

Zróznicowanie przestrzenne potencjalnych sum bezpośredniego promieniowania słonecznego na Hali Gąsienicowej w Tatrach

Spatial differentiation of potential totals of direct solar radiation
at Hala Gąsienicowa (Tatra Mts.)

Jarosław Baranowski¹

Zarys treści: Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie przestrzennego zróznicowania sum (potencjalnych) bezpośredniego promieniowania słonecznego na Hali Gąsienicowej, jako elementu mającego znaczący wpływ zarówno na występujące zbiorowiska roślinne, jak również zachodzące w górach procesy geomorfologiczne i glebowe. Uzyskane wyniki wyraźnie różnicują badany obszar pod względem ilości uzyskiwanej energii, przy czym zróznicowanie to jest znacznie mniejsze w dniu przesilenia letniego (22 czerwca) aniżeli podczas przesilenia zimowego (22 grudnia). W pierwszym przypadku duże znaczenie ma wysokie położenie Słońca nad horyzontem, w drugim odpowiednie nachylenie i ekspozycja dosłoneczna zboczy.

Słowa kluczowe: promieniowanie słoneczne bezpośrednie, zróznicowanie przestrzenne promieniowania, Hala Gąsienicowa, Tatry

Key words: direct solar radiation, spatial differentiation of the radiation, Hala Gąsienicowa, Tatra Mountains

Uwagi wstępne

Ilość energii docierającej do powierzchni Ziemi w postaci promieniowania bezpośredniego zależy głównie od czynników astronomicznych, jak również występujących zjawisk atmosferycznych (chmury, mgła, aerozole zawarte w powietrzu). W przypadku obszarów górskich, które są przedmiotem badania, istotne jest również wyniesienie terenu nad poziom morza, wysokość Słońca nad horyzontem (zależna od pory roku, pory dnia oraz szerokości geograficznej) oraz nachylenie i ekspozycja zboczy.

¹ Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa,
e-mail: j.bar@twarda.pan.pl

Na badanym terenie pomiary promieniowania słonecznego są prowadzone jedynie na Kasprowym Wierchu i Hali Gąsienicowej. Choć daje to obraz ilości docierającej od Słońca energii, to nie odzwierciedla rzeczywistego zróżnicowania spowodowanego czynnikami lokalnymi. Ogólne prawidłowości rządzące dopływem bezpośredniego promieniowania Słońca do zboczy w zależności od ich nachylenia i orientacji zostały już poznane (Kaempfert, Morgen 1952; Budyko 1971, Strużka 1956; Lee 1962, 1963; Mielicki 1995). Ze względu na złożoność obliczeń matematycznych, badania te jednak dotyczyły głównie wybranych orientacji i kątów nachylenia.

W chwili obecnej są dostępne narzędzia, które umożliwiają wykonanie obliczeń mających na celu rachunkowe oszacowanie ilości energii słonecznej docierającej do dowolnie nachylonej powierzchni (Styszyńska 1995).

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie przestrzennego zróżnicowania sum (potencjalnych) bezpośredniego promieniowania słonecznego na Hali Gąsienicowej, jako elementu mającego znaczący wpływ zarówno na występujące zbiorowiska roślinne, jak również zachodzące w Tatrach procesy geomorfologiczne i glebowe.

Metoda

Do obliczeń sumy bezpośredniego promieniowania Słońca maksymalnie możliwego przy braku zachmurzenia (sum potencjalnych promieniowania słonecznego), na jednostkę powierzchni Ziemi o dowolnym nachyleniu, wykorzystano specjalny program obliczeniowy POLEPODS. Został on opracowany przez Annę Styszyńską z Wyższej Szkoły Morskiej w Gdyni. Obliczone za pomocą tego programu sumy promieniowania uzyskuje się uwzględniając wszystkie czynniki astronomiczne i procesy osłabiania promieniowania słonecznego w atmosferze, w funkcji jej przezroczystości (Styszyńska 1995).

Przed przystąpieniem do obliczeń przyjęto pewne wartości wejściowe, które po wprowadzeniu do programu określały czynniki geograficzne i astronomiczne. Czynniki geograficzne zostały scharakteryzowane poprzez wielkość pola podstawowego. W tym celu na mapę topograficzną (w skali 1:10000), obejmującą badany obszar, nałożono siatkę kwadratów pół podstawowych o bokach zorientowanych N-S i E-W. Przyjęta długość boku pola podstawowego wynosiła 50 m. W każdym z tych pół odczytano wysokości jego wierzchołków.

