

**OKREŚLENIE ZACIENIENIA ZABUDOWY  
JEDNORODZINNEJ NA PODSTAWIE DANYCH  
Z LOTNICZEGO SKANINGU LASEROWEGO\***

**DETERMINING OF SHADING OF SINGLE-FAMILY  
DETACHED HOUSES ON THE BASIS OF DATA  
FROM AIRBORNE LASER SCANING**

**Aleksandra Witkowska**

Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji, Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie

**Słowa kluczowe: zacinienie, numeryczny model pokrycia terenu (NMPT), promieniowanie słoneczne, diagram drogi słońca**

Keywords: shading, digital surface model (DSM), solar radiation, sun path diagram

## **Wprowadzenie**

Promieniowanie słoneczne, które dociera do powierzchni naszej planety ulega osłabieniu w wyniku przejścia przez atmosferę. Dodatkowo jest ono silnie powiązane z topografią terenu, jak również z samym otoczeniem: zabudową, drzewami czy roślinami znajdującymi się w bezpośrednim sąsiedztwie. Wymienione bariery topograficzno-architektoniczne przyczyniają się do osłabienia strumienia energii promieniowania, co w następstwie prowadzi do powstania zacinienia. Do powierzchni, które zorientowane są poziomo dociera promieniowanie bezpośrednie i rozproszone, zwane również promieniowaniem dyfuzyjnym. Gdy badamy powierzchnię dowolnie zorientowaną wówczas pojawia się kolejny składnik promieniowania słonecznego – promieniowanie odbite od otoczenia (Ickiewicz, 2005; Chwieduk, 2008).

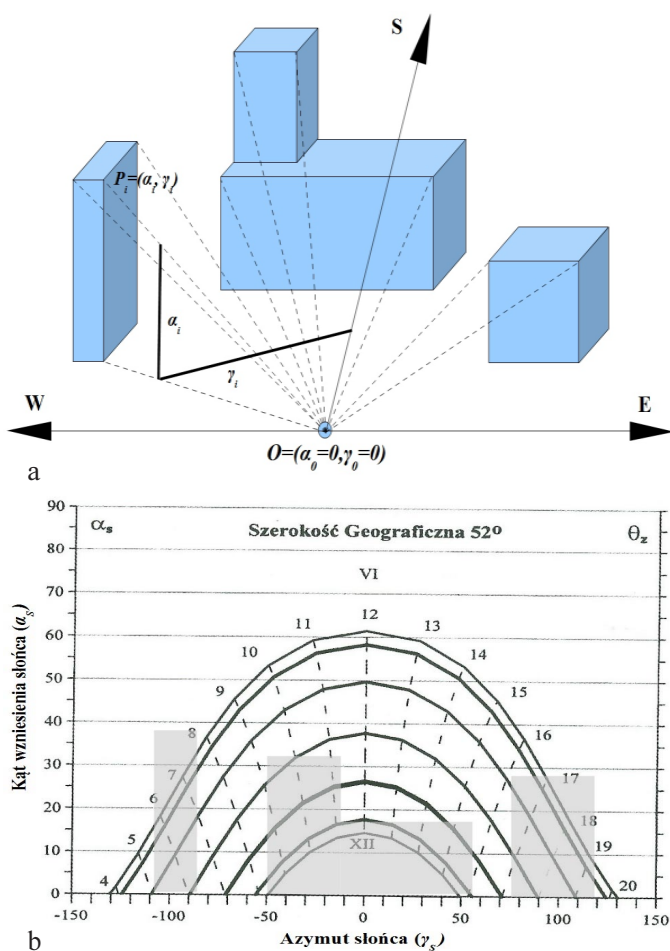
Zacinienie to powszechne zjawisko, które polega na ograniczonym dostępie promieniowania słonecznego do powierzchni wystawionej na jego działanie i może być całkowite lub częściowe. Gdy obiekt utrudniający dostęp promieniowania słonecznego nie jest przezroczysty, na przykład sąsiednie budynki, mówimy o zacinieniu całkowitym. W przypadku gdy przeszkodę charakteryzuje określona przepuszczalność promieniowania, wówczas mówimy o zacinieniu częściowym. Przykładem obiektów, które cechują się określoną transmisyjno-

---

\* Praca wykonana w ramach projektu rozwojowego Nr O R00 0065 11 pt. „Zarządzanie nieruchomościami będącymi w trwałym zarządzie Policji”, finansowanego ze środków przeznaczonych na naukę w latach 2010-2012.

ścią są drzewa. W zależności od gatunku, wysokości i rozpiętości korony charakteryzują się one większą lub mniejszą zdolnością do przepuszczania promieniowania słonecznego. Na przykład dla drzew liściastych w okresie zimowym wartość transmisyjności na obrzeżu korony wynosi od 70% do 80%, podczas gdy w jej środkowej części zawiera się w przedziale 50%-40%. Szerzej omówione zagadnienie można znaleźć w publikacjach (Anderson, Wells, 2012; Chwieduk, 2004; Erley, Jaffe, 2012).

