

DOROTA MATUSZKO, PAWEŁ STRUŚ

Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej
Uniwersytet Jagielloński w Krakowie

PRZESTRZENNE ZRÓŻNICOWANIE WARUNKÓW SOLARNYCH
POGÓRZA ZACHODNIOBESKIDZKIEGO (PRÓBA METODYCZNA)

Spatial diversification of the solar conditions in the Pogórze Zachodniobeskidzkie region
(methodical test)

ABSTRAKT: Celem opracowania jest próba przestrzennego przedstawienia warunków solarnych Pogórze Zachodniobeskidzkiego z zastosowaniem GIS. Praca ta, stanowi ponadto studium metodyczne możliwości wykorzystania technik GIS w dziedzinie klimatologii.

W opracowaniu wykorzystano dane meteorologiczne dotyczące usłonecznienia z lat 1991–2000 ze stacji naukowej Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Gaikubrzeczowej.

Nasłonecznienie terenu na mapie zostało określone metodą Strużki, która zakłada, że roczny przebieg natężenia promieniowania słonecznego jest w poszczególnych latach podobny i znajomość energii promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię poziomą pozwala obliczyć nasłonecznienie powierzchni o danym nachyleniu i ekspozycji.

W wyniku przeprowadzonej analizy stwierdzono, że Pogórze Zachodniobeskidzkie posiada bardzo dobre warunki solarne, zarówno ze względu na czas trwania, jak i energię promieniowania słonecznego docierającego na dowolnie nachylone powierzchnie. Usłonecznienie rzeczywiste na tym obszarze przekracza o ponad 100 godzin rocznie średnią sumę usłonecznienia dla Polski, a ponad 70% powierzchni badanego terenu wykazuje wyższe sumy całkowitego promieniowania słonecznego niż powierzchnia pozioma. Szczególnie uprzywilejowane są południowe stoki okolic Zbiornika Dobczyckiego, gdzie nasłonecznienie jest o ponad 60% wyższe niż na stokach północnych.

słowa kluczowe – key words:

usłonecznienie – *sunshine duration*, nasłonecznienie – *insolation*, promieniowanie słoneczne – *solar radiation*, warunki solarne – *solar conditions*, GIS – *GIS*

WSTĘP

Promieniowanie słoneczne dochodzące do powierzchni czynnej jest podstawowym źródłem energii dla Ziemi i otaczającej ją atmosfery. Zarówno czas trwania dopływu bezpośredniego promieniowania słonecznego (usłonecznienie), jak i nasłonecznienie, czyli energia promieniowania słonecznego całkowitego docierającego na dowolnie nachyloną powierzchnię mają bardzo duże znaczenie nie

tylko klimatologiczno-poznawcze, lecz także praktyczne. Rolę dopływu promieniowania słonecznego uwzględnia się obecnie poza rolnictwem także w bioklimatologii czy planowaniu przestrzennym.

Ze względu na insolację ważnym wyróżnikiem klimatu lokalnego, zwłaszcza w obszarach o urozmaiconej rzeźbie, staje się ekspozycja terenu. Według P.R. Crowe'a (1) w umiarkowanych szerokościach geograficznych wzrost natężenia promieniowania w ciągu roku na południowym stoku o nachyleniu 20° odpowiada przesunięciu na południe o $8\text{--}9^\circ$ szerokości geograficznej. W tych samych warunkach, lecz na stoku północnym, spadek promieniowania odpowiada przesunięciu na północ o $12\text{--}15^\circ$ szerokości geograficznej.

Celem niniejszego opracowania jest próba przestrzennego przedstawienia warunków solarnych wybranego terenu Pogórza Zachodniobeskidzkiego o różnym nachyleniu i ekspozycji z zastosowaniem GIS. Praca ta stanowi ponadto studium metodyczne możliwości wykorzystania technik GIS w dziedzinie klimatologii. Mapy cyfrowe (11) dają bardzo dokładny obraz zróżnicowania, nieporównywalnie lepszy od tradycyjnego, wykreślanego manualnie; umożliwiają przybliżanie i dalsze – praktycznie nieograniczone – przetwarzanie. Na ich podstawie można z rozdzielczością mapy i fizycznymi limitami odczytać wartość danego elementu w dowolnie wybranym punkcie.

