopień

zaczernienia filmu podczerwonego. Nie zaobserwowano natomiast dobrej zależności między gęstością optyczną a wilgotnością gruntu. Na podstawie wyprowadzonych wzorów, posługując się wartościami gęstości optycznej negatywu, można określać LAI i biomasę.

Średnie wartości LAI i biomasy zostały obliczone jako średnie ważone względem powierzchni. W tym celu negatywy zdjęć lotniczych zostały przetworzone na przeglądarce analogowo-cyfrowej. Na podstawie gęstości optycznej obraz podzielono na pięć klas. Każdej klasie została przyporządkowana wartość LAI i biomasy, a następnie obliczono ich wartości średnie ważone dla każdego kadru. Wyniki korelacji między temperaturą radiacyjną zmierzoną z wysokości 1600 m a średnimi wartościami parametrów przyrodniczych przedstawione są w tabl. 3. Średnia wartość wilgotności gleby została określona na podstawie mapy glebowej, również jako średnia ważona względem powierzchni jaką zajmują poszczególne typy gleb w polu widzenia radiometru.

Tablica 3  
Współczynniki korelacji między LAI, biomasą (B) i wilgotnością gleby (W) użytków zielonych a temperaturą radiacyjną (Ts1600) zmierzoną z wysokości 1600 m

	LAI/Ts1600	B/Ts1600	W/Ts1600
Współczynnik korelacji	-0.89	-0.87	-0.46
Liczba obserwacji	6	6	6

Przedstawione w tablicy 3 wartości współczynników korelacji podobnie jak w tabl. 1 i 2 wskazują na istnienie dobrej zależności między temperaturą radiacyjną a wartościami LAI i biomasy oraz na słabą zależność między temperaturą a wilgotnością gleby.

Następnym a zarazem ostatnim etapem prezentowanych badań było sprawdzenie zależności między temperaturą radiacyjną, rejestrowaną przez radiometr AVHRR/NOAA, a parametrami roślinnymi i wilgotnością gleby. Wartości LAI, biomasy i wilgotności zostały przyjęte jako średnie ważone względem powierzchni reprezentującej w terenie piksel obrazu satelitarne. Średnie ważone zostały obliczone w taki sam sposób, jak w przypadku pomiarów z wysokości 1600 m, z tą jedynie różnicą, że z przetworzonych na przeglądarce analogowo-cyfrowej negatywów zmontowano barwną fotomozaikę. Następnie na fotomozaikę została nałożona siatka pikseli NOAA i dla każdego analizowanego piksela obliczono średnie ważone LAI i biomasy. Średnie wartości wilgotności gleby obliczono nakładając siatkę pikseli NOAA na mapę glebową. W tablicy 4 przedstawiono uzyskane zależności między temperaturą radiacyjną powierzchni użytków zielonych określoną

na podstawie obrazu satelitarnego NOAA a wartościami LAI i biomasy roślinności oraz wilgotności gruntu.

Tablica 4

Współczynniki korelacji między LAI, biomasa (B) i wilgotnością gleby (W) użytków zielonych a temperaturą radiacyjną (TsNOAA) obliczoną na podstawie obrazu satelitarnego AVHRR/NOAA

	LAI/TsNOAA	B/TsNOAA	W/TsNOAA
Współczynnik korelacji	-0.82	-0.84	-0.67
Liczba obserwacji	8	8	8

Uzyskano dobrą zależność między temperaturą a LAI i biomasa oraz słabą względem wilgotności gleby. Zależności te są zgodne z wynikami pomiarów temperatury radiacyjnej z wysokości 100 m i 1600 m, przedstawionymi w tabl. 1 i 3.

### Podsumowanie

Przeprowadzone badania pozwoliły na prześledzenie zależności między parametrami przyrodniczymi użytków zielonych a temperaturą radiacyjną mierzoną z pułapu lotniczego i satelitarnego. Pomiarzy wykonane z wysokości 100 m odnosiły się do powierzchni łąkowych o jednorodnej szacie roślinnej i strukturze gleby. W przypadku pomiarów z wysokości 1600 m i z pułapu satelitarnego pomiarzy radiometryczne odnosiły się do powierzchni zróżnicowanych o wielkości odpowiadającej jednemu pikselowi satelity NOAA (1100 m x 1100 m). Dla wszystkich trzech analizowanych wysokości pomiarowych uzyskano dobrą korelację między temperaturą radiacyjną a wartościami LAI i biomasy świeżej.

Mierząc temperaturę radiacyjną użytków zielonych metodami teledetekcyjnymi, można wnioskować o kondycji roślinności objawiającej się przez wartości LAI i biomasy świeżej.

W prezentowanych badaniach nie uzyskano istotnej zależności między temperaturą radiacyjną a wilgotnością gleby. Spowodowane jest to tym, że w przypadku terenów łąkowych gleba zawsze jest zasłonięta roślinnością.