### Wykorzystanie diagramu drogi słońca do wyznaczania zacienienia



**Rys. 1:** a – wyznaczenie kątów azymutalnych i kątów horyzontalnych przeszkód (kątowne wysokości przeszkód) dla zespołu przeszkód (opracowanie własne), b – diagram drogi słońca dla Warszawy ze schematycznie naniesionym zacienieniem (Chwieduk 2004, opracowanie własne)

Diagram drogi słońca w sposób graficzny prezentuje położenie słońca na nieboskłonie. Z jego pomocą zilustrowana jest pozycja słońca w funkcji czasu różnych dni roku (rys.1b). Po raz pierwszy diagramy drogi słońca zostały wprowadzone przez Olgyay A. i Olgyay V. (1957), zaś ich rozpowszechnienie spowodował Mazria (1979). Mapy drogi słońca są powszechnie stosowaną metodą przy wyznaczaniu zacienienia promieniowania bezpośredniego dla dowolnej powierzchni zwróconej w kierunku południowym, co zostało osiągnięte przez połączenie geometrii ruchu słońca oraz natężenia promieniowania słonecznego.

W literaturze poświęconej energetyce słonecznej można odnaleźć opis algorytmu wyznaczenia zacienienia przy wykorzystaniu map drogi słońca (Chwieduk, 2008). Metoda ta opiera się na znajomości wartości natężenia promieniowania powierzchni poziomej i przeliczeniu jej na wartość promieniowania, która dociera do powierzch-

ni pochylonej. W następnej kolejności wybierany jest diagram drogi słońca dla odpowiedniej szerokości geograficznej, na podstawie którego określa się zacinienie wywołane przez obiekty tworzące najbliższe otoczenie i zarazem osłabiające ilość docierającego promieniowania. Powiązanie wymienionych czynników umożliwi określenie ilości promieniowania słonecznego docierającego do dowolnie wybranego elementu południowej elewacji obiektu.

Zacinienie wywołane przez przeszkodę, określone z wykorzystaniem diagramu drogi słońca, jest odnoszone do punktu, w którym znajduje się obserwator. Pozycja słońca na niebie, względem obserwatora, jest uzależniona od dwóch kątów. Pierwszy z nich jest kątem azymutalnym słońca ( $\gamma_s$ ) i przyjmuje wartości z zakresu od  $-180^\circ$  do  $+180^\circ$ . Drugi, to kąt wzniesienia słońca ( $\alpha$ ), który jest jednocześnie dopełnieniem kąta zenitalnego słońca ( $\theta_z$ ) do kąta prostego ( $\theta_z = 90^\circ - \alpha$ ). Aby odtworzyć zacinienie należy stworzyć kątowy obraz przeszkody (rys. 1a), a następnie przenieść go na mapę drogi słońca (rys. 1b). W tym celu konieczne jest utworzenie zależności trygonometrycznych łączących obserwatora z przeszkodą. Jej wysokość i długość są przenoszone na wykres drogi słońca w relacji do obserwatora, odpowiednio jako kątowa współrzędna wysokości wzniesienia ( $\alpha$ ) oraz kąt azymutalny ( $\gamma$ ). Kąt azymutalny może przyjmować wartości ze znakiem  $+$  w stronę zachodnią i ze znakiem  $-$  w stronę wschodnią. Położenie obserwatora, przyjmuje się w punkcie o współrzędnych  $O = (\alpha_0 = 0, \gamma_0 = 0)$ , natomiast obraz przeszkody opisywany jest przez zbiór punktów  $i$  o współrzędnych  $P_i = (\alpha_p, \gamma_p)$ . Liczebność zbioru punktów  $i$  uzależniona jest od poziomu dokładności, z jakim chcemy przenieść widziany przez obserwatora obiekt zacieniający na układ kątowy mapy drogi słońca (Chwieduk, 2004). Opisaną metodykę wyznaczania zacinienia przy wykorzystaniu diagramów drogi słońca można odnieść do szczególnych przypadków, na przykład kiedy przeszkoda jest usytuowana równolegle względem zacinianego obiektu, jak również do sytuacji, w których położenie zapory nie jest tak charakterystyczne.

## Wykorzystanie narzędzi GIS do modelowania zacinienia

Opracowanie modelu zacinienia z wykorzystaniem narzędzi GIS dla wybranej zabudowy jednorodzinnej oparte jest na numerycznym modelu pokrycia terenu (NMPT) w postaci rastrowej oraz obliczeniu ile promieniowania całkowitego dociera do analizowanego obszaru. W tym celu dla każdej komórki rastra sporządzany jest obraz zacinienia nieboskłonu. W następnej kolejności obraz ten nakładany jest na diagram drogi słońca oraz na mapę nieba. Czynności te umożliwiają wyliczenie odpowiednio ile promieniowania bezpośredniego i rozproszonego dociera do analizowanej komórki rastra, a w konsekwencji prowadzi do otrzymania mapy rozkładu promieniowania całkowitego.

