

Modelowanie cienia w obszarach zurbanizowanych

Shadow modelling in urban areas

Michał Brach, Joanna Stępnik

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Leśny
Zakład Geomatyki i Gospodarki Przestrzennej

Słowa kluczowe: cień, systemy informacji geograficznej (GIS), lotniczy skaning laserowy
Keywords: shadow, Geographic Information System (GIS), airborne laser scanning

Wstęp

Proces kształtowania przestrzeni życia człowieka wymaga uwzględnienia wielu zjawisk zachodzących w środowisku. Jedną z istotnych funkcji środowiska nieożywionego jest dostęp do promieniowania słonecznego, stanowiący podstawową potrzebę każdego żywego organizmu. Samo znaczenie światła słonecznego w procesie projektowym podkreślane było wielokrotnie w różnych publikacjach zajmujących się między innymi problematyką klimatu miejskiego i komfortu termalnego w przestrzeniach miejskich (Santamouris i in., 1999; Lin i in., 2010; Shishegar, 2013), zagadnieniami budownictwa pasywnego (Compagnon, 2004; Dapeng i in., 2015) lub badaniem dostępu do promieniowania słonecznego w środowisku miejskim (Capeluto, 2010). Elementem istotnie wpływającym na warunki świetlne w środowisku miejskim są budynki. Ich wysokość, kształt oraz orientację, uznaje się za najważniejsze czynniki wpływające na ilość promieniowania docierającego do otwartych przestrzeni (Lam, 2000; Littlefair, 2001). Problem narasta na terenach silnie zurbanizowanych, gdzie duża koncentracja zabudowy wysokościowej powoduje drastyczny wzrost poziomu zacielenia (Morello i in., 2009). Zapewnienie odpowiedniego dostępu do światła słonecznego jest szczególnie istotne dla otwartych przestrzeni publicznych, w których przebywają lub potencjalnie mają przebywać ludzie. W miastach o dużej intensywności zabudowy takie otwarte przestrzenie mogą stanowić jedyne enklawy swobodnego dostępu do światła. Ponadto, coraz częściej informacja o ilości światła słonecznego jest wykorzystywana do analizy potencjału solarnego. W tym kontekście wiedza na temat zacielenia jest niezwykle istotna, ponieważ wysokie budynki mogą radykalnie ograniczyć możliwości inwestowania w kolektory słoneczne, czy ogniwa fotowoltaiczne (Witkowska, Bielecka, 2014).

Znajomość miejsca i czasu wystąpienia cienia może bez wątpienia wspomóc proces podejmowania decyzji planistycznych, które ostatecznie powinny prowadzić do optymalizacji warunków świetlnych – czyli dostosowania założeń projektowych do warunków środowi-

ska i indywidualnych potrzeb. W uproszczeniu, pod pojęciem optymalizacji warunków świetlnych, można rozumieć również zapewnienie maksimum nasłonecznienia w okresie zimowym i ewentualne ograniczenie dopływu promieniowania w okresie letnim (Al-Qeeq, 2008). Taki zaplanowany dostęp do światła słonecznego jest pożądanym zwłaszcza w przestrzeniach publicznych: parkach, skwerach lub placach (Deroisy i in., 2013), co pozwala zagwarantować właściwy rozwój roślin oraz stworzenie przyjaznych miejsc do odpoczynku i rekreacji.

Ustalenie precyzyjnych wytycznych projektowych dla indywidualnych przypadków studialnych możliwe jest dzięki dokładnej charakterystyce warunków świetlnych panujących w danych układach urbanistycznych. Współcześnie dostępne oprogramowanie komputerowe zapewnia możliwość automatycznej symulacji zacienienia, gwarantując minimalizację nakładu pracy oraz integrację danych dla różnych obiektów.