Do obliczenia ilości bezpośredniego promieniowania słonecznego przyjęto także: wielkość stałej słonecznej, szerokość geograficzną pola podstawowego (wraz z podaniem półkuli) oraz czas (miesiąc, dzień, godzina), w odniesieniu do którego dokonano obliczeń.

Na potrzeby niniejszej pracy obliczono godzinne sumy promieniowania całkowitego (między godziną 11⁰⁰ a 12⁰⁰ czasu UTC) w dwóch wybranych, charakterystycznych dniach. Wybór tej właśnie godziny w ciągu dnia miał na celu wyeliminowanie samozacienienia, które o tej porze doby jest niewielkie i ogranicza się do północnych, bardzo stromych ścian skalnych. Do analizy wybrano najdłuższy (22 czerwca) i najkrótszy dzień w roku (22 grudnia), aby uchwycić spektrum zmian wartości sum promieniowania zarówno w dniu, w którym Słońce znajduje się najwyżej, jak też w dniu, w którym położenie tarczy słonecznej nad horyzontem jest najniższe.

Na potrzeby niniejszego opracowania przyjęto jedną wartość stałej słonecznej, równą 1380 Wm^{-2} , jako zalecaną przez Komisję d.s. Instrumentów i Metod Obserwacji CIMO/WMO. Nie uwzględniono jej zmian sezonowych, które wahają się w granicach $\pm 3,5\%$ wartości średniej, ponieważ głównym celem opracowania było przedstawienie zróżnicowania przestrzennego w zależności od wysokości Słońca. Zmiana wartości stałej słonecznej nie miała wpływu na uzyskany obraz zróżnicowania przestrzennego, ale decydowała przede wszystkim o wartościach bezwzględnych promieniowania.

Promienie słoneczne przechodząc przez atmosferę są osłabiane przez różnego rodzaju pyły, aerozole i parę wodną. W celu ilościowego określenia osłabienia promieniowania słonecznego przy przejściu przez atmosferę używa się współczynnika przezroczystości atmosfery (q). Program komputerowy POLEPODS przy obliczaniu natężenia promieniowania bezpośredniego uwzględnia również masę optyczną atmosfery stosując wzór F. Kastena (za Styszyńską 1995). Podobnie jak w przypadku stałej słonecznej, różne jego wartości są przyjmowane przez poszczególnych autorów. W powietrzu suchym i czystym współczynnik przezroczystości atmosfery wynosi około 0,9. W Polsce średnia roczna wartość q wynosi 0,7 (Okołowicz 1969). Występuje jednak jego zróżnicowanie regionalne – latem na Pogórzu Karpackim waha się od 0,66 do 0,67 (Niedźwiedź 1992). Jest on również zależny od liczby mas optycznych atmosfery, które w południowej Polsce wahają się od 1,1 w czerwcu do 3,5 w grudniu. Przezroczystość atmosfery jest charakterystyczną cechą poszczególnych mas powietrza, dlatego w danym miejscu może ulegać ciągłym zmianom (Olecki 1992).

Do obliczeń wykorzystano dwie wartości współczynnika przezroczystości atmosfery – dolną granicę przezroczystości normalnej (0,7) oraz dolną granicę przezroczystości wysokiej (0,8) (Styszyńska 1995).

Utworzono w ten sposób bazę danych cyfrowych (GIS), dotyczących potencjalnych wartości promieniowania słonecznego w poszczególnych polach podstawowych. Do utworzenia bazy danych wykorzystano program IDRISI for Windows, udostępniony przez Instytut Geografii UKW w Bydgoszczy. Na bazę danych GIS składa się 3406 pól podstawowych $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$. Zajmują one łączną powierzchnię około $8,5 \text{ km}^2$.