## Charakterystyka obrazu zacinienia

Obraz zacinienia to rastrowa reprezentacja całego nieboskłonu z uwzględnieniem jego widoczności z miejsca obserwacji. Obraz zacinienia generowany jest indywidualnie dla każdego piksela obrazu rastrowego tworzącego NMPT. Określenie obszaru na nieboskłonie, który nie jest zasłaniany przez otoczenie, odbywa się wzdłuż wskazanych kierunków (tożsamy z kątami horyzontalnymi), rozmieszczonych promieniście wokół miejsca obserwacji. Liczba analizowanych kątów horyzontalnych jest parzysta, a zwiększenie ich liczby przy jednoczesnej poprawie rozdzielczości rastra spowoduje bardziej dokładne wykreślenie obra-

zu zacienienia. Mechanizm tworzenia obrazu zacienienia opiera się na wyznaczeniu na każdym z kierunków maksymalnego kąta zenitalnego przysłaniania nieboskłonu. Pozostałe niezdefiniowane kąty horyzontalne są automatycznie interpolowane. Następny krok, to transformacja wszystkich parametrów do układu współrzędnych hemisferycznych. Dzięki tej czynności trzywymiarowa hemisfera jest zamieniana na dwuwymiarowy obraz rastrowy. Położenie piksela w macierzy rastra, które jest wyznaczane przez numer wiersza i kolumny, odpowiada kolejno wartości kąta zenitalnego i horyzontalnego. Natomiast wartości przyjmowane przez piksele tworzące rastrowy obraz zacienienia informują, czy w danym kierunku niebo nad miejscem obserwacji jest widoczne lub przysłonięte przez sytuację.

### **Diagram drogi słońca i mapa nieba**

Promieniowanie bezpośrednie jest obliczane przy wykorzystaniu mapy drogi słońca w takiej samej projekcji jak obraz zacienienia. Mapa drogi słońca obrazuje jego drogę lub pozycję na niebie. Składa się ona z dyskretnych sektorów odpowiadających pozycji słońca w poszczególnych odstępach godzinowych podczas dnia oraz dziennych lub miesięcznych w czasie roku. Droga słońca jest obliczana w oparciu o szerokość geograficzną badanego obszaru i w konfiguracji czasu zdefiniowanej przez sektory. Do każdego z nich jest przypisana unikalna wartość razem z centroidą kąta horyzontalnego i azymutalnego. Nasłonecznienie docierające z pojedynczego pola jest obliczane oddzielnie, a obraz zacienienia jest nakładany na diagram drogi słońca w celu wyliczenia promieniowania bezpośredniego.

Promieniowanie rozproszone dociera do powierzchni Ziemi ze wszystkich kierunków. W celu obliczenia promieniowania rozproszonego, dla miejsca obserwacji tworzona jest mapa całego nieba z podziałem na sektory. Tak jak dla mapy drogi słońca, również dla mapy nieba do każdego sektora jest przypisana unikalna wartość razem z centroidą kąta horyzontalnego i azymutalnego. Opierając się na wcześniej zdefiniowanych kierunkach i nałożonym obrazie zacienienia, dla każdego pola mapy nieboskłonu obliczane jest promieniowanie rozproszone.

### **Nakładanie obrazu zacienienia na mapę drogi słońca i mapę nieba**

Nasłonecznienie całkowite jest sumą wyznaczonego promieniowania bezpośredniego i rozproszonego. W tym celu obraz zacienienia jest nakładany na mapę drogi słońca (rys. 2a) oraz mapę nieba (rys. 2b). Ilość widocznej powierzchni nieba w każdym polu jest wyznaczana ze stosunku niezasłoniętych pikseli sektora rastra do całkowitej liczby pikseli znajdujących się w analizowanym sektorze. Obliczenia prowadzone są dla każdego pola mapy nieba i drogi słońca oddzielnie. Wybierane są odpowiednio te sektory, które powiązane są bezpośrednio z zadeklarowanym przedziałem czasu. Po dokonaniu kalkulacji, określone są promieniowanie bezpośrednie i rozproszone, które w dalszym etapie są sumowane. W wyniku opisanych czynności otrzymujemy obraz rastrowy przedstawiający przestrzenny rozkład nasłonecznienia na analizowanym obszarze. W sytuacji gdy badaniu poddana jest konkretna lokalizacja, wynik dla niej zestawiony jest w formie tabeli z danymi.