Celem pracy jest zaprezentowanie możliwości technologii GIS (ang. *Geographic Information System*) w zakresie uzyskania danych o poziomie zacienienia przykładowego miejskiego terenu otwartego, uwzględniających zalecenia obowiązujących norm prawnych. Wykorzystano rozszerzenie LAsTools do detekcji zasięgu budynków z chmury punktów oraz pakiet ArcGIS 10.4 zawierający narzędzia Sun Shadow Volume, 3D Features oraz Map Algebra do modelowania cieni. Analizy wykonano przy wykorzystaniu stosunkowo łatwo dostępnych danych z lotniczego skaningu laserowego (ang. *Airborne Laser Scanning, ALS*) pochodzących z zasobów Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej. Dane te są produktem pochodzącym z realizacji informatycznego systemu ochrony kraju (ISOK).

Kontekst prawny analiz zacienienia na świecie i w Polsce

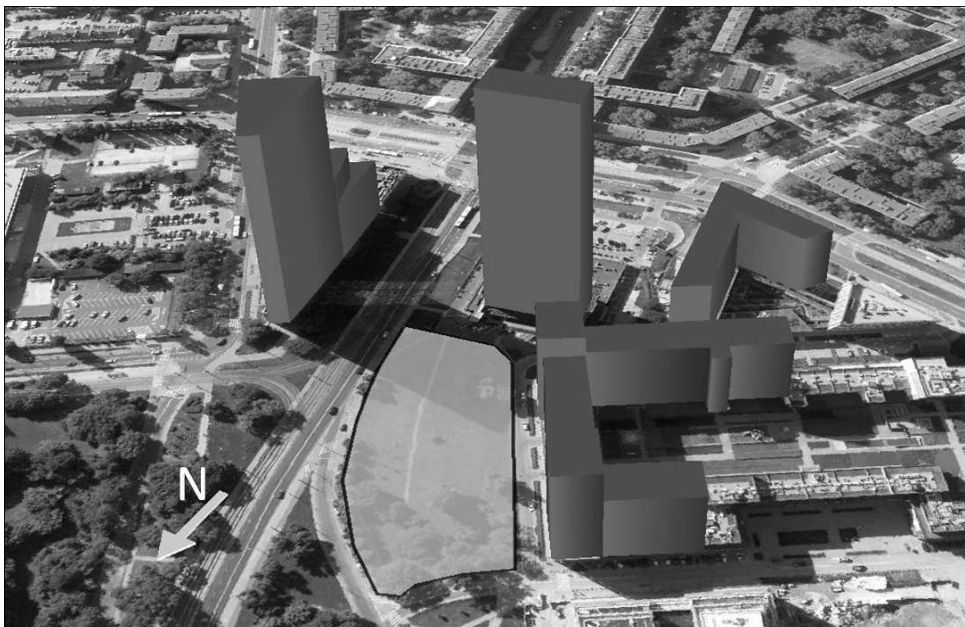
Wraz z rozwojem dziedziny planowania przestrzennego oraz wzrostem znaczenia jakości przestrzeni miejskiej następowała stopniowa ewolucja regulacji prawnych dotyczących zagadnienia dostępu do światła słonecznego: od pośredniego sposobu kontrolowania poziomu nasłonecznienia w postaci standardów dotyczących intensywności i wysokości zabudowy (np. *The Metropolitan Building Act* – Wielka Brytania, 1844 r., *The New York City Zoning Resolution* – 1916 r.), przez wskazywanie minimalnych wartości nasłonecznienia dla pomieszczeń mieszkalnych (np. Karta Ateńska – 1933 r., Prawo Budowlane – Polska, 1974 r.), aż do zwrócenia się w kierunku bezpośredniej ochrony przed zacienieniem otwartych przestrzeni publicznych w miastach (np. *The Sunlight Ordinance* – San Francisco, 2000 r.). Na świecie w chwili obecnej uwzględnianie warunków świetlnych przy projektowaniu obiektów budowlanych jest zagadnieniem powszechnym (Witkowska, 2012). Jedyne normy prawne współcześnie obowiązujące w Polsce i bezpośrednio związane z dostępem do światła słonecznego zawarte są w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Rozporządzenie, 2002). Regulują one minimalne dopuszczalne okresy nasłonecznienia jakie muszą zostać spełnione w dniach równonocy wiosennej i jesiennej (tab. 1). W praktyce, analizy zacienienia wykonywane są na etapie projektowym w celu sprawdzenia, czy nowa zabudowa nie naruszy wspomnianych norm. Brak jest jednak jasno określonych standardów wykonania takich badań. Plac zabaw pozostają jedyną formą otwartych przestrzeni publicznych, chronioną prawnie przed niekorzystnym wpływem zacienienia.