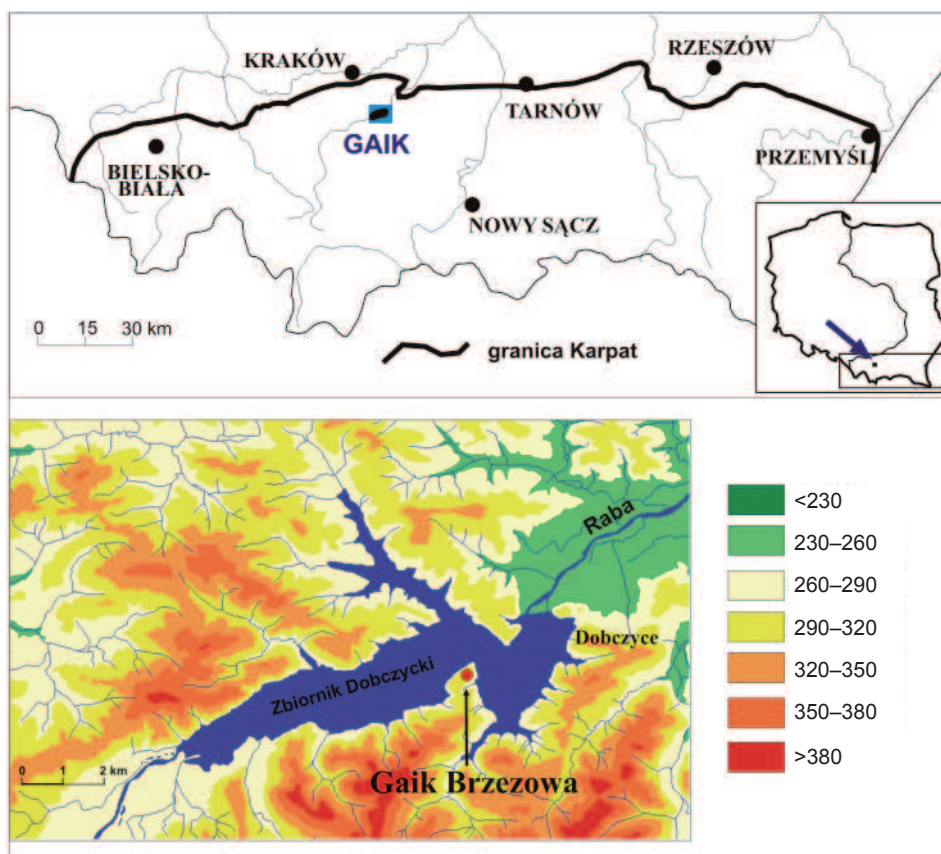
POŁOŻENIE OBSZARU BADAŃ, MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE, METODA

Badany obszar według regionalizacji Polski J. Kondrackiego (2) zaliczany jest do Pogórza Zachodniobeskidzkiego. Dominuje tu typ rzeźby pogórskiej o wyrównanych wierzchołkach, wypukło-wklęsłych stokach i płaskodennych dolinach. Wysokości wahają się od 180 do 425 m n.p.m. Przeważają stoki o nachyleniu od 5 do 10 stopni, z niewielką przewagą ekspozycji północnych i zachodnich (rys. 1).

W opracowaniu wykorzystano dane meteorologiczne dotyczące usłonecznienia z lat 1991–2000 ze stacji naukowej Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Gaiku-Brzezowej ($49^\circ 51' \text{ N } 20^\circ 03' \text{ E}$). Czas trwania promieniowania słonecznego mierzony był heliografem typu Cambell-Stokesa zgodnie z instrukcją IMGW. Analizie poddano wartości roczne, miesięczne i dobowe usłonecznienia rzeczywistego.

Nasłonecznienie terenu na mapie zostało określone metodą V. Strużki (7), która zakłada, że roczny przebieg natężenia promieniowania słonecznego jest w poszczególnych latach podobny i znajomość promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię poziomą pozwala obliczyć nasłonecznienie powierzchni o danym nachyleniu i ekspozycji.