## Obszar badań i materiały źródłowe

Do badań nad modelowaniem zacielenia wybrano fragment osiedla mieszkalnego, który objął swym zasięgiem powierzchnię w przybliżeniu 1,4 ha. Wybrany teren zawiera typową zabudowę jednorodzinną z dwu- i trzykondygnacyjnymi budynkami oraz niską i średnią zielen przydomową. Wytypowane osiedle znajduje się w południowozachodniej, podmiejskiej części Krakowa.

W badaniu wykorzystano dane pochodzące z lotniczego skaningu laserowego przeprowadzonego na zlecenie Biura Planowania Przestrzennego Miasta Krakowa w 2006 roku. W ramach tego projektu, przy użyciu śmigłowca zaopatrzonego w system FLI-MAP 400, zebrano dane z obszaru obejmującego powierzchnię około 400 km<sup>2</sup>. Średnia wysokość trajektorii lotu wynosiła 350 m, zaś średnia gęstość punktów to 12 punktów/m<sup>2</sup>. Analiza dokładnościowa lotniczego skaningu laserowego Krakowa wykazała, że błędy średnie wyznaczenia współrzędnych przyjmują wartości odpowiednio dla rzędnej  $Z$  –  $RMSE_z = 29$  cm oraz dla współrzędnych  $X$  i  $Y$  –  $RMSE_{xy} = 56$  cm (Borowiecki, 2010).

## Metodyka badań

Materiałami źródłowymi, które wykorzystano do modelowania zacielenia, była chmura punktów pochodząca z lotniczego skaningu laserowego. Ze zbioru wszystkich punktów ją tworzących wygenerowano NMPT w formacie rastrowym, który zawierał kompletną informację o elementach znajdujących się na powierzchni terenu w chwili wykonywania nalotu. Wśród nich znalazła się zabudowa osiedla, wysoka i niska zielen przydomowa, elementy infrastruktury technicznej oraz inne obiekty, jak na przykład samochody, które stanowią potencjalne źródło zacielenia.

W oparciu o tak przygotowany podkład rastrowy utworzono mapy prezentujące przestrzenny rozkład nasłonecznienia [ $W_{m}^{h/2}$ ]. Moduł, który został wykorzystany w opracowaniu nie uwzględnia w obliczeniach promieniowania odbitego, zatem otrzymane promieniowanie całkowite dla badanego obszaru jest sumą promieniowania bezpośredniego i rozproszonego. Uzyskane mapy posłużyły zamodelowaniu zacielenia zabudowy jednorodzinnej, przy jednoczesnym uwzględnieniu barier topograficzno-architektonicznych osłabiających strumień energii promieniowania słonecznego. Symulację zmiany zacielenia zabudowy jednorodzinnej prześledzono w funkcji czasu na przykładzie wybranego dnia z krokiem trzech godzin. Dokładnym rozważaniem poddany został dzień 21 czerwca 2012 r., w godzinach: 9, 12, 15 i 18. Drugi przedział czasu dotyczył zmian zacielenia na przestrzeni roku kalendarzowego z interwałem trzech miesięcy. Mapy dla tego przykładu zostały wygenerowane dla każdego 21 dnia marca, czerwca, września i grudnia, z 0,5 godzinnym krokiem czasu. W sumie otrzymano dwadzieścia cztery mapy: po dwaście map dla każdej z dwóch rozpatrywanych sytuacji.

## Analiza otrzymanych wyników

Opracowane mapy, prezentujące zacielenie wybranego osiedla domów jednorodzinnych przedstawione na rysunkach 3 i 4, różnią się między sobą wielkością i kształtem obszarów odpowiadających zacieleniu. Zmiany zauważalne są nie tylko w ciągu dnia, ale również w skali roku kalendarzowego. Jak można zauważyć, wielkość obszaru objętego zacieleniem

jest silnie uzależniona od obiektów tworzących otoczenie. Ponieważ teren charakteryzuje się niewielkimi deniwelacjami, dlatego w analizowanym przykładzie mniejsze znaczenie odgrywa jego topografia, większe położenie geograficzne.

Otrzymane mapy zacielenia umożliwiły prześledzenie w sposób płynny zmian oraz wyznaczenie potencjalnych miejsc, które charakteryzują się ograniczonym dostępem do promieniowania słonecznego. W przypadku map utworzonych dla każdego 21 dnia marca, czerwca, września i grudnia (rys. 3a-d), obszary zacielenia sklasyfikowano w czterech grupach. W pierwszej znajdują się rejon, do których nie dochodzi promieniowanie słoneczne. Druga grupa obejmuje swym zasięgiem strefy z dostępem promieniowania słonecznego maksymalnie do 1 godziny. Z kolei do trzeciego zbioru wydzielono regiony, do których dochodzi promieniowanie słoneczne nie krócej jak przez 1 godzinę ale nie dłużej jak przez 2 godziny w ciągu dnia. Czwarta grupa obejmuje fragmenty terenu, które nie zostały zaklasyfikowane do żadnego z trzech wcześniej wymienionych zbiorów. Przestrzenny rozkład zacielenia umożliwił także określenie procentowego udziału powierzchni każdej z czterech grup w stosunku do całej powierzchni zajmowanej przez analizowane osiedle domów jednorodzinnych,