Tabela 1. Minimalne czasy nasłonecznienia dla wybranych elementów przestrzeni w dniach równonocy wiosennej i jesiennej (Rozporządzenie, 2002)

Typ pomieszczenia/teren	Pomieszczenia zbiorowego przebywania dzieci	Co najmniej jeden pokój w mieszkaniu wielopokojowym		Place zabaw	
		zabudowa śródmiejska	zabudowa inna	zabudowa śródmiejska	zabudowa inna
Godziny badań	8:00–16:00	7:00–17:00		10:00–16:00	
Minimalny czas nasłonecznienia [h]	3	1,5	3	2	4

Material i metodyka

Obszar, dla którego przeprowadzono symulację zacienienia, to niezagospodarowana przestrzeń zieleni o powierzchni około 800 m², zlokalizowana w warszawskiej dzielnicy Śródmieście. Na południe i południowo-wschód terenu zlokalizowane są dwa obiekty wysokościowe: budynek Intraco (107 m) oraz North Gate (93 m). Ponadto do południowo-wschodniej granicy obszaru przylega budynek mieszkalny (31-42 m). Przestrzeń w kierunku północnym i północno-wschodnim pozostaje otwarta (rys. 1). Obszar ten aktualnie nie jest w żaden sposób wykorzystany i stanowi jedynie miejsce przemieszczania się, na którym nie zatrzymują się ludzie. Otwarty, niewykorzystany teren stwarza jednak potencjalne możliwości do wykreowania nowej przestrzeni publicznej, tym bardziej, że w tym rejonie w bardzo dynamicznym tempie powstają nowe wieżowce o przeznaczeniu mieszkalnym przyczyniając się tym samym do wzrostu zapotrzebowania na tereny mogące służyć rekreacji.



Rysunek 1. Obszar objęty analizą wraz z budynkami uwzględnionymi w modelowaniu cienia

Głównym celem przeprowadzonych analiz było zdobycie wiedzy na temat rozkładu cieni generowanych przez zabudowę oraz ustalenie ich wpływu na czas nasłonecznienia. W pracy nie uwzględniono warunków pogodowych, pokrycia roślinnością, czy zjawiska odbicia światła, przyjmując założenie, że kluczowa jest odpowiedź na pytanie jaki jest, mający największe znaczenie w kontekście przestrzeni miejskich, wpływ zabudowy na zmniejszenie ilości światła naturalnego. Elementy warunkujące prawidłowe przeprowadzenie analizy to:

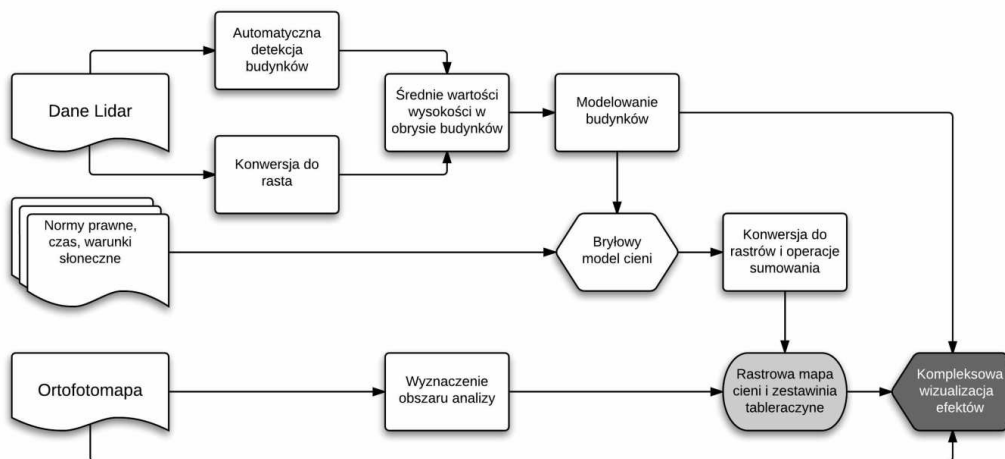
- informacje o obiektach generującym cień, a więc: wysokość, kształt oraz orientacja w formie trójwymiarowej z przypisaną georeferencją,
- wartość kąta padania promieni słonecznych, która zależna jest od położenia geograficznego oraz terminu, dla którego należy przeprowadzić symulację (przedział czasowy, dzień, godzina).

Trójwymiarowe dane o budynkach mogą posiadać różne stopnie szczegółowości w zależności od: skali opracowań, cech obszaru badań, celu analiz. Nawiązując do obowiązujących międzynarodowych standardów poświęconych modelom 3D miast (Gröger i in., 2008) w niniejszym projekcie skorzystano z poziomu szczegółowości LOD1 (ang. *Level of Detail*) – docelowo modele budynków posiadały postać blokową o zgeneralizowanej geometrii i płaskim dachu. Jako źródło danych o obiektach wysokościowych oraz ich położeniu wykorzystano sklasyfikowaną chmurę punktów z lotniczego skaningu laserowego (ALS). Jest to niewątpliwie jedno z najdokładniejszych źródeł informacji o ukształtowaniu terenu i strukturze wysokościowej pokrycia terenu obejmujące praktycznie całą Polskę. Gęstość chmury punktów dla badanego obiektu jest zgodna ze Standardem II dla danych pozyskanych w ramach projektu ISOK i wynosi minimum 12 punktów na metr kwadratowy. Szacowana dokładność wysokościowa wynosi 0,10 metra, zaś określenia położenia szczegółów sytuacyjnych 0,40 metra po wyrównaniu (Kurczyński i in., 2015).

Symulacje przeprowadzono dla czterech, typowych dni roku: równonocy wiosennej i jesiennej (21 marca, 21 września), które obrazują średnie warunki nasłonecznienia oraz dni przesilen (21 czerwca, 21 grudnia), prezentujących wyniki dla maksymalnej i minimalnej wysokości słońca. Przyjęta metodyka wykonywania tego typu analiz dla różnych pór roku jest spójna z innymi badaniami nad dostępem promieniowania słonecznego (Lam, 2000; De-roisy i in., 2013; Andreou, 2014). Takie podejście pozwala na poznanie ogólnego zarysu warunków świetlnych panujących na danym obszarze w ciągu roku. Wybór przedziału godzinowego dostosowano do obowiązujących w Polsce norm prawnych dotyczących minimalnego okresu nasłonecznienia placów zabaw. Jest to jedyny zapis regulujący zagadnienie przesłaniania otwartych terenów publicznych. Przedział godzinowy symulacji obejmował 6 godzin (od 10:00 do 16:00) z interwałem jednonominutowym.