Prezentowana praca została wykonana w IGiK-OPOLiS w zespole kierowanym przez dr K. Zielińską-Dąbrowską, jako jeden z kilku etapów badań prowadzonych w latach 1987-1991, związanych z prognozowaniem plonów użytków zielonych na podstawie zdjęć satelitarnych AVHRR/NOAA. Badania te były sponsorowane przez UNDP/FAO i Polską Akademię Nauk.

W czasie badań terenowych współpracowaliśmy z Zakładem Agrometeorologii Akademii Rolniczej w Poznaniu kierowanym przez pana prof. Andrzeja Kędziórę, obrazy satelitarne rejestrowane były przez zespół pani mgr. Bożeny Łapety z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Krakowie.

#### LITERATURA

- [1] Schmugge T.: *Measurements of surface soil moisture and temperature*. Ecological Studies "Remote Sensing of Biosphere Functioning" 1990 vol.79 p.31-64.
- [2] Jackson R. D.: *Remote sensing of biotic and abiotic plant stress*. Ann.Rev.Phytopathol 1986, 24 p. 265-87.
- [3] Jackson R. D., Moran M. S., Gay L.W., Raymond L. E. : *Evaluating evapotranspiration from field crops using airborne radiometry and ground based meteorological data*. Irrigation Science, 1987 vol. 8.
- [4] Dalu G., Liberti G.L.: *Validation Problems for Remotely Sensed Sea Surface Temperature*. IV Congress del Gruppo Nazionale per Fisica dell' atmosfera dell' oceano, Rome June 22-24, 1988.
- [5] Wiegand C.L., Nixon P.R., Jackson R.D. : *Drought detection and quantification by reflectance and thermal responses*. Agricultural Water Management 1983, 7 p. 303-321.
- [6] Dąbrowska-Zielińska, Gruszczyńska M., Lewiński St.: *From evapotranspiration to soil moisture investigation based on NOAA thermal infrared data, case study - Poland*. Proceedings of the 5th International Colloquium - Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, Courchevel, France 14-18 January 1991.
- [7] Price J.C.: *Land surface temperature measurements from split window channels of the NOAA 7 AVHRR*. Journal of Geophysical Research 1984 vol.89 no D5 p. 7231.

Recenzowała: dr K. Zielińska - Dąbrowska

Przyjęto do opublikowania w dniu 21 stycznia 1991 r.

STANISŁAW LEWIŃSKI  
MARIA GRUSZCZYŃSKA

EXAMINATION OF THE RELATION BETWEEN THERMAL  
AIRBORNE AND SATELLITE DATA AND LAI, BIOMASS  
AND SOIL MOISTURE OF THE GRASSLAND

Summary

The objective of this study was to examine the relation between radiative surface temperature obtained from aerial and satellite levels and grassland characteristics. Airborne thermal data were recorded from the helicopter board from the altitudes of 100 m and 1600 m using hand held radiometer Heimann KT-15. Satellite thermal data were obtained from the channel 4 and 5 of NOAA/AVHRR. The hand held radiometer spectral range (8-14  $\mu\text{m}$ ) coincides with the thermal infrared channels of NOAA satellite. The study has proved that LAI and biomass have significant influence on radiative surface temperature and can be assessed using airborne and satellite data. Soil moisture content does not directly affects radiative temperature of grassland as strong as the plant parameters. This study was the part of the project POL/86/002 sponsored by UNDP/FAO and Polish Academy of Sciences and has been carried out in Polish Remote Sensing Centre.

Translation: Maria Gruszczyńska



СТАНИСЛАВ ЛЕВИНЬСКИ  
МАРИЯ ГРУЩИНЬСКА

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ  
РАДИАЦИОННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ, ИЗМЕРЯЕМОЙ  
С ВЫСОТЫ ПОЛЁТА САМОЛЁТА И СПУТНИКА,  
А LAI, БИОМАССОЙ И ВЛАЖНОСТЬЮ ПАСТБИЩ

Резюме

Целью представленной работы была проверка существования связи между радиационной температурой, измеряемой методами дистанционного зондирования с высоты полёта самолёта и спутника, и природными параметрами, характеризующими пастбища.

Аэросъёмка была выполнена с борта вертолёт с высоты 100 м и 1600 м с помощью ручного радиометра KT-15. Радиационная температура с высоты спутника была определена на основе спутниковых снимков AVHRR/NOAA.

Результаты аэро- и космических измерений были сравнены с величинами параметров, характеризующих пастбища: LAI /Leaf Area Index/, биомасса /свежая/ и влажность почвы. Была получена зависимость между радиационной температурой, а LAI и биомассой. Зато не замечено наличия существенной зависимости между радиационной температурой и влажностью почвы, что вызвано тем, что на территории лугов почва всегда покрыта растительностью.

Представленная работа была выполнена в ИГиК-ОПОЛИС как один из нескольких этапов исследований, проводимых в 1987-1991 годах и связанных с прогнозированием урожая пастбищных угодий на основе спутниковых снимков AVHRR/NOAA. Спонсором этих исследований были UNDP/FAO и Польская Академия Наук.

Перевод: Róża Tołstikowa