**Tabela .** Procentowy udział sklasyfikowanych grup w stosunku do całej powierzchni analizowanego osiedla domów jednorodzinnych dla roku kalendarzowego

Grupa	21-03-2012	21-06-2012	21-09-2012	21-12-2012
	[%]			
1	11	2	11	41
2	5	1	4	10
3	6	2	6	11
4	79	95	78	37

co zestawiono w tabeli. Wynika z niego, że jedynie dla 21.12.2012 r. łączna powierzchnia obszarów 1, 2 i 3 obejmuje aż 62% całego terenu. Na tą wartość składa się również największa powierzchnia – stanowiąca 41% całego badanego obszaru, do której nie dochodzi promieniowanie słoneczne. Odwrotną sytuację możemy obserwować dla 21.06.2012 r., w którym obszary od 1 do 3 zajmuje zaledwie 5% rejonu badań. W przypadku 21.03.2012 r. oraz 21.09.2012 r. otrzymane wartości dla każdej z czterech grup są niemal identyczne. Uzyskanie tak podobnych wyników można wytłumaczyć faktem, że drogi po których porusza się słońce po nieboskłonie dla dwóch dni roku (dla 21. dnia miesiąca począwszy od czerwca) są bardzo zbliżona do siebie, praktycznie pokrywają się: lipiec z majem, sierpień z kwietniem, wrzesień z marcem itd.

Otrzymane mapy, ilustrujące zmiany zacielenia na przestrzeni wybranego dnia w funkcji czasu (rys. 4a-d), nie została sklasyfikowana w grupy, tak jak w omówionym wcześniej przykładzie, ale zawierają tylko strefy, do których nie dociera promieniowanie słoneczne. Procentowy udział sklasyfikowanych grup w stosunku do całej powierzchni analizowanego osiedla zabudowy jednorodzinnej dla wybranego dnia roku (21.06.2012 r.) przedstawia się odpowiednio: o godz. 9 – 28%, 12 – 14%, 15 – 31% oraz 18 – 68%. Wielkość powierzchni pokrycia obszarem zacielenionym maleje, wraz ze zwiększaniem się kąta wzniesienia słońca tak, by osiągnąć swoje minimum o godzinie 12. O godzinie 18 powierzchnia zacielenia obejmuje swym zasięgiem 68% całego obszaru i jednocześnie jest największym z czterech rejonów. Dla godzin: 9 i 15 procentowe udziały powierzchni zacielenia są bardzo zbliżone do siebie i odpowiednio wynoszą 26% i 31%. Różnica między nimi jest nieznaczna, co odpowiada polu powierzchni równemu około 660 m<sup>2</sup>.

Mapy przedstawione na rysunkach 4a–d rekonstruuja wędrówkę cienia rzucanego przez zabudowę, roślinność i inne obiekty tworzące pokrycie terenu w chwili wykonywania nalo-  
tu. Ponadto umożliwiają prześledzenie jego zmian w funkcji czasu tworząc tym samym model dynamiczny oparty na zmiennej, jaką jest NMPT.

## Wnioski

Analiza zacielenia jest nierozzerwalnie związana z wykorzystywaniem zielonej energii pochodzącej od słońca. Wielkość, przestrzenny rozkład oraz zmienność zacielenia rozpa-  
trywane w funkcji czasu mają szczególne znaczenie w rejonie obszarów miejskich, gdzie gęstość zabudowy oraz jej otoczenie mają duży wpływ na dostępność promieniowania słoń-  
ecznego. Obecnie na świecie kładzie się nacisk na równy dostęp do słońca, co jest realizo-  
wane na etapie projektowania zabudowy. W niniejszym artykule został poddany analizie przykład odwrrotny, w którym zabudowa mieszkalna oraz jej otoczenie już fizycznie istnieją w terenie. Z tej perspektywy usunięcie niedoborów nasłonecznienia wynikających z rozmieszczenia oraz kształtu zabudowy wydaje się być niemożliwe. W tym przypadku, prezentowana meto-  
dyka modelowania zacielenia z wykorzystaniem narzędzi GIS oraz danych pochodzących z lotniczego skaningu laserowego, znajduje uzasadnienie w projektowaniu zieleni ogrodowej. Analiza może być stosowana nie tylko na indywidualnych gospodarstwach, ale co ważniej-  
sze może być przeprowadzona na całych kompleksach miejskich z uwzględnieniem towa-  
rzyszącej im infrastruktury. Wykorzystanie NMPT zawiera dodatkowo czynnik ukształto-  
wania terenu, który również może stać się przeszkodą dla promieniowania słonecznego.