Zasięg budynków pozyskano metodą automatyczną z chmury punktów za pomocą darmowego oprogramowania LAsTools. Warunkiem koniecznym przeprowadzenia tego zadania jest posiadanie prawidłowo sklasyfikowanych danych ze skanowania laserowego. Projekt ISOK zakłada, że błąd klasyfikacji obiektów nie może przekraczać 5%. (Machnik-Kłusek i in., 2015). Wartość uśrednionej wysokości budynków uzyskano tworząc numeryczny model pokrycia terenu z tej samej chmury punktów za pomocą narzędzi ArcToolbox w pakiecie ArcGIS. Tym samym możliwe było stworzenie uproszczonych brył trójwymiarowych dla budynków. Gotowe narzędzia (Sun Shadow Volume) umożliwiają stworzenie trójwymiarowych brył cienia uwzględniających kąt padania promieni słonecznych oraz zdefiniowany przedział czasowy. Uzyskanie wizualizacji obrazującej poziom zacielenia obszaru badań wymagało przetworzenia powstałych brył do postaci dwuwymiarowego rzutu na płaszczy-

znę (Intersect 3D w ArcToolbox). Metodyka analiz opierała się na stworzeniu przejściowych danych rastrowych obszaru badań dla każdej minuty, gdzie przypisana wartość pikseli oznaczała odpowiednio: 1 – wystąpienie cienia lub 0 – brak cienia, co zrealizowano podstawowymi operacjami algebry mapy. Wizualizacje zacienienia dla wybranego przedziału czasowego otrzymano przez sumowanie wartości pikseli powstałych rastrow. Pozwoliło to na uzyskanie obrazów, w których wartości poszczególnych pikseli odpowiadają liczbie minut występowania cienia (rys. 2). Dodatkowo na podstawie kryteriów nasłonecznienia przyjętych w Polsce dla placów zabaw stworzono dwa warianty, które przyjmują za maksymalny okres zacienienia: 2 lub 4 godziny. W ten sposób jednoznacznie wskazano tereny najbardziej niekorzystne pod kątem zacienienia. Dwugodzinna różnica w podanych kryteriach wynika z zapisu, który ustala mniej rygorystyczne wymogi w przypadku lokalizacji placu zabaw, w tzw. zabudowie śródmiejskiej. Stwierdza on, że w dniach 21 marca i 21 września między godziną 10:00 a 16:00 teren placu zabaw powinien być nasłoneczniony przez minimum 2 godziny (dla zabudowy śródmiejskiej) lub 4 godziny (dla pozostałych terenów).

