

Wpływ wybranych elementów środowiska przyrodniczego na zróżnicowanie emisyjności promieniowania termalnego Doliny Gąsienicowej

The influence of natural environment's components on spatial diversity of thermal emissivity of the Gąsienicowa Valley

Justyna METRYCKA, Bogdan ZAGAJEWSKI

Słowa kluczowe: Tatrzański Park Narodowy, Dolina Gąsienicowa, emisyjność, temperatura radiacyjna, wskaźnik mocy powiązań, moc powiązań.

Key words: the Tatra National Park, Gąsienicowa Valley, emissivity, surface temperature, power connection index, connection index

Hyperspectral remote sensing is still being discovered as a tool about analytical possibilities for the research on areas about diversified character, like mountain areas. This study investigated the relationship between spatial variability of surface temperature of the Gąsienicowa Valley (the Tatra Mountains) and chosen components of the natural environment, such as: near-surface lithology layers, soil surfaces, land cover types, altitudes, slopes and aspects. Image of the surface radiation temperature was processed basing on the Digital Airborne Imaging Spectrometer (DAIS 7915) data. Thematic layers were: acquired from the Tatra National Park GIS Office (geology, lithology and soil layers), generated from DTM (al-

titude, slopes and aspects) and created from the DAIS RGB compositions data (land cover).

The analysis of relationship between components and surface temperatures were measured by the power connection index (Richling, 1983) and connection index (Zagajewski, 2003).

It has been stated that the greatest power of connections occurred between the radiation temperature and the soil surface, however on the majority surface of the Gąsienicowa Valley temperature responses most strongly to the land cover type.

Wstęp

Teledetekcja oraz Systemy Informacji Geograficznej pozwalają na szczegółowe badania dynamiki i kierunków zmian zachodzących w przyrodzie. Zdalne badania rozkładu temperatury powierzchni Ziemi umożliwiają prowadzenie monitoringu zróżnicowania termalnego w skalach lokalnych, jak i globalnych. Obszary górskie, ze względu na czuły system przyrodniczy, dostarczają szczegółowych danych służących monitorowaniu środowiska.

Celem badań było określenie wpływu wybranych komponentów środowiska (utwory powierzchniowe, gleby, pokrycie terenu, spadki terenu, ekspozycja stoków oraz wysokość bezwzględna) i topografii terenu na emisyjność promieniowania termalnego Doliny Gąsienicowej. Omawiane analizy wykonane zostały w oparciu

o temperaturę radiacyjną, którą można zdefiniować jako temperaturę ciała doskonale czarnego, które emituje tyle samo energii, co analizowany obiekt (Adamczyk, 2005). Algorytm badawczy składał się z przygotowania map tematycznych oraz mapy rozkładu promieniowania termalnego pozyskanego ze skanera hiperspektralnego DAIS 7915. Dane te zostały przecięte z warstwami komponentów środowiska, co pozwoliło obliczyć moc powiązań pomiędzy analizowanymi elementami. Wyniki zapisane zostały w postaci tabel wskaźnika mocy powiązań oraz mocy powiązań, a ich rozkład przestrzenny został zaprezentowany na zestawie map (Metrycka, 2009). Natężenie promieniowania emitowanego z powierzchni Ziemi zależy głównie od temperatury i zdolności emisyjnych danego obszaru (Mularz, 1998). Zmienność temperatury radiacyjnej świadczy m.in. o stanie powierzchni czynnej (Mizgajski, 1984).

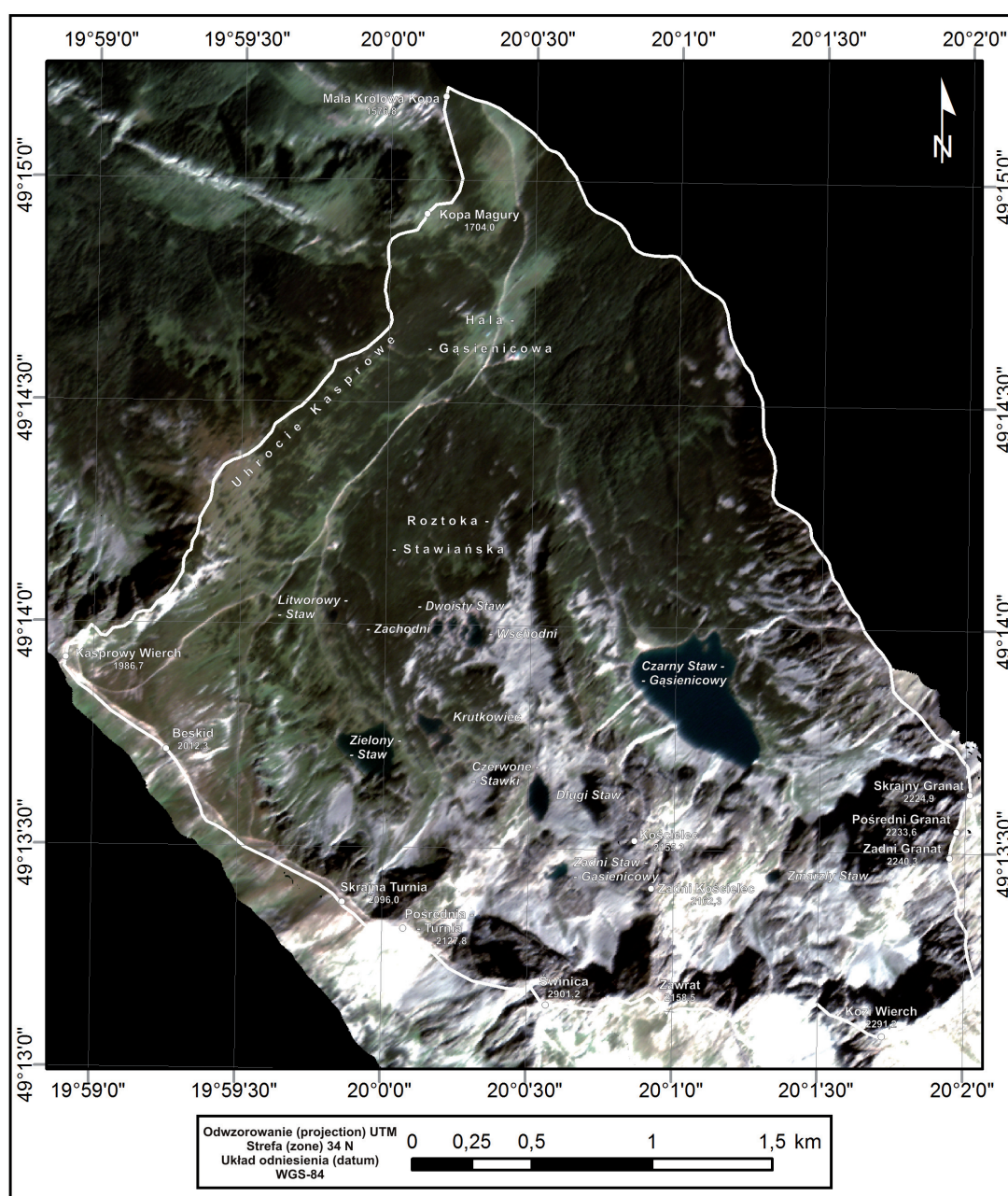
Analiza wpływu komponentów na właściwości termalne Doliny Gąsienicowej polegała na zbadaniu współwystępowania elementów środowiska przyrodniczego i temperatury radiacyjnej. Do tego celu wykorzystano wskaźnik mocy powiązań (Richling, 1983) oraz moc powiązań (Zagajewski, 2003).

Aplikacyjne wykorzystanie teledetekcyjnych systemów rejestracji podczerwieni sięga lat 60-tych XX w. (Moxham, 1967; Friedman, 1969). Znalazły one zastosowania do badań geologicznych, sejsmologicznych, hydrologicznych, glebowych, atmosferycznych oraz użytkowania terenu. Wykorzystanie długofalowego promieniowania podczerwonego daje możliwość kompleksowej analizy systemów przyrodniczych. Obecnie, zwiększone zainteresowanie zakresami termalnymi wy-

nika głównie z nowych i technicznie lepszych sensorów oraz powszechnej dostępności danych.

Wysokorozdzielcze skanery hiperspektralne rejestrują promieniowanie elektromagnetyczne w pełnym zakresie spektrum (także w TIR). Pozwala to na zebranie szczegółowych danych, które stanowią dobre źródło danych referencyjnych do analiz termalnych.

Na obszarze Tatr prowadzone są od wielu lat zaawansowane badania nad termiką gór. Geneza badań tego obszaru sięga początku XIX w., kiedy to S. Staszic prowadził analizy termiki wód tatrzańskich (Choiński, 2006). W XX w. nastąpił wzrost zainteresowania tego typu badaniami. Świadczą o tym prace m.in. E. Rome-
ra (1911, za Choiński, 2006). Wcześniejsze badania termalne Tatr koncentrowały się na analizach termiki wód



Ryc. 1. Obszar badań na obrazie DAIS 7915 w kompozycji barwnej RGB 9, 3, 1
Fig. 1. Research area on the RGB 9,3,1 composition of DAIS 7915