Prezentowane wyniki oraz metodyka badań mogą mieć również szczególne znaczenie podczas wyznaczania potencjalnych miejsc na instalowanie kolektorów słonecznych. Do badań nad zacieleniem został wybrany fragment osiedla domów jednorodzinnych, który reprezentuje typowe osiedle mieszkalne z jedno- i dwu kondygnacyjnymi budynkami. Prze-  
ważnie właściciele tych nieruchomości decydują się na zainstalowanie paneli słonecznych. Na potrzeby energetyczne mieszkańców domów jednorodzinnych instalacje te montowane są na dachach. Przez wykorzystanie NMPT oraz właściwe zamodelowanie danych wejścio-  
wych przy jednoczesnym uwzględnieniu zacielenia, w wyniku możemy otrzymać potenc-  
jalne obszary nadające się pod instalacje kolektorów słonecznych. Proponowana metodyka, z uwagi na koszty, skierowana jest głównie do dużych rejonów miejskich. Dodatkowo, lokalne geoportale mogą zostać wzbogacone o informacje dotyczące potencjału słonecznego dla występującej zabudowy, co da pogląd każdemu właścicielowi, czy jego nieruchomość speł-  
nia warunki techniczne inwestycji w zieloną energię.

Atutem zaprezentowanego w artykule podejścia do tematu modelowania zacielenia – z wykorzystaniem narzędzi GIS oraz danych pochodzących z lotniczego skaningu laserowego – jest uzyskanie informacji o zacieleniu bez potrzeby dokonywania obserwacji bezpośrednio w terenie. W przeprowadzonych analizach nie została uwzględniona sezonowa zmienność pokrywy roślinnej, co przekłada się na jej możliwości transmisyjne. Informacja o charakte-  
rystyce przepuszczania promieniowania słonecznego ma szczególnie znaczenie w modelo-  
waniu promieniowania słonecznego w okresie zimowym, gdy dzień jest stosunkowo krótki, a słońce znajduje się najniżej na horyzoncie.

### Literatura

- Anderson B., Wells M., The Passive Solar Energy Book, (02-08-2012)  
<http://www.scribd.com/doc/86767416/Passive-Solar-Energy-Book>
- Borowiecki I., 2010: Lotniczy skaniny laserowy LIDAR Miasta Krakowa (ocena dokladnoSciowa), Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, Polska Akademia Nauk, Oddzial w Krakowie 3/2010: 127-137, Kraków.
- Chwieduk D., 2004: Zacienienie budynków. Wykorzystanie diagramów drogi Słońca przy określeniu zacienienia, *Polska Energetyka Słoneczna*, 2-4: 18-22, Warszawa.
- Chwieduk D., 2008: Dostępność promieniowania słonecznego do obudowy budynku zlokalizowanego w Polsce Centralnej, *Polska Energetyka Słoneczna*, 1-4: 46-56, Warszawa.
- Erley D., Jaffe M. with the assistance of Living Systems Winters, California, Site Planning For Solar Access. A Guide for Residential Developers and Site Planners. (02-08-2012)  
[http://books.google.pl/books?id=4Wbc46X\\_SjEC&pg=PA95&lpg=PA95&dq=solar+blocking+by+common+trees&source=bl&ots=YTt5Y6pjXv&sig=5aD3ZnPgLzau4VPiY4DP13yuLkU&hl=pl&sa=X&ei=TqumT-q-JcOLswblh6GdBQ&ved=0CFwQ6AEwAw#v=onepage&q=solar%20blocking%20by%20common%20trees&f=false](http://books.google.pl/books?id=4Wbc46X_SjEC&pg=PA95&lpg=PA95&dq=solar+blocking+by+common+trees&source=bl&ots=YTt5Y6pjXv&sig=5aD3ZnPgLzau4VPiY4DP13yuLkU&hl=pl&sa=X&ei=TqumT-q-JcOLswblh6GdBQ&ved=0CFwQ6AEwAw#v=onepage&q=solar%20blocking%20by%20common%20trees&f=false)
- ESRI, Desktop 9.3 Help, (02-08-2012) [www.webhelp.esri.com](http://www.webhelp.esri.com)
- Ickiewicz I., 2005: Kolektory słoneczne – analiza opłacalności, *Polska Energetyka Słoneczna*, 1: 13-15, Warszawa.
- Mazria E., 1979: The Passive Solar Energy Book, PA, Rondale Press, Emmaus.
- Pietras M., 2011: Moduł r.sun – wykorzystanie do obliczania wydajności kolektorów słonecznych, Rozprawy Naukowe Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego, Analizy przestrzenne z wykorzystaniem GRASS: 25-34, Wrocław.
- Olgay A., Olgay V., 1957: Solar Control and Shading Devices, Ch 8, NJ Princenton University, Princeton.