Wyniki

Obliczone za pomocą programu POLEPODS sumy (potencjalne) promieniowania słonecznego wprowadzono do programu IDRISI for Windows, gdzie poddano je dalszym obliczeniom przestrzennym i ilościowym. W analizie uzyskanych wyników wyraźnie zaznacza się zróżnicowanie potencjalnych sum promieniowania bezpośredniego wynikające z warunków astronomicznych. Największe sumy (potencjalne) promieniowania słonecznego występują w dniu przesilenia letniego, a najmniejsze w dniu przesilenia zimowego (Baranowski 2003).

W dniu przesilenia letniego obliczone sumy godzinne promieniowania wahały się od $0,7$ do $3,2 \text{ MJm}^{-2}$ – przy $q=0,7$ i od $0,9$ do $3,7 \text{ MJm}^{-2}$ – przy $q=0,8$. Wyraźnie uprzywilejowane są stoki o ekspozycji dosłonecznej (z sektora południowego). Szczególnie jest to widoczne na stokach południowo-wschodnich Uhrocia Kasprzewego oraz połu-

dniowo-zachodnich stokach Granatów, Żółtej Turni i Kościelca. Bardzo dobre warunki energetyczne występują również w dnie Doliny Suchej Wody, w środkowej części Hali Gąsienicowej oraz w rejonie Zielonego Stawu Gąsienicowego.

Na ponad 50% powierzchni obliczone wartości przekraczają $1,5 \text{ MJm}^{-2}$. Tylko niecałe 10% pól uzyskuje w badanym czasie mniej niż 1 MJm^{-2} . Stoki eksponowane na północ uzyskują wartości w przedziale od 0,9 do $3,3 \text{ MJm}^{-2}$ – przy $q=0,8$. Na stokach o orientacji południowej najmniejsze wartości przekraczają $2,6 \text{ MJm}^{-2}$, maksymalnie osiągają ponad $3,7 \text{ MJm}^{-2}$ przy $q=0,8$. Niewielkie zróżnicowanie maksymalnych wartości potencjalnego promieniowania słonecznego na stokach o ekspozycji północnej i południowej wynika z wysokiego położenia Słońca nad horyzontem, przekraczającego 64° , co w połączeniu z nachyleniem zboczy północnych, w większości do 25° , stwarza wystarczająco duży kąt, pod jakim padają promienie słoneczne. Mniejsza wartość współczynnika przezroczystości atmosfery (0,7) nie zmienia obrazu przestrzennego, a wpływa jedynie na wartości skrajne sum (potencjalnych) bezpośredniego promieniowania słonecznego.