Wielkość promieniowania całkowitego Słońca docierającego do dowolnie ekspozowanego fragmentu powierzchni Ziemi może być mierzona lub szacowana. Metody rachunkowe polegają na wyznaczeniu zależności między promieniowaniem po-



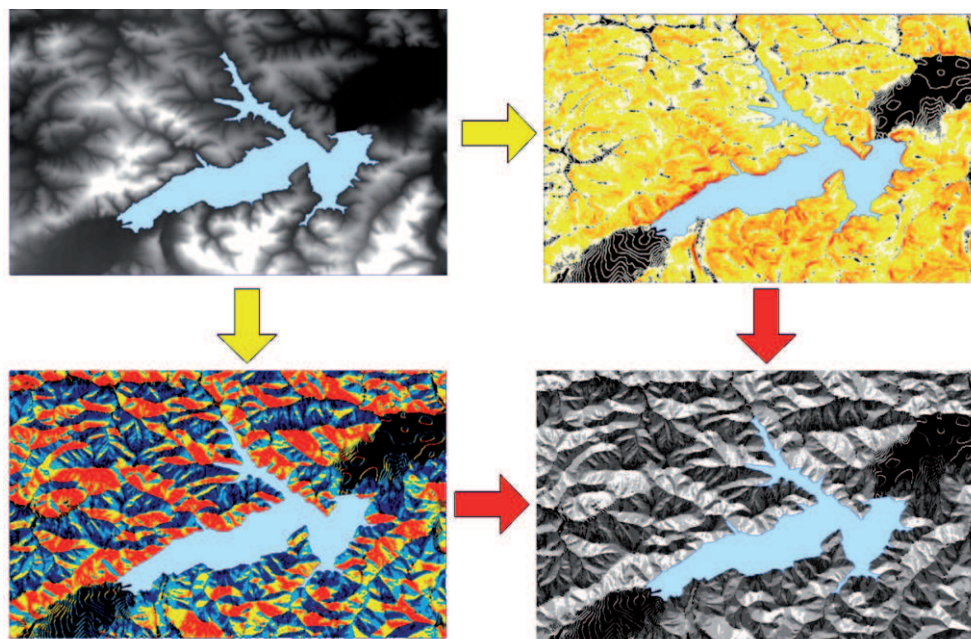
Rys. 1. Położenie terenu badań
Situation of analysed area

tencjalnym a całkowitym w postaci funkcji, w skład której wchodzi usłonecznienie lub zachmurzenie.

Między innymi sumy promieniowania całkowitego można obliczyć wykorzystując formułę Blacka dostosowaną dla Polski przez Podogrockiego (6) lub stosując metodę opracowaną przez Styszyńską (8, 9).

W niniejszym opracowaniu nie było konieczności korzystania z metod pośrednich, gdyż na stacji Gaik-Brzezowa wykonywane były pomiary aktynometryczne. Ich wyniki zaczerpnięto z pracy Oleckiego (5), w której autor szczegółowo przedstawił i scharakteryzował promieniowanie słoneczne zmierzone na tej stacji w latach 1971–1997.

Do sporządzania cyfrowych map nasłonecznienia wykorzystano Numeryczny Model Terenu okolic stacji Gaik-Brzezowa (rys. 2). Rozdzielczość przestrzenna (wielkość piksela) modelu wynosiła 10 metrów kwadratowych. Za pomocą oprogramowania GIS (ArcGIS firmy ESRI) z modelu źródłowego wygenerowano mapy