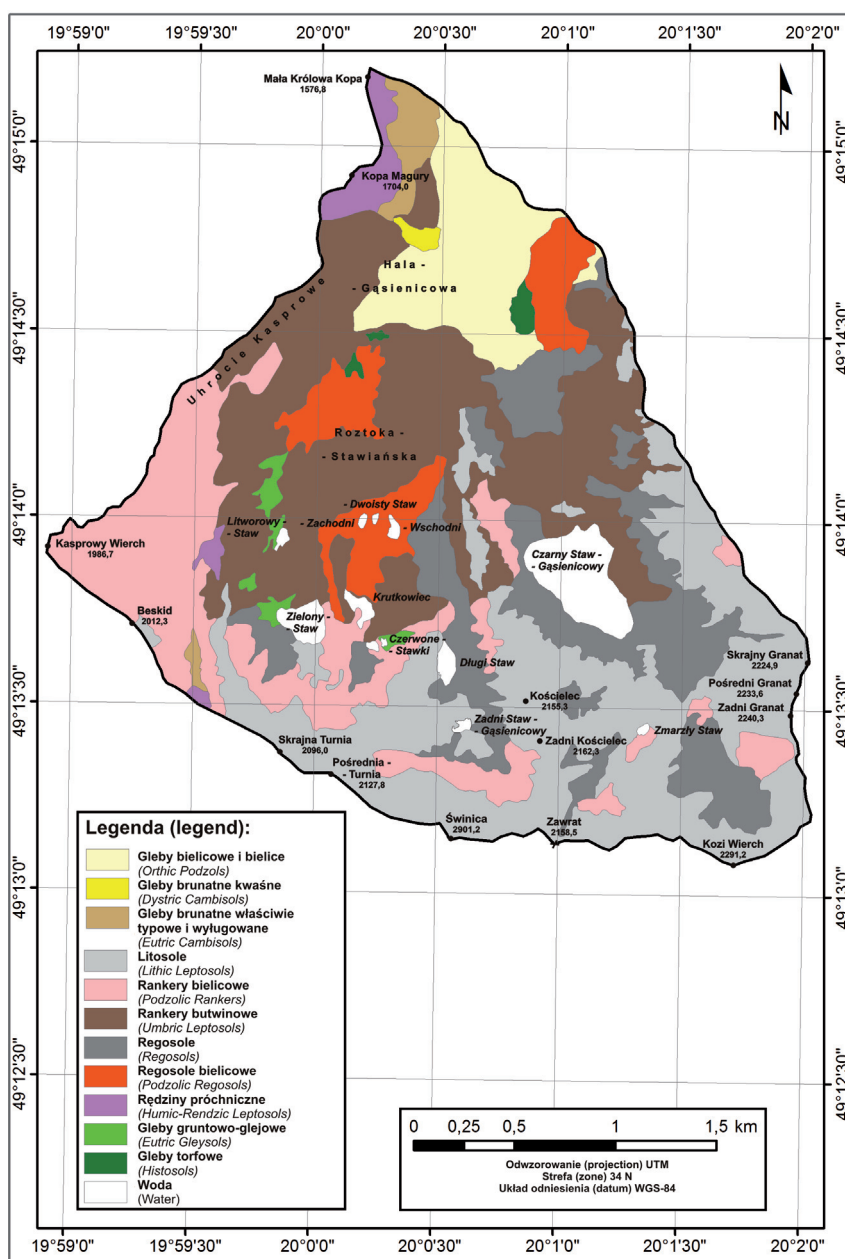
(Łajczak, 1982; Mościcki, 1996) oraz zjawisk lodowych (Choiński, 2006). Szczególne zasługi na tym polu ma IMiGW oraz IGiPZ PAN (Baranowski 2002, 2003, 2007). Instytucje te posiadają własne stacje terenowe na Kasprowym Wierchu oraz Hali Gąsienicowej.

Obszar badań

Obszar badań zlokalizowany jest na terenie Tatr Wysokich Tatrzańskiego Parku Narodowego i obejmuje Dolinę Gąsienicową (Ryc. 1).

Dolina Gąsienicowa, dawniej nazywana też Doliną Gąsienicowych Stawów, jest przedłużeniem Doliny Suchej Wody. Położona jest na wysokości od około 1400

m n.p.m. (Radwańska-Paryska, Paryski, 1995). Dzieli się ona na dwie części (rozdzielone grzbietem Kościelców): Zieloną Dolinę Gąsienicową (zachodnia część) oraz Czarną Dolinę Gąsienicową (wschodnia część). Granice Doliny Gąsienicowej wyznaczają: od zachodu grań łącząca Kasprowy Wierch (1897 m n.p.m.), Uhrocie Kasprowe i Kopę Magury (1704 m n.p.m.); od południa główna grań Tatr na odcinku Kasprowy Wierch – Beskid (2012 m n.p.m.) – Skrajna Turnia (2096 m n.p.m.) – Pośrednia Turnia (2128 m n.p.m.) – Świnica (2301 m n.p.m.) oraz grań łącząca Świnicę i Kozi Wierch (2291 m n.p.m.); od wschodu ograniczają dolinę szczyty Granatów i Żółtej Turni (2087 m n.p.m.) (Tatrzański Park Narodowy, 2008). Powierzchnia obszaru badań wynosi około 821,25 ha.



Ryc. 2. Mapa gleb Doliny Gąsienicowej (na podstawie danych TPN)
 Fig. 2. The soil map of the Gąsienicowa Valley (on the base of the Tatra National Park sources)

Badany obszar według J. R. Olędzkiego (2007) jest częścią makroregionu fotomorficznego Karpaty (14), mezoregionu Tatry (14.4) należąc w części do Tatr Wysokich (14.4.1) i Tatr Zachodnich (14.4.2).

Masyw tatrzański zbudowany jest z paleozoicznego trzonu krystalicznego i otaczających go skał osadowych. Charakteryzuje się ukośnym ułożeniem warstw skalnych. Jest on pochylony ku północy, gdzie zapada się pod pokrywą mezozoicznych skał osadowych (Lewandowski, 2007). Od Przełęczy Liliowej w dół Doliny Gąsienicowej biegnie granica między Tatrami Zachodnimi, a Tatrami Wysokimi. W Dolinie Gąsienicowej stykają się skały krystaliczne Tatr Wysokich ze skałami osadowymi Tatr Zachodnich, a także ze skałami krystalicznymi „wyspy krystalicznej” Beskidu, Kasprowego Wierchu i Uhroci Kasprowych (Radwańska-Paryska, Paryski, 1995; Bac-Moszaszwili, Gąsienica Szostak, 1990).

W Tatrach panuje klimat górski strefy umiarkowanej. Charakteryzuje się on znaczną wilgotnością, obfitymi opadami i grubą pokrywą śnieżną w zimie. Istotną cechą klimatu Tatr jest piętrowość warunków środowiska. Wraz ze wzrostem wysokości zaznacza się ona spadkiem temperatury (0,59°C na 100 m), wzrostem natężenia promieniowania słonecznego oraz siły wiatru (Baranowski, 2003).

Procesy kształtujące glebę na terenie górskim zależą od: wysokości n.p.m., ekspozycji, nachylenia, rodzaju podłoża i warunków klimatyczno-roślinnych. Na badanym obszarze przeważają gleby inicjalne i słabo wykształcone oraz gleby bielcowe (Ryc. 2). W rejonie Doliny Gąsienicowej występują trzy taksonomiczne jednostki glebowe.

Gleby autogeniczne o dobrze wykształconym profilu glebowym, silnie powiązane z warunkami klimatyczno-roślinnymi: gleby bielcowe i bielice (Orthic Podzols), gleby brunatne kwaśne (Dystric Cambisols), gleby bru-

natne właściwe typowe i wylugowane (Eutric Cambisols). Gleby te zlokalizowane są w niższych partiach Doliny, w północnej i środkowej jej części.

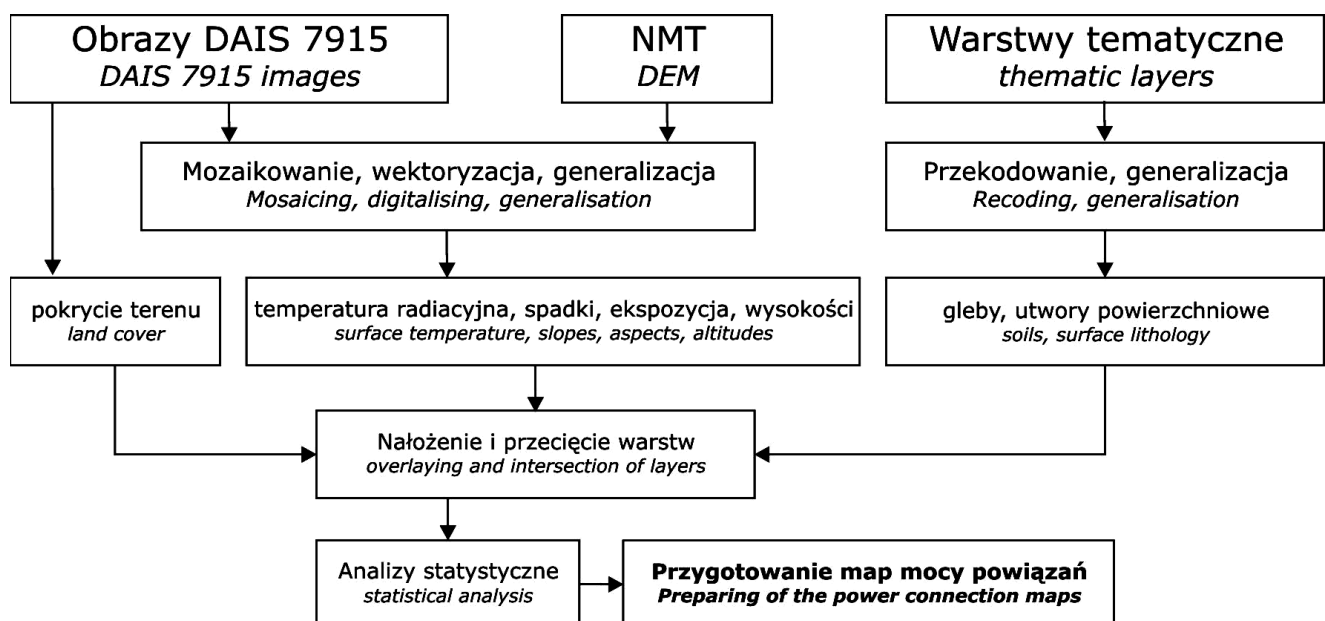
Gleby litogeniczne wykształcone ze skał bezwęglanowych oraz gleby litogeniczne wykształcone ze skał węglanowych, dziedziczące z podłoża skład mineralny oraz właściwości fizyczne i chemiczne: litosole (Lithic Leptosols), rankery bielcowe (Podzolic Rankers), rankery butwinowe (Umbric Leptosols), regosole (Regosols), regosole bielcowe (Podzolic Regosols) oraz rędziny próchniczne (Humic-Rendzic Leptosols). Zajmują największą powierzchnię Doliny Gąsienicowej. Rozpoznane zostały w wyższych partiach badanego obszaru, w południowej oraz wyspowo w środkowej i północnej jego części (regosole bielcowe).

Gleby semihydrogeniczne i hydrogeniczne uwarunkowane bliskością zwierciadła wód gruntowych: gleby gruntowo-glejowe (Eutric Gleysols) i gleby torfowe (Histosols) występujące lokalnie w postaci małych płatów.