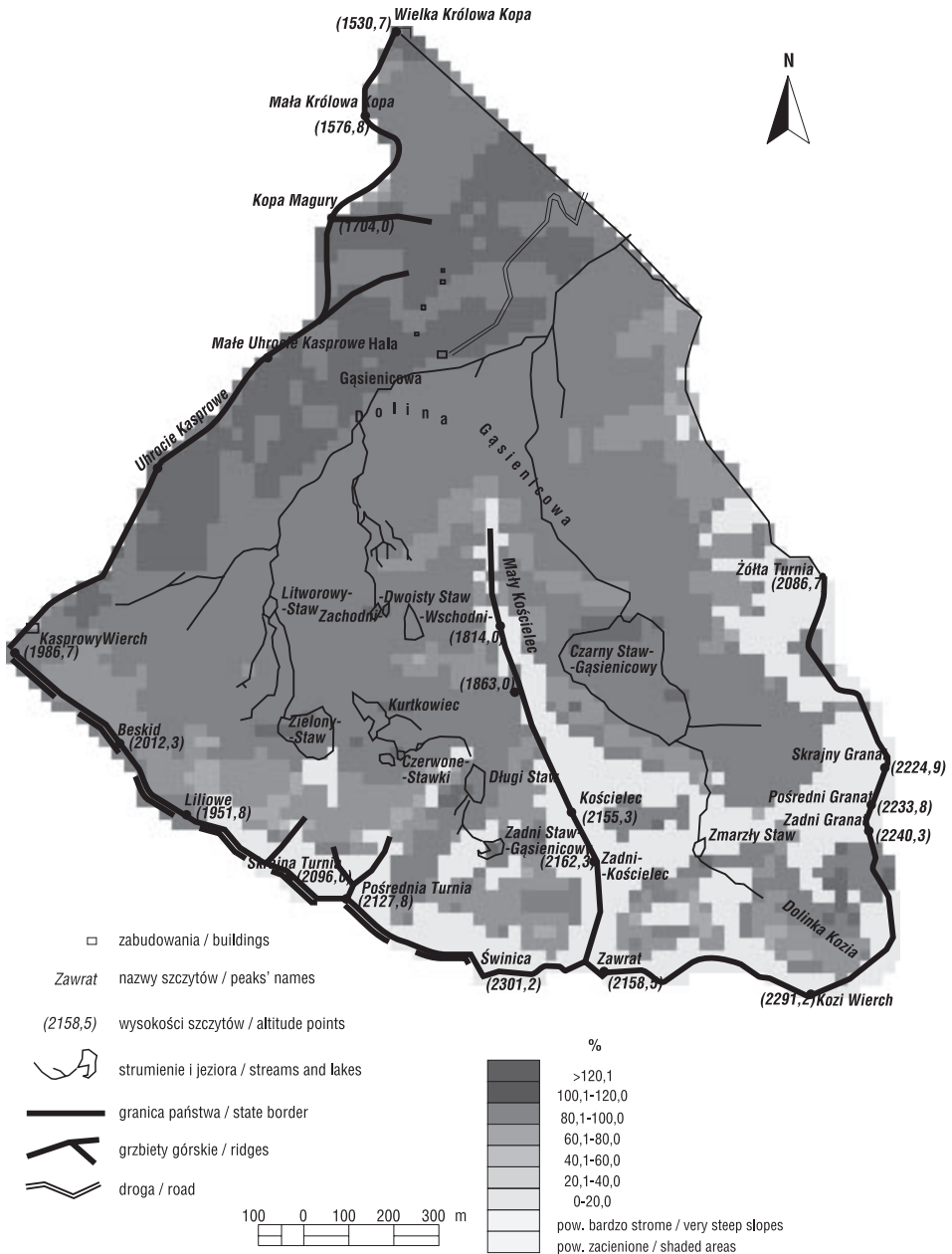
W dniu przesilenia zimowego (22 grudnia), ze względu na niewielką wysokość Słońca (około 18°), obliczone wartości nie przekraczają $1,0 \text{ MJm}^{-2}$ ($q=0,7$) i $2,5 \text{ MJm}^{-2}$ ($q=0,8$). Ponadto duże fragmenty omawianego obszaru są zacienione przez najwyższe wzniesienia, dlatego też otrzymują niewielką ilość promieniowania słonecznego. Występują one głównie na północnych stokach głównej grani Tatr, północno-wschodnich stokach Kościelca oraz na skierowanych w kierunku północno-wschodnim zboczach Żółtej Turni. Obszary te stanowią około 15% powierzchni.

Stoki o ekspozycji NW-N-NE nie otrzymywały zimą więcej niż $0,4 \text{ MJ m}^{-2}$ energii. W miarę zmiany ekspozycji w kierunku południowym następuje wzrost sum promieniowania słonecznego. Powierzchnie skierowane na wschód i zachód otrzymują w większości od 0,4 do 1 MJm^{-2} ($q=0,8$). Stoki o ekspozycji południowej, których jest zaledwie 5%, otrzymują do $1,5 \text{ MJm}^{-2}$.