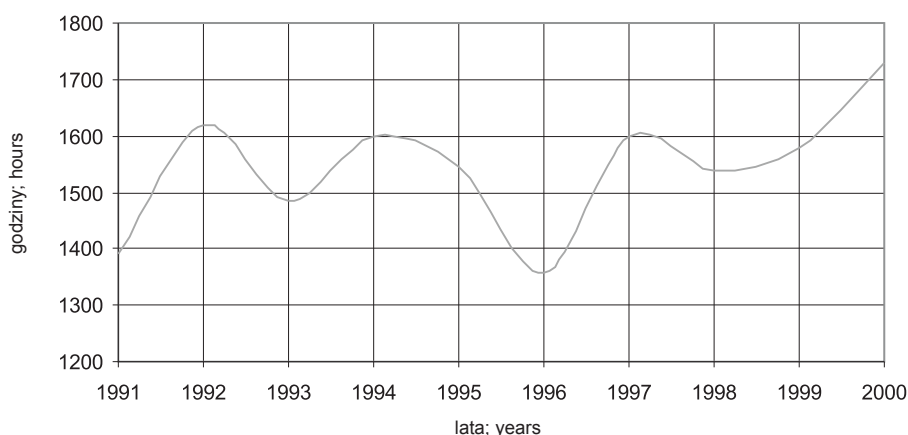
Rys. 2. Metoda konstruowania mapy nasłonecznienia
Method of insolation map construction

ekspozycji terenu i nachyleń. Następnie w procesie reklasyfikacji przekształcono uzyskane obrazy w celu uzyskania klas uwzględnianych w opracowaniu Strużki (7). Ekspozycje terenu podzielono na osiem podstawowych kierunków (N, NE, NW, E, W, S, SE, SW), wydzielono również 50 klas nachyleń stoków – co 1 stopień. Mapę nachyleń nałożono na mapę ekspozycji. Do otrzymanej mapy wynikowej podstawiono wartości procentowe z tabeli zamieszczonej w opracowaniu Strużki (7).

Usłonecznienie

Usłonecznienie możliwe rozumiane jako czas od wschodu do zachodu Słońca w danym dniu zostało wyznaczone z Tablic słonecznych (10) dla 50° szerokości geograficznej północnej. Na Pogórzu Zachodniobeskidzkim najkrótsze dni występują od 19 do 25 grudnia i trwają 7 godz. 50 minut. Najdłuższe dni trwające po 16 godz. 10 minut występują od 18 do 25 czerwca. Suma roczna usłonecznienia astronomicznie możliwego wynosi 4475 godzin, od 255 godzin w grudniu do 495 w lipcu. Na wielkość usłonecznienia rzeczywistego oprócz czynnika astronomicznego wpływ ma zachmurzenie, mgły i przezroczystość atmosfery. Średnia roczna suma usłonecznienia rzeczywistego w latach 1991–2000 wynosi w Gaiku-Brzezowej 1544 godzi-

ny. Największe usłonecznienie w ciągu badanego dziesięciolecia (rys. 3) wystąpiło w 2000 roku i osiągnęło wartość 1731 godzin, najmniejsze usłonecznienie wystąpiło w 1996 roku i wynosiło 1359 godzin.



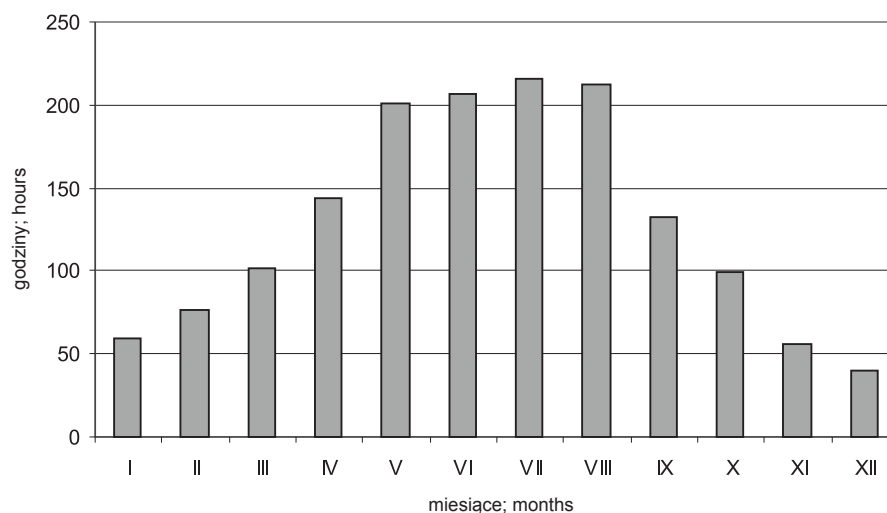
Rys. 3. Przebieg dziesięcioletni sum rocznych usłonecznienia rzeczywistego w Gaiku-Brzezowej (1991–2000)