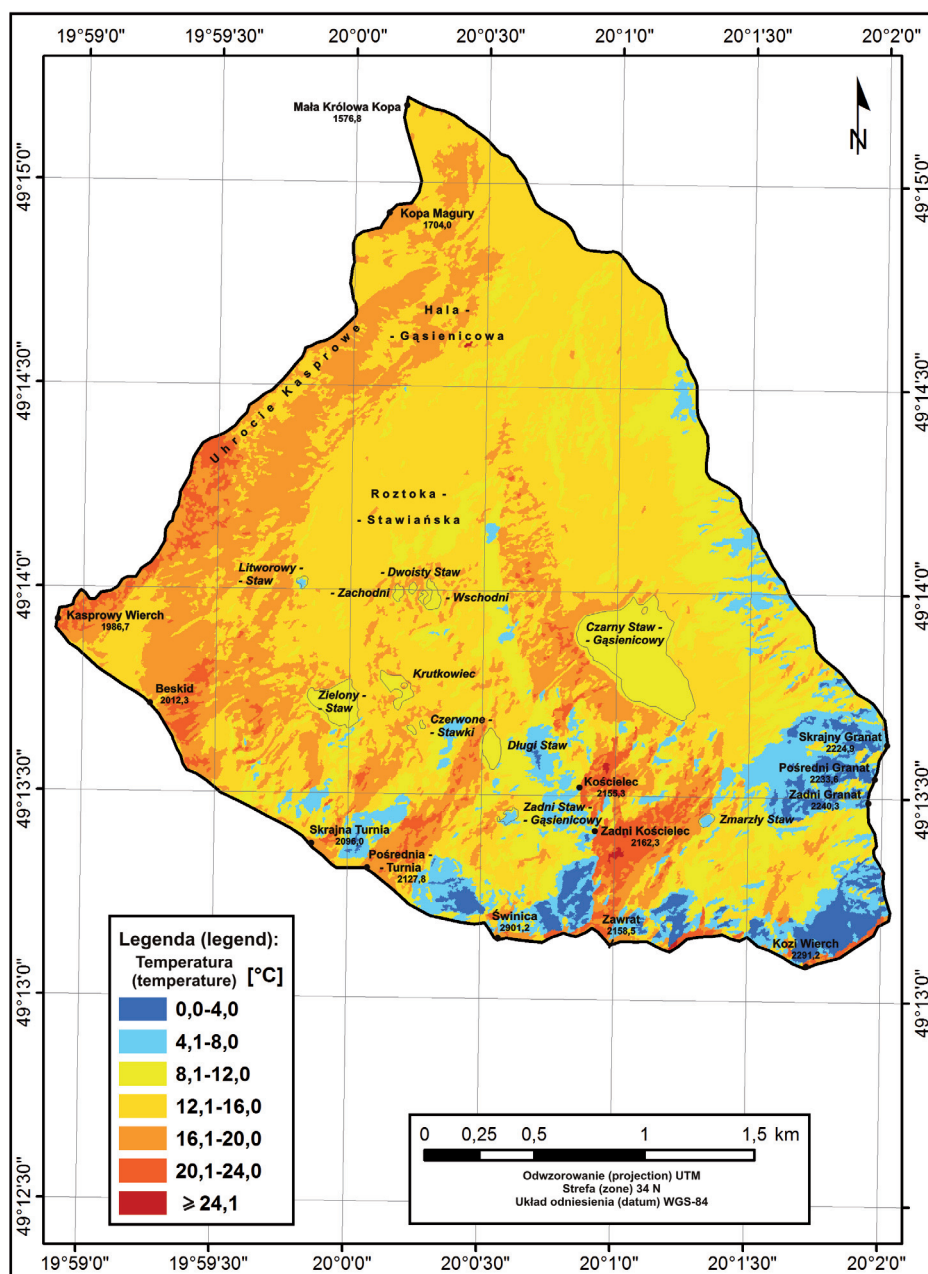
Metodyka pracy

Metodyka niniejszej pracy polegała na przetworzeniu i interpretacji danych hiperspektralnych, opracowaniu map tematycznych analizowanych komponentów środowiska, ich nałożeniu na mapę rozkładu temperatur oraz obliczeniu wskaźników mocy powiązań (Ryc. 3).

Do wykonania analiz wykorzystano oprogramowanie: ENVI (do przetworzeń danych rastrowych), a także ArcGIS (do analiz wektorowych). Do obliczeń statystycznych posłużył pakiet MS Excel oraz język programowania Visual Basic for Applications (VBA) umożliwiający tworzenie aplikacji bazujących na możliwościach Excela (Walkenbach, 2004).



Ryc. 3. Schemat przetwarzania i interpretacji danych źródłowych
Fig. 3. Processing and data interpretation chain



Ryc. 4. Mapa rozkładu temperatury radiacyjnej powierzchni Doliny Gąsienicowej (4. sierpnia 2002 roku ok. godziny 10:30)

Fig. 4. The map of surface temperature of the Gąsienicowa Valley (August 4, 2002, acquired local time 10.30)

Wszystkie materiały źródłowe, jak i produkty końcowe posiadają odwzorowanie UTM (Universal Transverse Mercator) strefy 34 N, w systemie odniesień przestrzennych WGS-84.

Dane obrazowe pochodzą ze skanera hiperspektralnego DAIS 7915 (Digital Airborne Imaging Spectrometer 7915). Zobrazowania pozyskane zostały 4. sierpnia 2002 roku, między godziną 10:00, a 11:00. Dane zostały skorygowane geometrycznie i spektralnie podczas korekcji atmosferycznej i geometrycznej w DLR (Zaga-

jewski i in., 2005). Efektem tych prac były m.in. mapy rozkładu temperatury radiacyjnej badanego terenu oraz mapa pokrycia terenu uzyskana na podstawie kompozycji RGB 22,12,1 oraz RGB 9,3,1.

Skaner DAIS 7915 dostarcza obrazów w zakresie 400-12600 nm, o zmiennej rozdzielczości przestrzennej, zależnej od wysokości lotu (analizowane dane posiadają rozdzielczość 3 m). Skaner składał się z 4 detektorów typu Kennedy, którego lustro zbiera energię z pola widzenia FOV równego 26° (Tab. 1.) (Holzwarth i in., 2003)

Tabela 1. Charakterystyka spektrometrów skanera DAIS 7915

Table 1. Characteristics of the DAIS7915 scanner

Spektrometr scanner	Długość fali wavelength [nm]	Liczba kanałów number of bands	Szerokość kanałów FWHM [nm]	Detektor detector
1.	400-1000	32	15-30	Si
2.	1500-1800	8	45	InSb
3.	2000-2500 3000-5000	32 1	20 2000	InSb
4.	8000-12600	6	900	MCT

Mapa temperatury radiacyjnej

Obraz rozkładu temperatury radiacyjnej powstał z kanałów 73-79 skanera DAIS 7915 w procesie korekcji atmosferycznej. Uzyskany obraz został poddany następującym zabiegom: kwantowaniu pikseli co 4°C¹; mozaikowaniu 5 i 6 linii zobrazowania, w celu uzyskania danych dla całego obszaru badań; wektoryzacji danych rastrowych; generalizacji i eliminacji poligonów poniżej 200 m²; opracowaniu mapy rozkładu temperatury radiacyjnej Doliny Gąsienicowej z 4. sierpnia 2002 roku, z godzin 10.00-11.00 (Ryc. 4).

Mapa pokrycia terenu

W celu stworzenia mapy pokrycia terenu (Ryc. 5) analizie poddano dwie kompozycje barwne RGB pochodzące z pakietu danych DAIS 7915. Wybrano je tak, by odpowiadały: barwom naturalnych tj. R 9 (0.625 μm), G 3 (0.535 μm), B 1 (0.502 μm) oraz kompozycji spektrostrefowej tj. R – kanał 22 (0.873 μm), G – kanał 12 (0.695 μm), B – kanał 1 (0.502 μm) (Próchnicki, 2006).

Mapy wysokości, ekspozycji stoków oraz spadków terenu

NMT posłużył do utworzenia map pochodnych. Do tego celu wykorzystano numeryczny model terenu (NMT), który został opracowany w Katedrze Geoinformatyki i Teledetekcji WGiSR UW na podstawie poziomicy pozyskanych z map topograficznych w skali 1:10 000. We wszystkich przypadkach usunięto poligony o powierzchniach poniżej 200 m². Mapa wysokości powstała na podstawie kwantyfikacji NMT, bazując na 100 m przedziałach klas.

Mapa ekspozycji powstała na podstawie 45-stopniowych przedziałów określając kierunki N, NE, E, SE, S, SW, W, NW. Tereny płaskie zaliczone zostały do osobnej klasy.

¹ Kwantowanie jest algorytmem klasyfikacyjnym, podczas którego poszczególnym pikselom nadawana jest określona wartość temperatury

Spadki zostały zmierzone w stopniach, z konwencją 0° dla terenów poziomych oraz tereny o spadkach 1-10°, 11-20°, 21-30°, 31-40°, 41-50°, 51-60° oraz powyżej 61° (Guzik, 2001).

Analiza danych

Po opracowaniu warstw tematycznych, każda z nich została nałożona na warstwę rozkładu temperatur radiacyjnych. Uzyskane informacje pozwoliły na przeprowadzenie analiz statystycznych. Polegały one na obliczeniu wskaźnika mocy powiązań i mocy powiązań.

Wskaźnik mocy powiązań (wmp) pozwala na ilościowy pomiar współwystępowania dwóch cech względem całkowitej powierzchni mniejszego elementu (Richling, 1983):

$$wmp = \frac{P_{x,y}}{P_x} \quad \text{gdy} \quad P_x < P_y \quad (1)$$

$$wmp = \frac{P_{x,y}}{P_y} \quad \text{gdy} \quad P_y < P_x,$$

gdzie:

$P_{x,y}$ – całkowita powierzchnia, na której występują obie badane cechy,

P_x – całkowita powierzchnia komponentu z cechą x,

P_y – całkowita powierzchnia komponentu z cechą y.

Wartość wskaźnika mocy powiązań przyjmuje wartości z zakresu <0,1>. W niniejszej pracy przyjęto za G. Bezkowską (1986) pięciostopniowy podział wartości wskaźnika mocy powiązań:

wmp = (0,0-0,2>	związki bardzo słabe
wmp = (0,2-0,4>	związki słabe
wmp = (0,4-0,6>	związki przeciętne
wmp = (0,6-0,8>	związki mocne
wmp = (0,8-1,0>	związki bardzo mocne

Analizę wskaźnika mocy powiązań wykonano dla uchwycenia zależności pomiędzy poszczególnymi zakresami temperatury radiacyjnej oraz wydzieleniami pokrycia terenu, ekspozycji, spadków terenu, wysokości bezwzględnych, utworów powierzchniowych oraz gleb. Rozkład przestrzenny obliczonych wskaźników zaprezentowany został w postaci map.