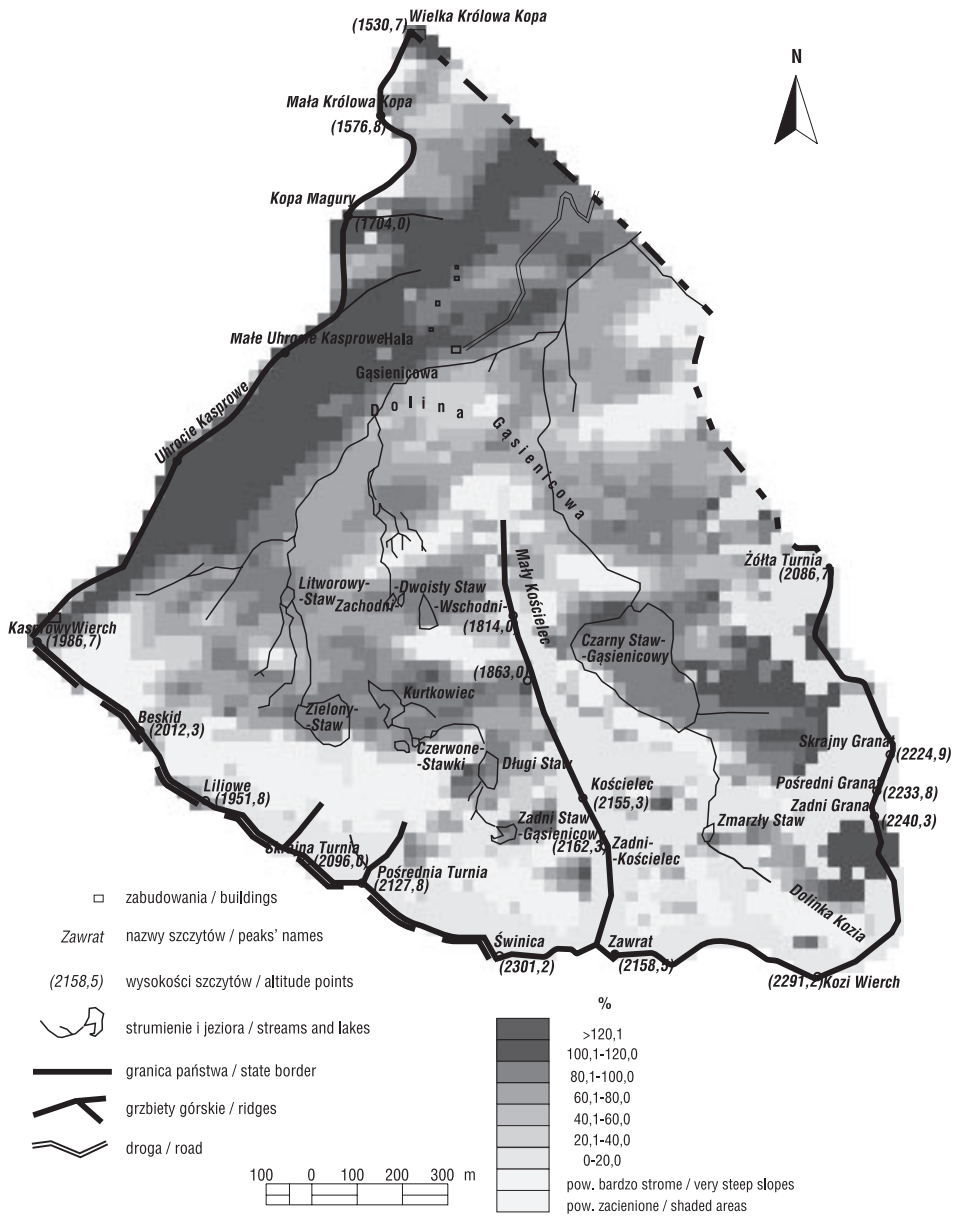
W jakim stopniu warunki astronomiczne oraz stopień nachylenia zboczy decydują o wartościach promieniowania słonecznego, można prześledzić analizując mapy przedstawiające stosunek promieniowania padającego na powierzchnię nachyloną do promieniowania padającego na powierzchnię horyzontalną w dwóch wybranych dniach.

W dniu przesilenia letniego w momencie najwyższego położenia Słońca nad horyzontem zaznacza się niewielkie zróżnicowanie uzyskanych wartości w stosunku do powierzchni horyzontalnej, szczególnie jeśli chodzi o wartości maksymalne (niezależnie od stopnia nachylenia stoków). W okresie letnim większość badanych powierzchni uzyskuje wartości równe lub większe o około 20% od tych, jakie są charakterystyczne dla powierzchni poziomej. Niewielka tylko ich część, głównie o znacznym nachyleniu i ekspozycji północnej, uzyskuje sumy mniejsze niż powierzchnia horyzontalna (ryc. 1).

W dniu przesilenia zimowego, znacznie wyraźniej niż 22 czerwca, zaznaczają się granice między obszarami o zmniejszonej a obszarami o zwiększonej ilości energii w stosunku do wartości uzyskiwanych przez powierzchnię horyzontalną. „Uprzywilejowane” są wszystkie powierzchnie o nachyleniu od 20 do 35° i ekspozycji południowo-wschodniej. W większości otrzymują one ponad 150% energii uzyskiwanej na powierzchniach płaskich. Niektóre obszary o ekspozycji południowej i dużym nachyleniu mogą otrzymywać trzykrotnie więcej energii niż powierzchnie poziome (ryc. 2).