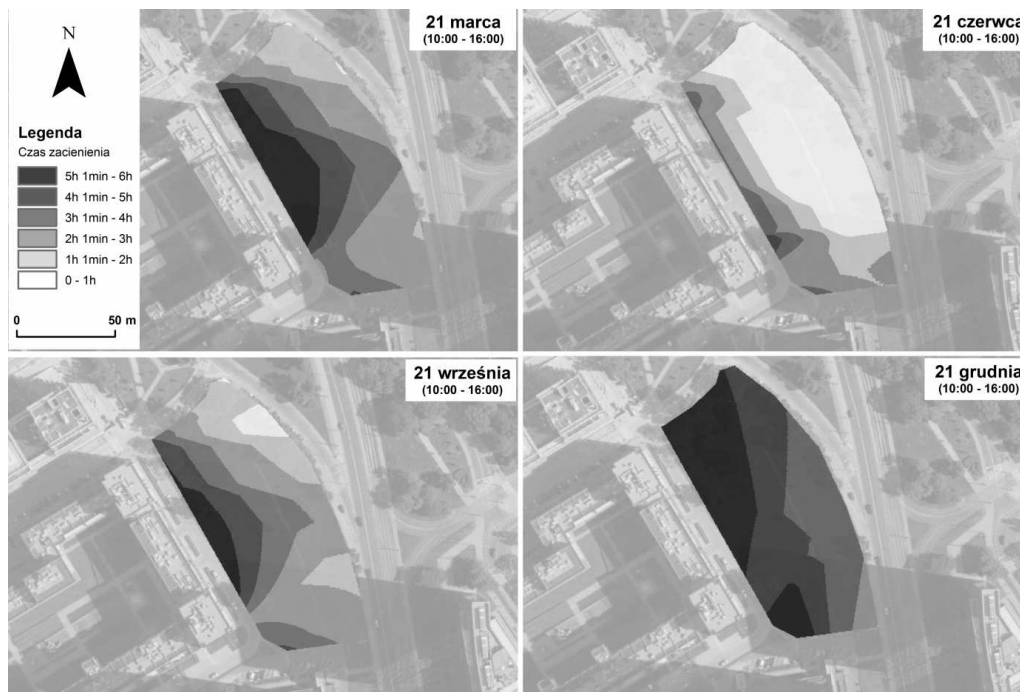


Rysunek 2. Ideowy schemat przeprowadzonej analizy

Wyniki

Efektom końcowym przeprowadzonych analiz są wizualizacje zacienienia przedstawiające rozkład przestrzenny i czasowy cieni na wybranym obszarze (rys. 3). Na ich podstawie dokonano również liczbowych charakterystyk poziomu zacienienia (tab. 2).

W trzech z czterech badanych dni (21 marca, 21 września, 21 grudnia) między godziną 10:00 a 16:00 na całej powierzchni objętej badaniem cień wystąpił przez co najmniej jedną godzinę. Nie ma więc terenu, na którym w tych dniach słońce operuje przez sześć godzin. W dniach równonocy (21 marca, 21 września) ok. 80% jego powierzchni jest zaciemnione przez cztery lub więcej godzin. Najgorsze warunki zarejestrowano dla dnia 21 grudnia, w którym ponad 96% powierzchni zaciemnione jest przez cztery i więcej godzin. Poprawa warunków świetlnych następuje 21 czerwca, bowiem na ponad 56% powierzchni badanego obszaru cień występuje jedynie przez 1 godzinę lub mniej. Natomiast na pozostałej części

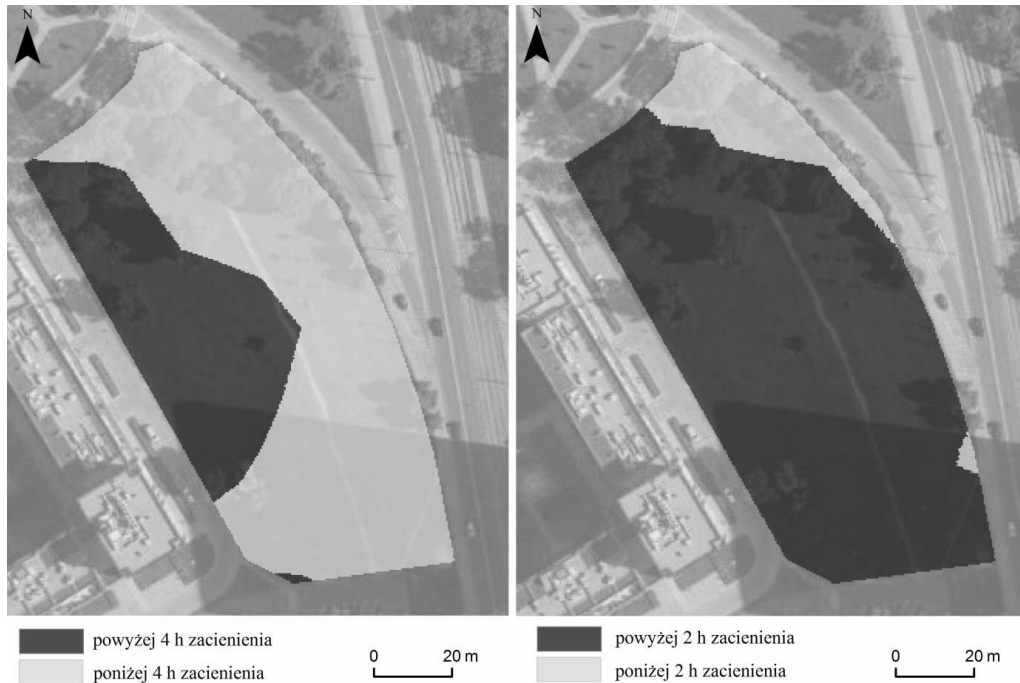


Rysunek 3. Mapy zacielenia w wybranych interwałach czasowych

Tabela 2. Powierzchniowy i procentowy udział obszarów zacielenionych w wybranych terminach równonocy wiosennej i jesiennej oraz dniach przesilen