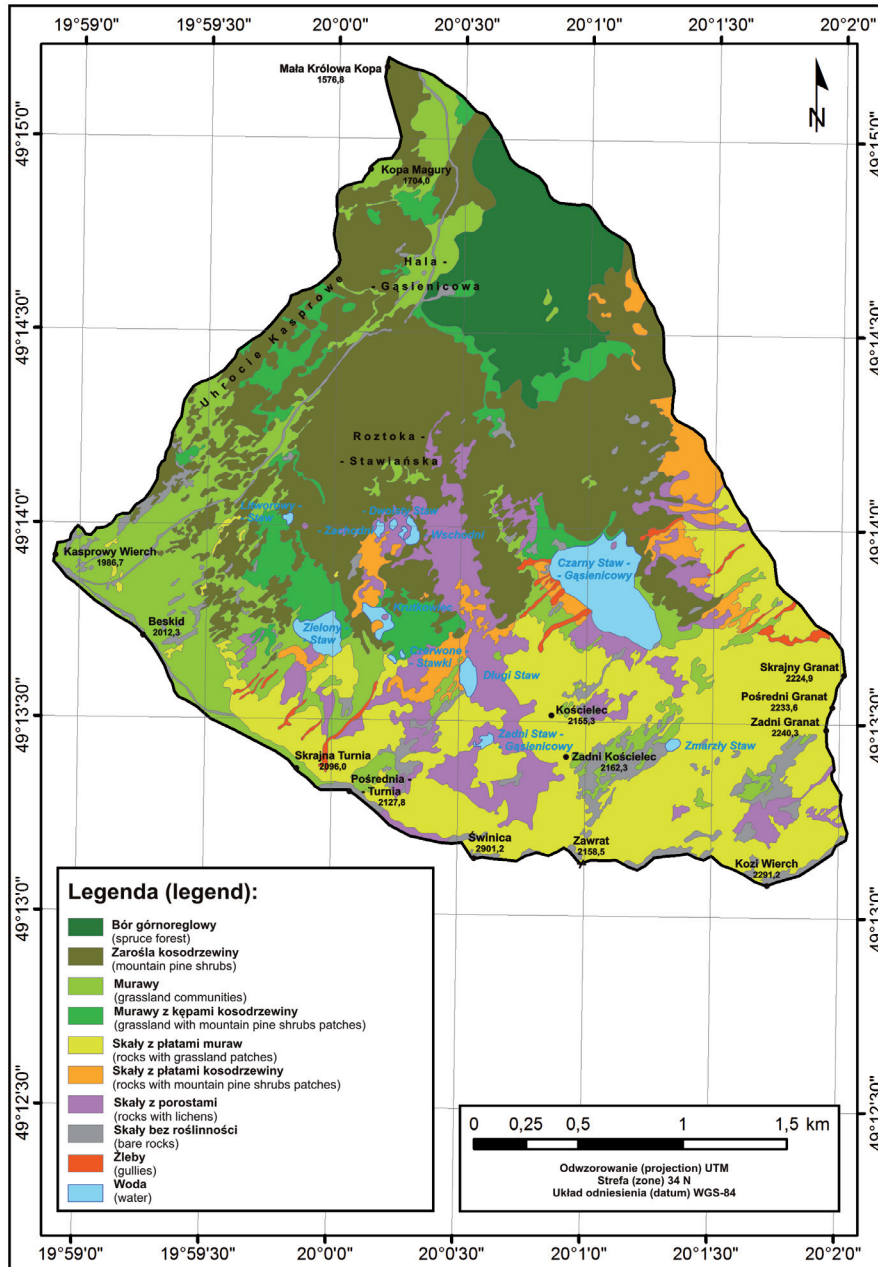
W celu określenia zależności między danym komponentem środowiska przyrodniczego a temperaturą radiacyjną wprowadzono do analizy moc powiązań (mp) (Zagajewski, 2003). Jest to suma iloczynów udziału procentowego określonej cechy komponentu i wskaźnika mocy powiązań, wyrażonego w 5-stopniowej skali

$$mp = (wmp1 \cdot \%pt1) + (wmp2 \cdot \%pt2) + \dots + (wmpn \cdot \%ptn) \quad (2)$$

gdzie:

wmp_1 – wmp dla danej cechy badanego elementu i pierwszej cechy rozpatrywanego komponentu,

$\%pt_1$ – procentowy udział powierzchni pierwszej ce-



Ryc. 5. Mapa pokrycia terenu Doliny Gąsienicowej
 Fig. 5. Land cover map of the Gąsienicowa Valley (on the basis of photointerpretation of RGB 9,3,1 and RGB 22,12,1 composites)

chy rozpatrywanego komponentu w danej cesze badanego elementu,

wmp_2 – wmp dla danej cechy badanego elementu i drugiej cechy rozpatrywanego komponentu,
 $\%pt_2$ – procentowy udział powierzchni drugiej cechy rozpatrywanego komponentu w danej cesze badanego elementu,

wmp_n – wmp dla danej cechy badanego elementu i n-tej cechy rozpatrywanego komponentu,
 $\%pt_n$ – procentowy udział powierzchni drugiej cechy rozpatrywanego komponentu w n-tej cesze badanego elementu.

Wartość mocy powiązań przyjmuje wartości z zakresu $<100,500>$. Otrzymane wartości mp przydzielono do pięciu przedziałów, tworząc klasy związków (Zagajewski, 2003):

$mp = <100>$ związki bardzo słabe,
 $mp = (100-200>$ związki słabe,
 $mp = (200-300>$ związki przeciętne,
 $mp = (300-400>$ związki mocne,
 $mp = (400-500>$ związki bardzo mocne.

Moc powiązań bliska 100 świadczy o tym, że wśród wszystkich badanych cech danego komponentu występują bardzo słabe związki, natomiast bliska 500 dowodzi, że wśród badanych cech współwystępują w bardzo mocnych związkach.

Wybór dominującego komponentu środowiska na emisję promieniowania termalnego bazował na analizie pól podstawowych danego zakresu temperatury. W założeniu powinien to być poligon o największej wartości

iloczynu wskaźnika mocy powiązań między danym komponentem a temperaturą radiacyjną (p_{xi}) i istotności średniej wartości wmp (W_x):

$$s_x = \frac{\sum_i^n p_{xi}}{n} \quad \text{dla} \quad x \in X \quad (3)$$

$$w_x = \frac{s_x}{\sum_{y \in X} s_y} \quad \text{dla} \quad x \in X \quad (4)$$

$$\sum_{x \in X} w_x = 1; \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad x, y \in X; \quad X \subset N$$

gdzie:

s_x, s_y – średnia wartość wskaźnika mocy powiązań między danym komponentem o indeksie x lub odpowiednio y a temperaturą radiacyjną,

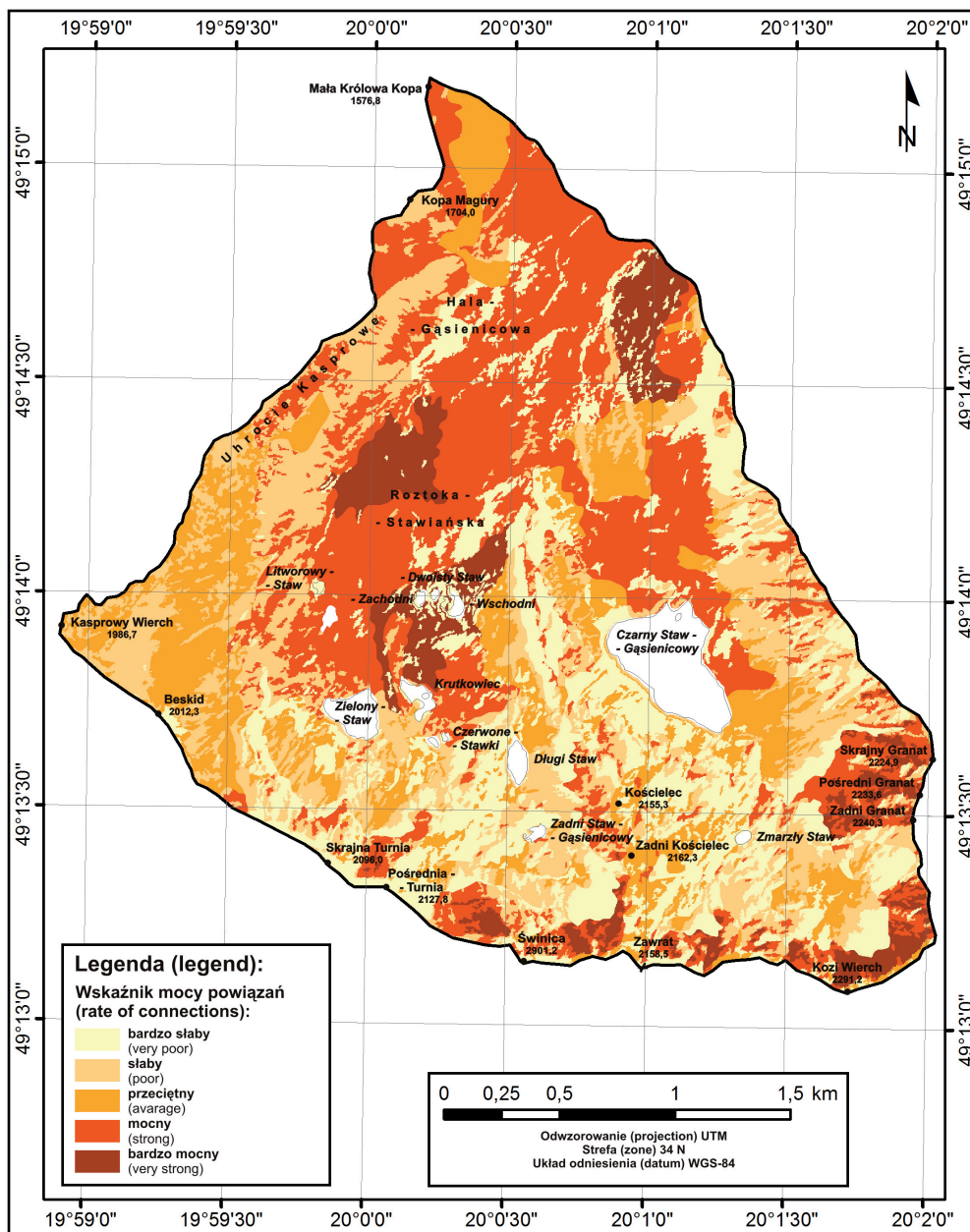
p_{xi} – wartość wskaźnika mocy powiązań między danym komponentem o indeksie x, a temperaturą radiacyjną dla i-tego pola podstawowego,

w_x – istotność średniej wartości wmp pierwszego komponentu w zbiorze wszystkich średnich wartości wskaźnika mocy powiązań danego poligonu podstawowego,

X – zbiór indeksów wszystkich komponentów,

x, y – indeks komponentu,

n – liczba pól podstawowych.