Ryc. 1. Stosunek (%) promieniowania słonecznego bezpośredniego padającego na powierzchnię nachyloną do promieniowania padającego na powierzchnię poziomą 22 czerwca przy $q=0,8$
 Fig. 1. Ratio (%) of direct solar radiation of slopes in comparison to horizontal plane, 22 June, turbidity $q=0.8$



Ryc. 2. Stosunek (%) promieniowania słonecznego bezpośredniego padającego na powierzchnię nachyloną do promieniowania padającego na powierzchnię horyzontalną 22 grudnia przy $q=0,8$

Fig. 2. Ratio (%) of direct solar radiation of slopes in comparison to horizontal plane, 22 December, turbidity $q=0.8$

Podsumowanie

Na wartości bezpośredniego promieniowania słonecznego, poza czynnikami astronomicznymi i geograficznymi, wpływają także czynniki lokalne, związane z rzeźbą terenu. Pierwsze mają większy wpływ w okresie letnim, drugie zaś w okresie zimowym. W dniu przesilenia letniego (22 czerwca) pomimo większych wartości bezwzględnych niż 22 grudnia, występują mniejsze różnice względne. W dniu przesilenia zimowego wyraźnie zaznaczają się obszary o niekorzystnych warunkach energetycznych, na drugim biegunie zaś są te powierzchnie, do których dociera nawet do 150% więcej energii niż do powierzchni horyzontalnej.

Literatura

- Baranowski J., 2003, *Lokalne zróżnicowanie warunków solarnych w Tatrach i jego związki z rzeźbą terenu i szatą roślinną (na przykładzie Hali Gąsienicowej)*, Maszynopis pracy doktorskiej, IGI PZ PAN, Warszawa.
- Budyko M.I., 1971, *Klimat i żyzn'*, Gidrometeoizdat, Leningrad.
- Kaempfert W., Morgen A., 1952, *Die Besonnung*, Z. Meteor., 6.
- Lee R., 1962, *Theory of the "Equivalent Slope"*, Mon. Wea. Rev., 90, 165-166.
- Lee R., 1963, *The Topographic Sampler*, J. Forestry, 61.
- Mietelski J., 1995, *Astronomia w Geografii*, PWN, Warszawa.
- Niedźwiedz T., 1992, *Dobowy przebieg składowych bilansu promieniowania słonecznego w okresie letnim na południowym skłonie Changaju (Mongolia)*, Folia Geogr., Ser. Geogr.-Phys., 23, 11-27.
- Okolowicz W., 1969, *Klimatologia ogólna*, PWN, Warszawa.
- Olecki Z., 1992, *Przezroczystość atmosfery w krakowskiej aglomeracji miejsko-przemysłowej*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 90, 23-34.
- Struška V., 1956, *Meteorologické přístroje a měření v přírodě*, St. Ped. Nakl., Praha.
- Styszyńska A., 1995, *Dopływ promieniowania całkowitego Słońca do powierzchni o dowolnym nachyleniu i ekspozycji*, Prace Nauk. WSM w Gdyni, 1-116.

Summary

The aim of the paper is to present a spatial differentiation of potential total direct solar radiation at Hala Gąsienicowa which influences both vegetation cover and geomorphological and soil processes in the mountains. Analyses were made for the summer and winter solstices (22 June and 22 December). The results show significant differences in the spatial patterns of solar energy that reached particular parts of the terrain in summer and winter. It was found that in summer the Sun's altitude is the main factor that influences the quantity of incoming solar radiation at the ground surface. However, in winter totals of direct solar radiation depend mostly on the inclination and exposition of slopes. At the summer solstice, most of the area gets solar energy that is similar

or up to 20% higher than that on a horizontal plane (Fig. 1). Only on small (predominantly north-facing) areas of Hala Gąsienicowa is solar energy on slopes reduced compared to the horizontal plane. At the winter solstice the combinations of exposition and inclination of slopes cause great spatial differentiation of solar radiation totals. On southern slopes with an inclination of 20-35°, inputs of direct solar radiation can be about 15-30% larger than those on a horizontal plane (Fig. 2).