Czas zacielenia	21 marca		21 czerwca		21 września		21 grudnia		Wartość średnia
	pow. [m ²]	%	pow. [m ²]	%	pow. [m ²]	%	pow. [m ²]	%	
6 h – 5 h 1 min	1418,5	17,4	0,0	0,0	527,8	6,5	2681,5	33,0	14,2
5 h – 4 h 1 min	1252,6	15,4	38,3	0,5	1105,2	13,6	2927,4	36,0	16,4
4 h – 3 h 1 min	2092,1	25,7	409,8	5,0	1689,5	20,8	2256,2	27,7	19,8
3 h – 2 h 1 min	2498,6	30,7	1593,6	19,6	2997,8	36,9	265,9	3,3	22,6
2 h – 1 h 1 min	856,0	10,5	1469,8	18,1	1501,9	18,5	0,6	0,0	11,8
1 h – 0 h	14,4	0,2	4619,9	56,8	309,4	3,8	0,0	0,0	15,2
Suma	8132,1	100,0	8132,1	100,0	8132,1	100,0	8132,1	100,0	100,00

zacielenie waha się w przedziale 1-4 godzin. Rozkład przestrzenny cienia w skrajnych dniach roku jest zróżnicowany. Wyraźnie widać wpływ kąta padania promieni słonecznych na wielkość zacielenia. Przetworzenie danych dla dni równonocy pozwoliło uczynić wyniki analiz (rys. 4) zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury (tab. 1). Zaprezentowane mapy klasyfikują teren w zależności od spełnienia przyjętych kryteriów wskazując miejsca, gdzie można spodziewać się najlepszych warunków nasłonecznienia.



Rysunek. 4. Obszary, na których cień budynków nie występuje przez co najmniej 4 lub 2 godziny

Wnioski i podsumowanie

Zaprezentowane wyniki jednoznacznie wskazują, że zabudowa znacznie ogranicza poziom nasłonecznienia badanego obszaru. Cień generowany przez budynki występuje na niemal całej jego powierzchni przez większość okresów objętych badaniem. Wyjątkiem jest dzień przesilenia letniego, który charakteryzuje się najlepszymi warunkami świetlnymi. Bezpośrednią przyczyną dużego poziomu zacielenia jest lokalizacja w jego sąsiedztwie zabudowy wysokościowej (Intraco, North Gate) oraz jej orientacja. Wyniki analiz uwzględniające przyjęte kryteria czasu zacielenia pozwalają jednoznacznie określić miejsca, w których można spodziewać się najlepszych warunków nasłonecznienia. Ma je teren położony na północy i zajmuje niecałe 11% powierzchni badanego obszaru. Mapa wynikowa staje się tym samym doskonałym załącznikiem dla architekta krajobrazu mogącego dostosować gatunki roślin oraz lokalizację obszarów rekreacyjnych do panujących na tym terenie warunków świetlnych. Przeprowadzona analiza nie jest trudna w realizacji przy obecnie dostępnym oprogramowaniu GIS oraz stosunkowo łatwych do uzyskania danych trójwymiarowych w postaci chmury punktów ze skanowania laserowego. Wydaje się, że tego typu opracowanie może wykonać każdy architekt. Warto pamiętać, że zagęszczenie budynków, szczególnie w atrakcyjnych lokalizacjach miejskich, stale wzrasta. Zwiększa się również wysokość budynków. Czynniki te przyczyniają się do istotnych ograniczeń w tworzeniu przestrzeni rekreacyjnych, na które również rośnie popyt wpływając na atrakcyjność inwestycji budowlanych.