10-annual course of yearly totals of actual sunshine duration in Gaik-Brzezowa (1991–2000)

Najbardziej słonecznym miesiącem w roku (rys. 4), a równocześnie bardzo zmiennym ze względu na różnice w zachmurzeniu jest lipiec. W niektórych latach (1994, 1995) sumy miesięczne usłonecznienia w lipcu przekraczają 300 godzin, w innych (2000 rok) spadają do 136. Wysokie wartości usłonecznienia (powyżej 200 godzin) mają także maj, czerwiec i sierpień. Warto zauważyć, że w sierpniu występują najwyższe w porównaniu z innymi miesiącami wartości usłonecznienia w godzinach od 10 do 16.

Najmniej słoneczny z powodów astronomicznych, a także ze względu na największe zachmurzenie w roku, jest grudzień. Średnie miesięczne usłonecznienie wynosi wtedy w Gaiku-Brzezowej 41 godzin. Minimalne miesięczne usłonecznienie wystąpiło w grudniu 1995 roku i zaledwie przekroczyło 18 godzin.

Dzienne usłonecznienie na Pogórzu Zachodniobeskidzkim obejmuje godziny od 4 do 20, przy czym jedynie w maju, w czerwcu i lipcu usłonecznienie rejestrowane jest w ciągu tych szesnastu godzin. Usłonecznienie grudnia, stycznia i listopada notowane jest w okresie o połowę krótszym, bo tylko w ciągu ośmiu godzin. W grudniu średni dzienny czas usłonecznienia nie osiąga często nawet 1,5 godziny, a tylko sporadycznie przekracza 6,5 godziny. W pełni lata przeciętny dzienny czas usłonecz-



Rys. 4. Przebieg roczny sum miesięcznych usłonecznienia rzeczywistego w Gaiku-Brzezowej (1991–2000)
Annual course of monthly totals of actual sunshine duration in Gaik-Brzezowa (1991–2000)

nienia kształtuje się w granicach 6,0–6,6 godziny, a maksymalne sumy dzienne osiągną 14–15 godzin. W badanym dziesięcioleciu najbardziej słonecznym dniem był 10 czerwca 2000 roku. Zanotowano wówczas maksymalne dobowe usłonecznienie w Gaiku-Brzezowej 15,4 godziny. Największe usłonecznienie występuje w godzinach od 10 do 14. Bardziej słoneczne są godziny popołudniowe niż przed południem, co prawdopodobnie związane jest z porannymi zamgleniami i większym zachmurzeniem w stosunku do popołudnia.