### Abstract

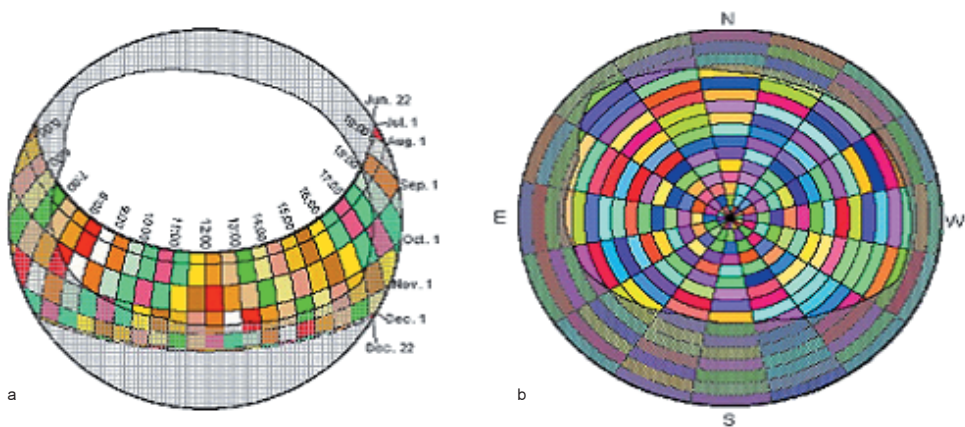
*Solar radiation is the fundamental component of physical and biological processes taking place on our planet. It is strongly connected both with the topography of the terrain and with the surroundings: buildings, trees or plants in the direct neighborhood. Shading of any surface is caused by the weakness of stream radiation which can be total or partial. When the object obstructing solar radiation is not transparent, e.g. neighboring buildings, we talk about total shading. In the case when the obstruction is transparent, we talk about partial shading. Trees are an example of objects which are transparent. They are characterized by greater or smaller ability of letting through the solar radiation in dependence from species, height and the crown span.*

*The literature connected with the solar radiation and determining of shading is based on utilization of diagrams of Sun position. The diagram of Sun position in a graphic way of presenting the position of Sun on the horizon. It illustrates the position of the Sun in the function of time in various days of the year. The first diagrams of the Sun position were introduced by Olgay A. and Olgay V. and Mazria caused their dissemination. The diagrams of the Sun position are a universal method of marking the shading of direct radiation for any surface turned in the southern direction, what was reached by the connection to the geometry of Sun position and the intensity of solar radiation.*

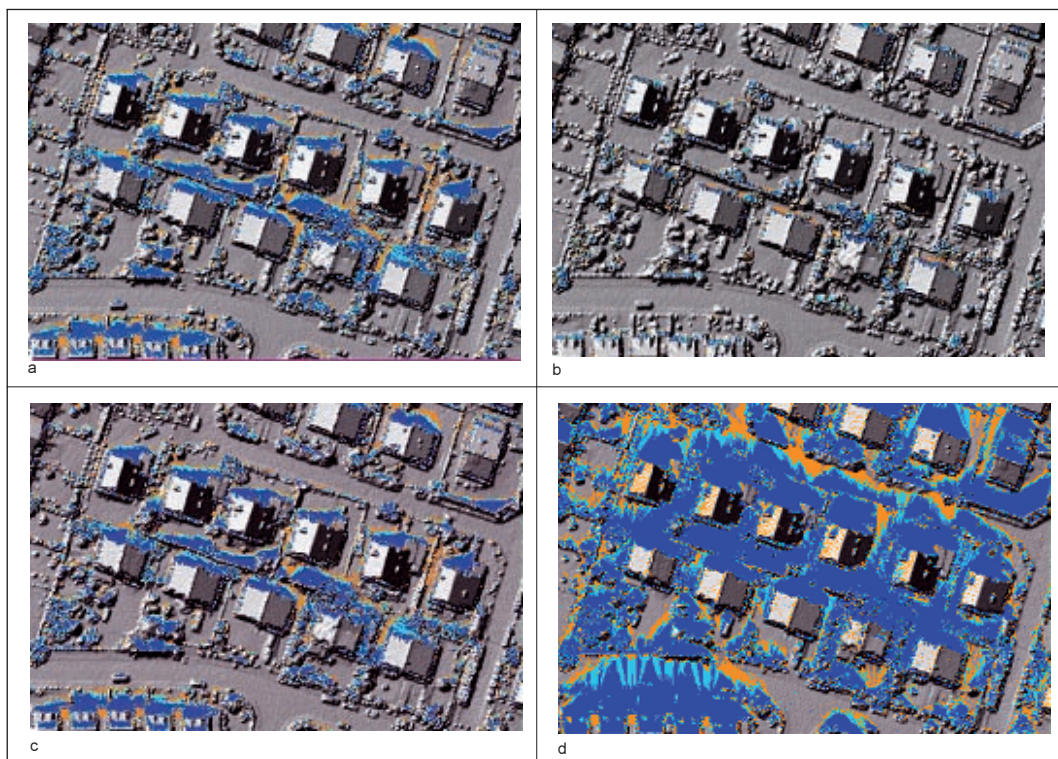
*In the paper, I tried to model shading using GIS tools and the Digital Surface Model (DSM). The individual analysis was conducted for single family houses. The module Spatial Analyst was used which is also a part of ArcGIS environment. This tool can calculate the insolation [Wh/m<sup>2</sup>] but it does not take into account the reflected radiation. The spatial schedule of shadow was generated from the direct and diffused radiation and their sum - the total insolation. The simulation of changes in shading of single family buildings was created with the regard to the occurrence of elements of the surroundings. The changes of shading were traced in the function of time on the example of a selected day and on span of the calendar year with three month intervals. In addition, the publication concentrates on the potential advantages of using the GIS techniques in the study of the model of shading.*