Ryc. 6. Mapa rozkładu wskaźnika mocy powiązań między glebami a temperaturą radiacyjną
Fig. 6. The map of the power connection index between soils and surface temperature

Wyboru komponentu dokonano według zależności:

$$\max_{x \in X} (p_{xi} \cdot w_x) \quad \text{dla} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

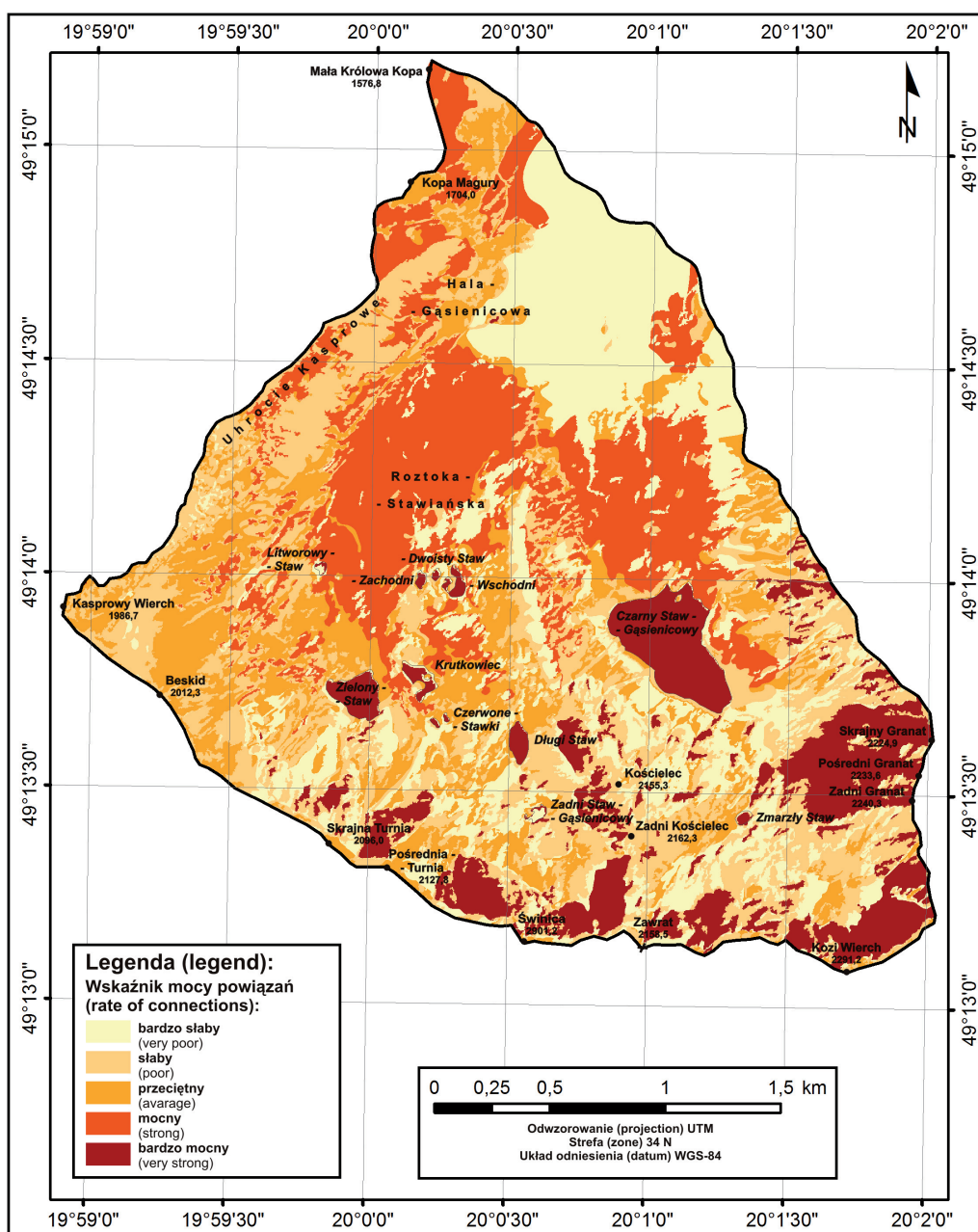
relacje zaobserwowano między temperaturą radiacyjną, a elementami topografii (wysokość n.p.m. oraz spadkami terenu) (Metrycka, 2009).

Wyniki badań

Na podstawie przeprowadzonych badań scharakteryzowano wpływ analizowanych komponentów środowiska przyrodniczego na zróżnicowanie emisyjności promieniowania termalnego Doliny Gąsienicowej. Uzyskane wyniki wskazują, że temperatura radiacyjna najsilniej koreluje się z glebami i pokryciem terenu (na uwagę zasługuje także ekspozycja, która ma średnie moce powiązań, ale relacja ta występuje na dużej powierzchni badanego obszaru). Stosunkowo najsłabsze

Relacja gleby – temperatura radiacyjna

Wyniki badań wskazują, że istnieje mocna zależność między emisyjnością promieniowania termalnego, a glebami. Średnia moc powiązań wynosi 304 i jest to najwyższa wartość spośród wszystkich badanych. Zróżnicowanie pokrywy glebowej wynika z właściwości fizycznych i chemicznych podłoża, a jednocześnie ma istotny wpływ m.in. na zawartość wody oraz rodzaj i ilość biomasy. Podobnie jak w badaniach E. Koster i A. Lucieer (2000) gleby okazały się mieć znaczący



Ryc. 7. Mapa rozkładu wskaźnika mocy powiązań między pokryciem terenu a temperaturą radiacyjną
 Fig. 7. The map of the power connection index between land cover and surface temperature

wpływ na bilans cieplny obszaru badań. Powierzchniowo komponent ten obejmuje 23,4% związków bardzo mocnych i występuje w 17 z 33 kombinacji relacji mocnych. Wytlumaczeniem tak silnej relacji może być fakt, iż na wielu płatach, gleby determinują rodzaj pokrycia terenu.

Związki bardzo mocne zaobserwowano dla gleb litogenicznych, które dziedziczą z podłoża skład mineralny oraz właściwości fizyczne i chemiczne. Najsilniejsze relacje gleb zanotowano z temperaturą z przedziału 12,1-16°C. Poligony o bardzo mocnych związkach występują w północnej i południowej części płaskiej Rostoki Stawiańskiej i pokrywają się z trzema dużymi i zwartymi poligonami regosoli bielcowych (Podzolic Regosols). Bardzo mocne związki stwierdzono także w południowej i południowo-wschodniej części obszaru badań, gdzie zajmują fragment poligonu litosoli (Lithic Leptosols). Związki mocne występują na rozległej powierzchni w środkowej i północnej części Doliny, zajętej przez rannery butwinowe i gleby brunatne kwaśne.

Relacja pokrycie terenu – temperatura radiacyjna

Relacja między temperaturą radiacyjną powierzchni Doliny Gąsienicowej, a pokryciem terenu została zaklasyfikowana jako zależność przeciętna o średniej wartości mocy powiązań równej 255. Zaznacza się wyraźnie silna relacja temperatury z klasą wód i skał bez roślinności. Bardzo mocne związki dotyczą relacji z temperaturami 8,1-12,0°C oraz powyżej 24°C. Dotyczy to głównie wód (Stawy Gąsienicowe) oraz skał (południowa część Doliny Gąsienicowej oraz zachodni stok Skrajnego Granatu).

Związki mocne dominują w centralnej części obszaru badań, będąc silnie powiązaniem z zaroślami kosodrzewiny. Stwierdzono przeciętną moc powiązań temperatury radiacyjnej ze skałami z płatami muraw, murawami z kępami kosodrzewiny, murawami, skałami bez roślinności, skałami z płatami kosodrzewiny, skałami z porostami. Nie odnotowano istotnej roli w relacjach z temperaturą żleńców i boru górnoreglowego.

Analiza relacji bardzo mocnych i mocnych

W celu określenia komponentów środowiska najsilniej wpływających na emisyjność Doliny Gąsienicowej szczególnie przeanalizowano związki mocne i bardzo mocne, które zajmują powierzchniowo odpowiednio 29,1% i 19,4%

Związkami bardzo mocnymi cechują się głównie relacje temperatury powierzchni z glebami, pokryciem terenu, utworami powierzchniowymi oraz ich wzajemne kombinacje z orografią terenu (Tabela 2). Procentowo, najsilniej na emisyjność Doliny Gąsienicowej wpływa pokrycie terenu (49,3%), następnie gleby (23,4%) oraz utwory powierzchniowe (14,7%). Poligony o bardzo moc-

nych relacjach zlokalizowane są w Dolinie Gąsienicowej na powierzchni zajmowanej przez wodę, litosole (południowo-wschodnia część Doliny), regosole bielcowe oraz osady rzeczno-lodowcowe (północno-wschodnia część obszaru badań (Ryc. 8).