Nasłonecznienie

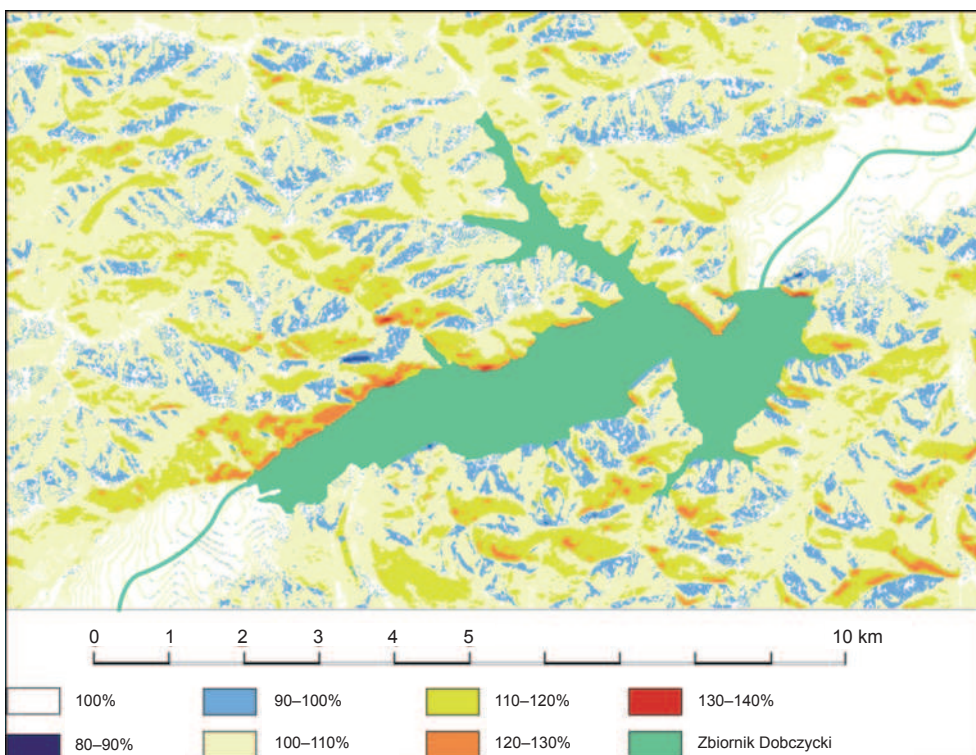
Przy charakterystyce stosunków radiacyjnych terenów o urozmaiconej rzeźbie największą rolę odgrywa całkowite promieniowanie słoneczne. Oprócz promieniowania bezpośredniego w jego skład wchodzi promieniowanie rozproszone, którego udział zmienia się w zależności od właściwości optycznych atmosfery, zachmurzenia oraz nachylenia i ekspozycji stoku. Jak podaje Olecki (4) wystarczająco dokładne wartości promieniowania całkowitego przy jednoczesnym uproszczeniu obliczeń można uzyskać posługując się nie bezwzględnymi wartościami promieniowania całkowitego, lecz jego wielkością względną, będącą stosunkiem tego promieniowania padającego na daną powierzchnię do ilości energii otrzymywanej przez powierzchnię poziomą. Wielkość ta wskazuje, o ile promieniowanie całkowite powierzchni nachylonej różni się od jego wartości na powierzchni poziomej. Zatem znając sumy promieniowania całkowitego dla powierzchni poziomej (tab. 1) można wyznaczyć (7) przybliżone wartości sum całkowitego promieniowania słonecznego na dowolnie nachylone i zorientowane powierzchnie, czyli określić ich nasłonecz-

Tabela 1

Średnia intensywność całkowitego promieniowania słonecznego ($W \cdot m^{-2}$) przy bezchmurnej pogodzie i w warunkach realnego zachmurzenia w godzinach południowych w Gaiku Brzezowej w latach 1971–1997 (5)

Mean intensity of solar radiation ($W \cdot m^{-2}$) at cloudless weather and in the conditions of real cloudiness in mid-day hours in Gaik-Brzezowa in the years 1971–1997 (5)

Pogoda Weather conditions	Jan. I	Feb. II	Mar. III	Apr. IV	May V	Jun. VI	Jul. VII	Aug. VIII	Sep. IX	Oct. X	Nov. XI	Dec. XII	Year Rok
Bezchmur- na Cloudless	300	433	642	782	865	879	859	795	663	475	328	258	606,5
Średnie zachm. Mean cloudiness	167	251	391	454	502	516	530	537	419	272	167	133	361,6



Rys. 5. Mapa nasłonecznienia okolic stacji Gaik-Brzezowa na Pogórzu Zachodniobeskidzkim
Insolation map of Gaik-Brzezowa countryside in the Pogórze Zachodniobeskidzkie region

nienie (rys. 5). Tereny o największym nasłonecznieniu (130–140%) zajmują zaledwie 4 ha powierzchni badanego obszaru. Największy udział (około 5300 ha) stanowią powierzchnie o sumach promieniowania słonecznego wynoszących od 100 do

110%, następnie powierzchnie poziome (około 1370 ha) oraz tereny (około 1600 ha) o nasłonecznieniu od 110 do 120%. Obszar o najmniejszym nasłonecznieniu (poniżej 100%) zajmuje powierzchnie około 960 ha.

Na Pogórzu Zachodniobeskidzkim przy średnim zachmurzeniu intensywność całkowitego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą zmienia się w przebiegu rocznym (tab. 1) od $133 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ w grudniu do $537 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ w sierpniu. Przy pogodzie bezchmurnej w grudniu wynosi $258 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, a maksymalną wartość osiąga w czerwcu – $879 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

WNIOSKI

1. Pogórze Zachodniobeskidzkie posiada zróżnicowane, ale dobre warunki solarne, zarówno ze względu na czas trwania, jak i energię promieniowania słonecznego docierającego do dowolnie nachylonych powierzchni.