mgr inż. Aleksandra Witkowska  
doktorantka na Wydziale Inżynierii Łądowej i Geodezji, WAT  
[rosinskao@wp.pl](mailto:rosinskao@wp.pl)





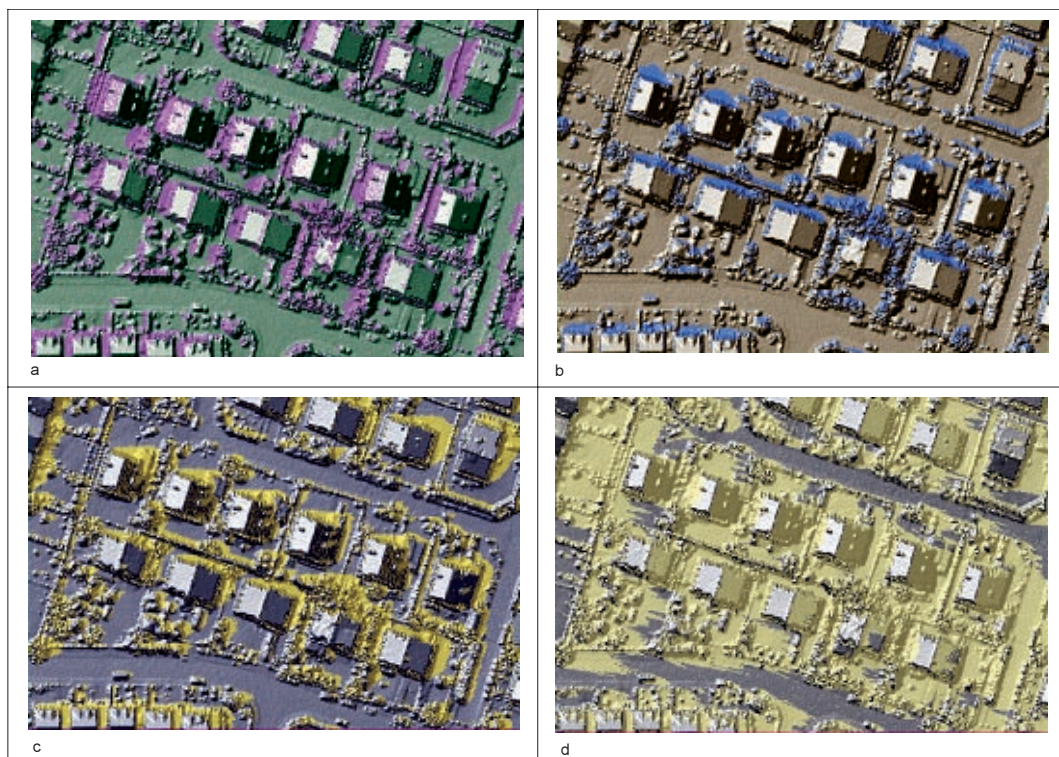
Rys. 2. Nakładanie obrazu zacielenia na: a – mapę drogi słońca, b – mapę nieba (ESRI, 2012)



Legenda

- 1 0
- 2 0-1
- 3 1-2
- 4 2-max

Rys. 3. Mapy przestrzennego rozkładu zacielenia zabudowy jednorodzinnej dla: a – 21 marca, b – 21 czerwca, c – 21 września, d – 21 grudnia; oznaczenia w legendzie określają przedziały czasowe usłonecznienia [godz.]



**Rys. 4.** Mapy przestrzennego rozkładu zacienienia zabudowy jednorodzinnej w dniu 21 czerwca o godzinie: a – 9, b – 12, c – 15, d – 18