Tabela 2. Charakterystyka związków bardzo mocnych
Table 2. Characteristics of very strong relationships (1. Land cover, 2. Soils, 3. Lithology, 4. Soils and land cover)

L.p. No.	Komponent component	Powierzchnia area [ha]	Powierzchnia area [%]
1	Pokrycie <i>Land cover</i>	78,6	49,3
2	Gleby <i>Soils</i>	37,4	23,4
3	Utwory <i>Lithology</i>	23,4	14,7
4	gleby, pokrycie <i>Soils and land cover</i>	17,9	11,2
5	gleby, wysokość <i>Soils, altitude</i>	1,6	1,0
6	utwory, wysokość <i>Lithology, altitude</i>	0,6	0,4
7	Wysokość <i>altitude</i>	0,1	0,1

W sposób mocny na emisyjność wpływa 29,1% powierzchni Doliny Gąsienicowej. Dotyczy to głównie 33 kombinacji komponentów środowiska i emisyjności terenu (Metrycka, 2009). Kluczową rolę odgrywają w tym zakresie gleby, pokrycie terenu, spadki, ekspozycja oraz wysokość bezwzględna (Tabela 3., Ryc. 8). Związki mocne występują głównie w niższych partiach Doliny Gąsienicowej oraz w środkowej i północnej części obszaru badań, tworząc zróżnicowaną mozaikę relacji (Ryc. 9).

Tabela 3. Charakterystyka związków mocnych
Table 3. Characteristics of strong relationships (pokrycie-land cover, gleby – soils, utwory – lithology, spadki – slopes, ekspozycja – aspects, wysokość – altitude)

L.p. No.	Komponent component	Powierzchnia area [ha]	Powierzchnia area [%]
1	gleby, pokrycie, spadki, wysokość <i>soils, land cover, slopes, altitude</i>	39,8	16,6
2	gleby, pokrycie, spadki <i>soils, land cover, slopes</i>	34,6	14,5
3	spadki <i>slopes</i>	27,8	11,6
4	gleby, pokrycie <i>soils, land cover</i>	15,6	6,5
5	utwory, gleby, pokrycie, spadki, wysokość <i>lithology, soils, land cover, slopes, altitude</i>	12,2	5,1
6	gleby, spadki <i>soils, slopes</i>	11,4	4,8

7	gleby, spadki, wysokość <i>soils, slopes, altitude</i>	10,7	4,5
8	gleby, pokrycie, wysokość <i>soils, land cover, altitude</i>	9,9	4,1
9	Gleby <i>soils</i>	9,2	3,8
10	twory, gleby, spadki, wysokość <i>lithology, soils, slopes, altitude</i>	8,0	3,4
11	twory, gleby, pokrycie, spadki <i>lithology, soils, land cover, slopes</i>	7,6	3,2
12	pokrycie <i>land cover</i>	6,7	2,8
13	twory, gleby, spadki <i>lithology, soils, slopes</i>	5,8	2,4
14	pokrycie, spadki, wysokość <i>land cover, slopes, altitude</i>	4,9	2,1
15	gleby, wysokość <i>soils, altitude</i>	4,6	1,9
16	twory, spadki <i>lithology, slopes</i>	4,6	1,9
17	spadki, wysokość <i>slopes, altitude</i>	3,7	1,5
18	twory, spadki, wysokość <i>lithology, slopes, altitude</i>	3,6	1,5
19	pokrycie, spadki <i>land cover, slopes</i>	3,5	1,5
20	twory <i>lithology</i>	2,3	1,0
21	twory, pokrycie, spadki, wysokość <i>lithology, land cover, slopes, altitude</i>	2,3	0,9
22	twory, gleby, pokrycie, wysokość <i>lithology, soils, land cover, altitude</i>	2,1	0,9
23	pokrycie, wysokość <i>land cover, altitude</i>	2,0	0,8
24	wysokość <i>altitude</i>	1,1	0,5

Podsumowanie i wnioski

Wyznaczenie mocy powiązań było możliwe dzięki zastosowaniu technik geoinformatycznych i analiz wskaźnikowych wykorzystywanych w geoekologii. W literaturze dostępne są badania relacji między różnymi komponentami górskiego ekosystemu Tatr (m.in.: Rączkowska, Kozłowska, 1999; Kozłowska, Rączkowska, Jakomulska, 1999; Baranowski 2002, 2003; Kaćki, 2004; Jodłowski, 2006; Drewnik, 2008). Przedmiotem badań tych analiz była głównie roślinność, w odniesieniu do innych elementów środowiska geograficznego. W centrum zainteresowania badawczego nie znalazły się do tej pory relacje temperatury radiacyjnej ze środowiskiem. Dzięki zastosowanej metodzie otrzymano

rozkład przestrzenny komponentów środowiska najsilniej wpływających na emisyjność Doliny Gąsienicowej (Ryc. 10).

Uwzględniając moc związku oraz zajmowaną powierzchnię Doliny najsilniej na emisyjność wpływa pokrycie terenu (50,1%). Następnie, ze względu na charakter obszaru badań, ekspozycja stoków (20,5%) oraz gleby (18,4%) obszaru badań (Tabela 4).

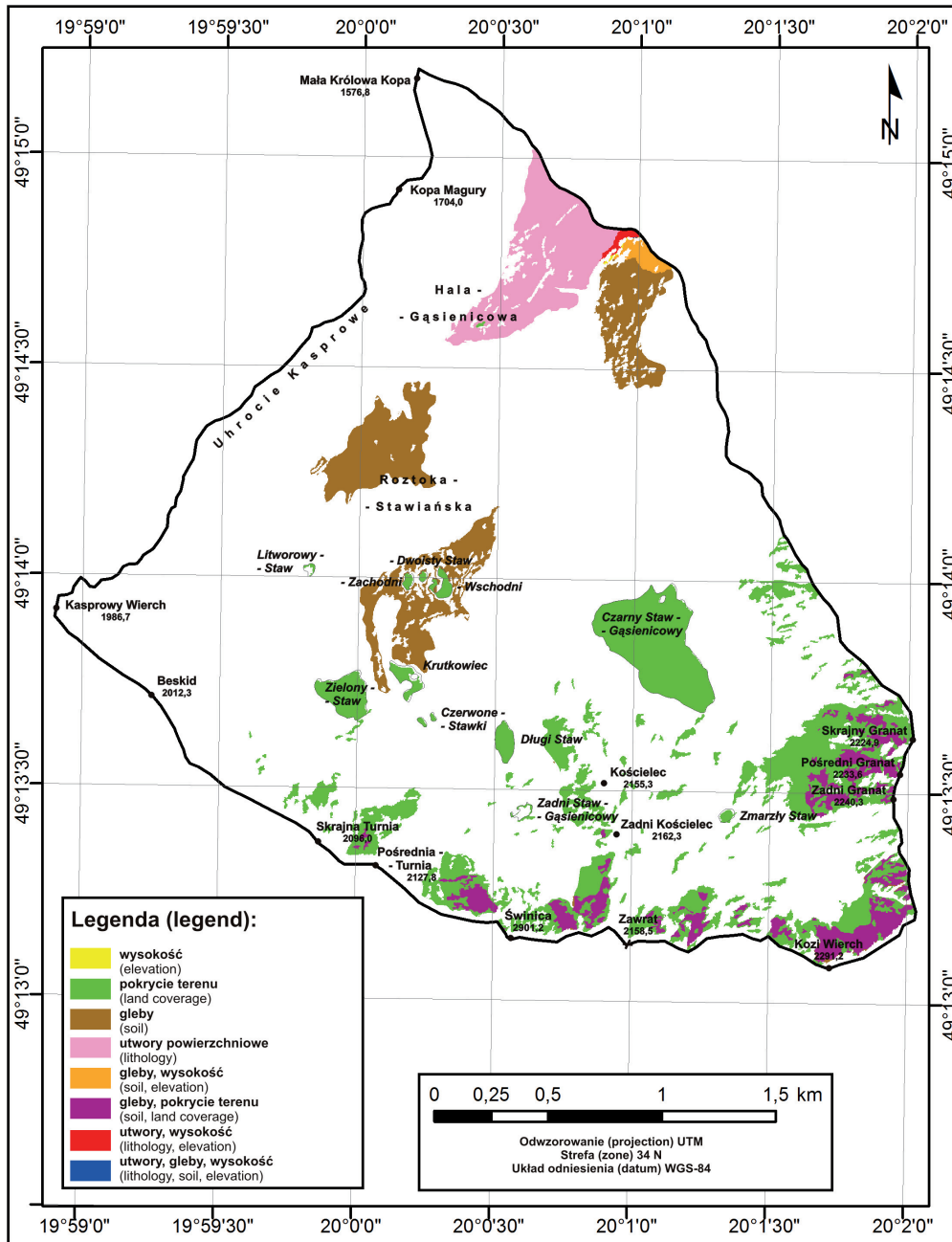
Tabela 4. Wpływ dominujących komponentów środowiska na emisyjność powierzchni Doliny Gąsienicowej
Table 4. Influence of dominant components for emissivity of the Gąsienicowa Valley surface (1. Land cover, 2. Aspects, 3. Soils, 4. Slopes, 5. Lithology, 6. Alltitude)

L.p. No.	Komponent component	Powierzchnia area [ha]	Powierzchnia area [%]
1	pokrycie terenu <i>land cover</i>	410,1	50,1
2	ekspozycja stoków <i>aspect</i>	167,6	20,5
3	gleby <i>soils</i>	147,0	18,0
4	spadki terenu <i>slopes</i>	47,9	5,9
5	twory powierzchniowe <i>lithology</i>	40,2	4,9
6	wysokość <i>altitude</i>	5,7	0,7

Należy stwierdzić, iż wyniki badań przeprowadzonych na podstawie jednorazowego pomiaru temperatury radiacyjnej, nie pozwalają na formułowanie zaawansowanych wniosków dla określenia powiązań między wielkością emisji promieniowania własnego powierzchni Tatr, a wybranymi komponentami środowiska przyrodniczego. Zrealizowane badania dały jednak możliwość porównania relacji między badanymi elementami a temperaturą w obrębie analizowanego obszaru.