2. Usłonecznienie rzeczywiste na tym obszarze przekracza rocznie o ponad 100 godzin średnią sumę usłonecznienia dla Polski (1526 godzin) podawaną przez Kuczmarzkiego (3).

3. Ze względu na urozmaiconą rzeźbę ponad 70% powierzchni badanego terenu wykazuje wyższe sumy całkowitego promieniowania słonecznego niż padającego na powierzchnię poziomą.

4. Szczególnie uprzywilejowane są południowe stoki okolic Zbiornika Dobczyckiego, gdzie nasłonecznienie jest o ponad 60% wyższe niż na stokach północnych.

LITERATURA

1. Crowe P.R.: Problemy klimatologii ogólnej. Warszawa, Wyd. Nauk. PWN, 1987.
2. Kondracki J.: Geografia regionalna Polski. Warszawa, Wyd. Nauk. PWN, 2001.
3. Kuczmarzki M.: Usłonecznienie Polski i jego przydatność dla helioterapii. Dokument. Geograf., IGiPZ PAN, 1990, **4**: 1-69.
4. Olecki Z.: Bilans promieniowania słonecznego w dorzeczu górnej Wisły. Rozpr. Hab. UJ, 1989, **157**: 1-126.
5. Olecki Z.: Differentiation of the solar conditions in the Carpathian Foothills during 1971-1997. Prace Geogr. IGiPZ UJ, 2002, **109**: 97-109.
6. Podogrocki J.: Spatial distribution of global solar radiation in Poland. Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., 1978, **D5-120**: 17-30.
7. Strużka V.: Metody badań bioklimatycznych. Przegląd zagranicznej literatury geograficznej, Warszawa, PAN, 1959, **3**: 170-195.
8. Styszyńska A.: Dopyływ promieniowania Słońca do powierzchni o dowolnym nachyleniu i ekspozycji. Prace Nauk. WSM, Gdynia, 1995.
9. Styszyńska A.: Nowa metoda obliczania dopływu promieniowania całkowitego Słońca do powierzchni o dowolnym nachyleniu i ekspozycji. Działalność naukowa profesora Władysława Górczyńskiego i jej kontynuacja. Symposium Klimatologiczne na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika, Toruń, 16–17 IX 1993, 2002, 107-120.

10. Tablice słoneczne do użytku obserwatorów stacji aktynometrycznych. IMGW, 1976.
11. Ustrnul Z., Czekierda D.: Zróżnicowanie przestrzenne warunków termicznych powietrza Polski z wykorzystaniem GIS. Warszawa, IMGW, 2003, 1-83.

SPATIAL DIVERSIFICATION OF THE SOLAR CONDITIONS IN THE POGÓRZE
ZACHODNIOBESKIDZKIE REGION (METHODICAL TEST)

Summary

The aim of the study is an attempt of spatial presentation of the solar conditions in the Pogórze Zachodniobeskidzkie region with use of GIS. Moreover, the paper is a methodical study of the possibilities of using the GIS techniques in the field of climatology.

The study makes use of the meteorological data on sunshine duration from the years 1991–2000 collected in the scientific station of the Institute of Geography and Spatial Management of the Jagiellonian University in Gaik-Brzezowa.

Insolation for an area on a map was determined by the use of the Struška method. According to this method, the annual course of the solar radiation rate is similar in different years and it is possible to calculate the insolation of an area on a given slope and to calculate its solar radiation for a level surface.

In the result of the analysis, it was found that the Pogórze Zachodniobeskidzkie region has very good solar conditions. This refers to both the duration and solar radiation, which reaches an area of any slope. Effective sunshine duration in this area exceeds over 100 hours of the average amount of sunshine duration for Poland, and over 70 per cent of the area under study has bigger amounts of total solar radiation than those for a level surface. Particularly privileged are the southern slopes near the Dobczycki Reservoir, where insolation is 60 per cent higher than on the northern slopes.

Praca wpłynęła do Redakcji 23 XI 2005 r.