Reasumując, wyniki badań pozwalają sformułować następujące wnioski:

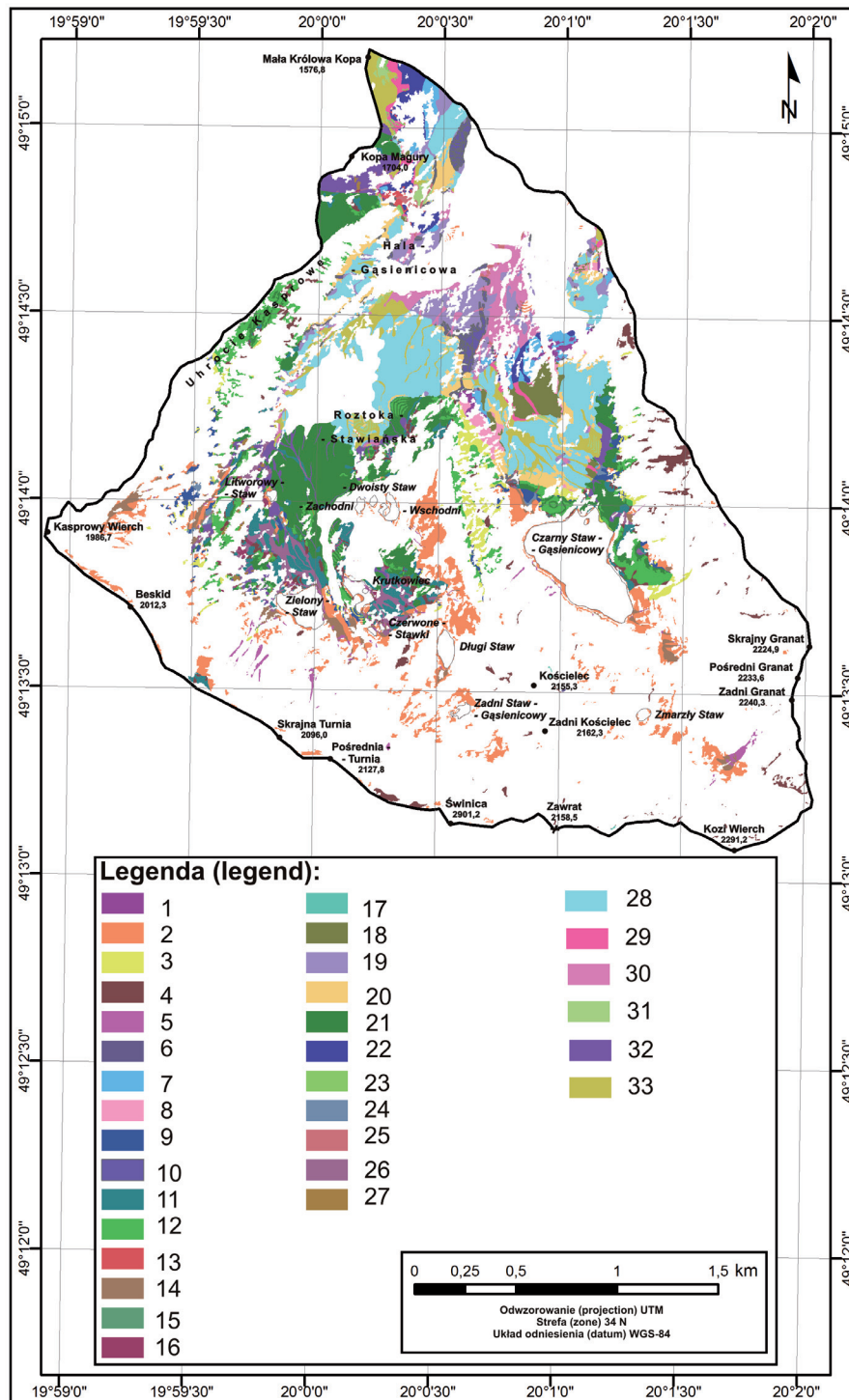
- przeprowadzone badania mocy powiązań wskazują, że istnieje mocna relacja między temperaturą radiacyjną a glebami powierzchni Doliny Gąsienicowej,
- związki bardzo mocne zaobserwowano dla gleb inicjalnych, litogenicznych, które dziedziczą z podłoża skład mineralny oraz właściwości fizyczne i chemiczne, stanowiąc podłoże dla względnie homogenicznych form pokrycia terenu Doliny Gąsienicowej,
- pięć z sześciu badanych komponentów (wysokość, ekspozycja, spadki, twory powierzchniowe, pokrycie terenu) wskazuje na przeciętną moc powiązań z temperaturą,
- niemal połowa obszaru Doliny Gąsienicowej prezentuje związki bardzo mocne i mocne badanych komponentów w relacji z temperaturą,



Ryc. 8. Mapa związków bardzo mocnych między badanymi komponentami środowiska przyrodniczego a temperaturą radiacyjną

Fig. 8. The map of very strong relationships between analysed components and surface temperature

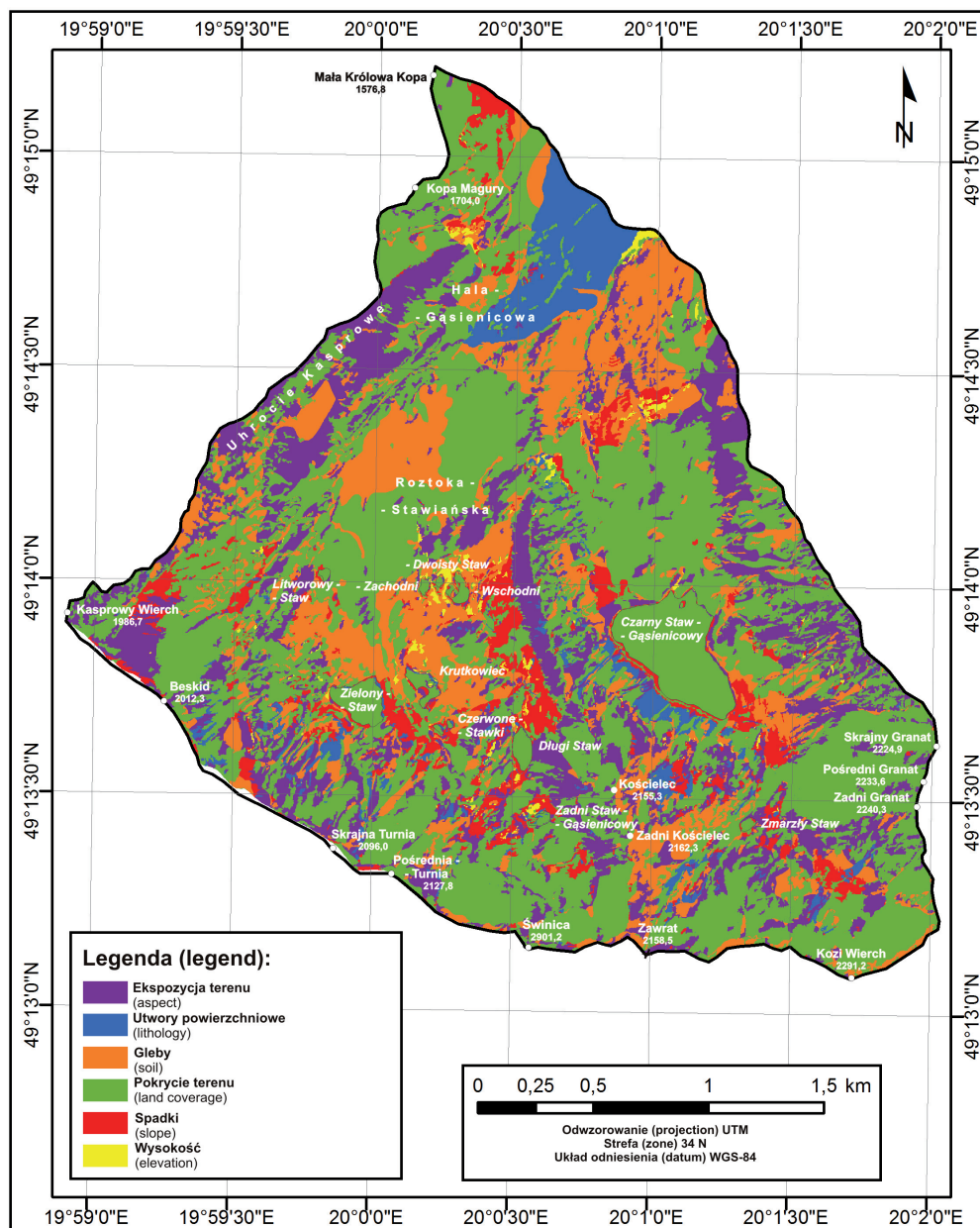
- na największej powierzchni Doliny Gąsienicowej najmocniej z temperaturą radiacyjną koreluje pokrycie terenu (49,3% powierzchni związków mocnych),
- związki bardzo mocne i mocne charakteryzują głównie powierzchnie zajmowane przez badane komponenty w niższych partiach Doliny Gąsienicowej. Skupiają poligony podstawowe w środkowej i północnej części obszaru badań, tworząc zróżnicowaną mozaikę relacji,
- ekspozycją E i SE jest w mocnym związku z najwyższą zaobserwowaną temperaturą ($\geq 24,1^{\circ}\text{C}$),
- relacje bardzo mocne są częściej obserwowalne dla cech komponentów o homogenicznej charakterystyce,
- badania wykazały, że komponenty środowiska związane z topografią terenu korelują nieznacznie słabiej z temperaturą niż pozostałe badane cechy.



Ryc. 9. Mapa związków mocnych między badanymi komponentami środowiska przyrodniczego, a temperaturą radiacyjną;

Fig. 9. The map of strong relationships between analysed components and surface temperature:

1 – wysokość (*altitude*); 2 – spadki (*slope*); 3 – pokrycie (*land cover*); 4 – gleby (*soil*); 5 – utwory (*lithology*); 6 – ekspozycja (*aspect*); 7 – spadki, wysokość (*slope, altitude*); 8 – pokrycie, wysokość (*land cover, altitude*); 9 – pokrycie, spadki (*land cover, slope*); 10 – gleby, wysokość (*soil, altitude*); 11 – gleby, spadki (*soil, slope*); 12 – gleby, pokrycie (*soil, land cover*); 13 – utwory, wysokość (*lithology, altitude*); 14 – utwory, spadki (*lithology, slope*); 15 – utwory, pokrycie (*lithology, land cover*); 16 – utwory, gleby (*lithology, soil*); 17 – ekspozycja, gleby (*aspect, soil*); 18 – pokrycie, spadki, wysokość (*land cover, slope, altitude*); 19 – gleby, spadki, wysokość (*soil, land cover, altitude*); 20 – gleby, pokrycie, wysokość (*soil, land cover, altitude*); 21 – gleby, pokrycie, spadki (*soil, land cover, slope*); 22 – utwory, spadki, wysokość (*lithology, slope, altitude*); 23 – utwory, pokrycie, wysokość (*lithology, land cover, altitude*); 24 – utwory, pokrycie, spadki (*lithology, land cover, slope*); 25 – utwory, gleby, wysokość (*lithology, soil, altitude*); 26 – utwory, gleby, spadki (*lithology, soil, slope*); 27 – utwory, gleby, pokrycie (*lithology, soil, land cover*); 28 – gleby, pokrycie, spadki, wysokość (*soil, land cover, slope, altitude*); 29 – utwory, pokrycie, spadki, wysokość (*lithology, land cover, slope, altitude*); 30 – utwory, gleby, spadki, wysokość (*lithology, soil, slope, altitude*); 31 – utwory, gleby, pokrycie, wysokość (*lithology, soil, land cover, altitude*); 32 – utwory, gleby, pokrycie, spadki (*lithology, soil, land cover, slope*); 33 – utwory, gleby, pokrycie, spadki, wysokość (*lithology, soil, land cover, slope, altitude*).



Ryc. 10. Mapa rozkładu komponentów środowiska o dominującym wpływie na emisję promieniowania termalnego Doliny Gąsienicowej

Fig. 10. The map of spatial distribution of dominant components' influence for emissivity of the Gąsienicowa Valley surface

Literatura

- Adamczyk B., 2005, *Zróżnicowanie warunków termicznych powierzchni czynnej Warszawy i okolic (zastosowanie metod teledetekcji)*. Praca doktorska wykonana w Instytucie Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN pod kierunkiem prof. dr hab. K. Błażejczyka.
- Bac-Moszasz wili M. i Gąsienica Szostak M., 1990, *Tatry Polskie. Przewodnik geologiczny dla turystów*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Baranowski J., 2002. Zróżnicowanie temperatur ekstremalnych na Hali Gąsienicowej. W: Borowiec W., Kotarba A., Kownacki A., Krzan Z., Mirek Z. (red.), *Przemiany środowiska przyrodniczego Tatr*, Wydaw. Instytutu Botaniki PAN, Kraków-Zakopane, s. 125-130.
- Baranowski J., 2003. Dynamika zmian dobowych

- i zróżnicowanie przestrzenne temperatury powietrza na Hali Gąsienicowej. *Przegl. Geogr.*, 75, 2, s. 271-286.
- Baranowski J., 2007. Zróżnicowanie przestrzenne potencjalnych sum promieniowania słonecznego na Hali Gąsienicowej w Tatrach. W: K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.), *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, IGiGP UJ, Kraków, s. 227-234.
- Bezowska G., 1986, Struktury i typy geokompleksów w środkowej części Niziny Południowowielkopolskiej. *Acta Geographica Lodziensia*, Nr 54.
- Choiński A., 2006, Zjawiska lodowe na Morskim Oku w Tatrach. *Folia Geographica*, Nr 37-38, s. 65-77.
- Drewnik M., 2008, *Geomorfologiczne uwarunkowania rozwoju pokrywy glebowej w obszarach górskich na przykładzie Tatr*. Wyd. UJ, Kraków.
- Friedman J. D., 1969, *Infrared surveys in Iceland – preliminary report*. USGS.

- Guzik M., 2001, *Analiza zmian szaty roślinnej Tatr przy wykorzystaniu technik geomatycznych na przykładzie Doliny Bystrej i Suchej Stawiańskiej*. Praca magisterska wykonana w Katedrze Ekologii Lasu Laboratorium GIS i Teledetekcji Wydziału Leśnego Akademii Rolniczej w Krakowie.
- Holzwarth S., Müller A., Habermeyer M., Richter R., Hausold A., Thiemann S., Strobl P., 2003, HySens-DAIS/ROSIIS Imaging Spectrometers at DLR. W: Ehlers M. (red.) *Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology*, Proceedings SPIE, t. 4545, s. 225-235. http://home.agh.edu.pl/~zfiit/raporty_pliki/bw_SM_10_150_483.pdf, 04. 03. 2009 r.
- Jodłowski M., 2006 Geograficzne uwarunkowania przebiegu górnej granicy kosodrzewiny w Tatrach, na Babiej Górze i w Karkonoszach. W: Kotarba A. i Borowiec W. (red.), 2006, *Tatrzański Park Narodowy na tle innych górskich terenów chronionych*. Nauki o Ziemi, t. I, Wydawnictwa TPN, Zakopane.
- Karaczan Z. M. i Indeka L. G., 1996, *Ochrona środowiska*, Agencja Wydawnicza ARIES, Warszawa.
- Kacki K., 3900, *Zastosowanie metod geoinformacyjnych do badania wpływu rzeźby na rozmieszczenie roślinności w polskiej części Tatr Wysokich*. Praca magisterska wykonana w Katedrze Geoinformatyki i Teledetekcji Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego pod kierunkiem [dr A. Jakomulskiej], dr hab. inż. S. Lewińskiego.
- Koster E. i Lucieer A., 2000, The DAIS La Peyne Experiment: Using the Optical and Thermal DAIS Bands to Survey and Model the Surface Temperature. *IAPRS*, t. XXXIII, Amsterdam.
- Kozłowska A., Rączkowska Z. i Jakomulska A., 1999, Roślinność jako wskaźnik morfodynamiki stoku wysokogórskiego. W: Kotarba A. i Kozłowska A. (red.), 1999, *Badania geoeekologiczne w otoczeniu Kasprowego Wierchu*, *Prace Geograficzne*, nr 174, Wyd. Continus, Wrocław.
- Lewandowski W. (red.), 2007, *Przewodnik tatrzański do ćwiczeń terenowych z geografii*, Redakcja Wydawnictw WGiSR, Warszawa.
- Łajczak A., 1982, Wahania temperatury przypowierzchniowej warstwy wody w jeziorach tatrzańskich o różnej ekspozycji. *Czasopismo Geograficzne*, 53 (1).
- Metrycka J., 2009, *Wpływ wybranych elementów środowiska przyrodniczego na zróżnicowanie emisyjności promieniowania termalnego Doliny Gąsienicowej*. Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Katedra Geoinformatyki i Teledetekcji, Warszawa. Ss. 84, maszynopis pracy magisterskiej wykonanej pod opieką dr Bogdana Zagajewskiego.
- Mizgajski A., 1984, Czynniki różnicujące temperaturę radiacyjną użytków rolnych w obszarze modogłacjalnym na obrazach termalnych wykonanych 14. kwietnia 1980 roku po zachodzie słońca, *Fotointerpretacja w Geografii*, T. XVII, s. 82-94.
- Mościcki W. J., 1996, Zimowa termika wód stawów tatrzańskich. W: Mirek Z. (red.), *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a człowiek*, t. III, Wydawnictwa TPN, Zakopane-Kraków.
- Moxham R. M., 1967, Changes in surface temperature at Taal volcano. Philippines 1965-66, *Bulletin Volcanol*, nr 31, s. 215-234.
- Mularz S., 1998, *Teledetekcyjny monitoring skarp kopalni odkrywkowych*. Sprawozdanie z badań własnych za 1998 rok, dokument *.pdf.
- Oleńdzki J. R., 2007, Regiony geograficzne Polski. *Teledetekcja Środowiska*, t. 38, Warszawa, s. 1-337.
- Próchnicki W., 2006, *Przydatność danych teledetekcyjnych w identyfikacji zbiorowisk roślinnych Doliny Gąsienicowej*. Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, praca magisterska wykonana w Katedrze Geoinformatyki i Teledetekcji pod kierunkiem dr B. Zagajewskiego.
- Radwańska-Paryska Z. i Paryski W. H., 1995, *Wielka Encyklopedia Tatrzańska*. Wydawnictwo Górskie.
- Rączkowska Z. i Kozłowska A., 1999, Pokrywa śnieżna a roślinność. W: Kotarba A. i Kozłowska A. (red.), 1999, *Badania geoeekologiczne w otoczeniu Kasprowego Wierchu*, *Prace Geograficzne*, Nr 174, Wyd. Continus, Wrocław.
- Richling A., 1983, Metody badania powiązań między komponentami środowiska geograficznego. *Prace i Studia Geograficzne*, t. 4, Warszawa, s. 23-35.
- Romer E., 1911, Kilka spostrzeżeń nad termiką wód Tatr i Podhala. *Ziemia*, 2.
- Tatry Polskie, 1984, Mapa topograficzna 1:10000, arkusz 9 i 13, Wojskowe Zakłady Kartograficzne, Wyd. Czasopismo Wojskowe, Warszawa
- Tatrzański Park Narodowy, 2008, Mapa turystyczna 1:33000, Wydawnictwo „Demart” Sp. z o.o., Warszawa
- Walkenbach J., 2004, *Excel 2003 PL. Programowanie w VBA. Vademecum profesjonalisty*. Helion, Gliwice.
- Zagajewski B., 2003, *Zastosowanie geoinformacji w badaniach wpływu abiotycznych komponentów środowiska na rozmieszczenie roślinności w Narwiańskim Parku Narodowym i jego otulinie*. Praca doktorska wykonana w Katedrze Geoinformatyki i Teledetekcji Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego pod kierunkiem prof. dr hab. J.R. Oleńdzkiego.
- Zagajewski B., Kozłowska A., Krówczyńska M., Sobczak M. i Wrzesień M., 2006, Kartowanie górskich zbiorowisk roślinnych z użyciem obrazów hiperspektralnych DAIS7915. W: Kownacki A. (red.), 2006, *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a człowiek*, t. II, Wydawnictwa TPN, Zakopane-Kraków.
- Zagajewski B., Wrzesień M., Sobczak M. i Krówczyńska M., 2005, Cyfrowe przetwarzanie zdjęć hiperspektralnych. *Teledetekcja Środowiska*, t. 36, Warszawa, s. 78-95.



Mgr Justyna Metrycka, absolwentka Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego ze specjalnością geoinformatyka i teledetekcja. Zainteresowania naukowe to zastosowanie technologii GIS w analizach środowiska przyrodniczego. Obecnie pracuje w prywatnej firmie geoinformatycznej. Kontakt: justynametrycka@gmail.com.



Bogdan Zagajewski, adiunkt w Katedrze Geoinformatyki i Teledetekcji (wcześniej Zakład Teledetekcji Środowiska) Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego. Zainteresowania naukowe koncentrują się wokół teledetekcji i SIG, i ich zastosowań w badaniach środowiska. Od roku 2002 zajmuje się technikami hiperspektralnymi w badaniach nad roślinnością. Dane kontaktowe: e-mail: bogdan@uw.edu.pl, tel. 022 5521507, fax 022 5521521, http://telegeo.wgsr.uw.edu.pl/bz/bz_pl.html