Literatura

- Al-Qeeq F., 2008: Passive Solar Urban Design – Shadow Analysis of Different Urban Canyons. *An-Najah University Journal for Research* vol. 22: 107-140.
- Andreou E., 2014: The effect of urban layout, street geometry and orientation on shading conditions in urban canyons in the Mediterranean. *Renewable Energy* 63: 587-596.
- Capeluto I., 2010: Design Tools for Solar and Daylight Access in Urban Design. SEUS Solar Energy at Urban Scale. Compiègne, France.
- Compagnon R., 2004: Solar and daylight availability in the urban fabric. *Energy and Buildings* vol. 36: 321-328.
- Dapeng L., Gang L., Shengming L., 2015: Solar potential in urban residential buildings. *Solar Energy* vol. 111: 225-235.
- Deroisy B., Deneyer A., 2013: Daylight and solar access at urban scale: a methodology and its application to a high density development in Brussels. CIE Centenary Conference 12-19.04.2013. Paris.
- Gröger G., Kolbe T.H., Czerwiński A., Nagel C., 2008: OpenGIS City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. Open Geospatial Consortium.
- Kurczyński Z., Stojek E., Cisło-Lesicka U., 2015: Zadania GUGiK realizowane w ramach projektu ISOK. Podręcznik dla uczestników szkoleń z wykorzystaniem produktów LIDAR. Główny Urząd Geodezji i Kartografii, Warszawa: 22-56.
- Lam J.C., 2000: Shading effects due to nearby buildings and energy implications. *Energy Conversion & Management* 41(7): 647-659.
- Lin T., Matzarakis A., Hwang R., 2010: Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. *Building and Environment* 45: 213-221.
- Littlefair P., 2001: Daylight, Sunlight and Solar Gain in the Urban Environment. *Solar Energy* 70(3): 177-186.
- Machnik-Kłusek A., Stojek E., Ujczak A., Zugaj-Macinek D., 2015: Kontrola jakości danych referencyjnych. Podręcznik dla uczestników szkoleń z wykorzystaniem produktów LIDAR. Główny Urząd Geodezji i Kartografii, Warszawa: 132-157.
- Morello E., Ratti C., 2009: Sunscapes: 'Solar envelopes' and the analysis of urban DEMs. *Computers, Environment and Urban Systems* vol 33: 26-34.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz.U. 2002 nr 75, poz. 690, ze zmianami.
- Santamouris N., Papanikplau I., Koronakis I., Assimakopoulos D.N., 1999: Thermal and Air Flow Characteristics in a Deep Pedestrian Canyon and Hot Weather Conditions. *Atmospheric Environment* 33: 4530-4521.
- Shishegar N., 2013: Street Design and Urban Microclimate: Analyzing the Effects of Street Geometry and Orientation on Airflow and Solar Access in Urban Canyons. *Journal of Clean Energy Technologies* vol. 1(1): 52-56.
- Witkowska A., 2012: Określenie zacielenia zabudowy jednorodzinnej na podstawie danych z lotniczego skaningu laserowego. *Roczniki Geomatyki* t. 10, z. 4(54): 157-164, PTIP, Warszawa.
- Witkowska A., Bielecka E., 2014: Wykorzystanie danych z lotniczego skaningu laserowego do analizy nachylenia i ekspozycji dachów w celu montażu kolektorów słonecznych. *Biuletyn WAT* vol. LXIII, 2: 103-115.

Streszczenie

Światło i promieniowanie słoneczne są czynnikami, które od dawna wywierały znaczny wpływ na proces projektowania środowiska życia człowieka. Zapewnienie prawidłowego oświetlenia przestrzeni otwartych i wewnątrz mieszkalnych wymaga uwzględnienia zjawiska zacielenia. Szczególnie ważne okazuje się to na terenach zurbanizowanych, gdzie gęsta zabudowa ogranicza w znacznym stopniu dostęp do światła słonecznego. Wykorzystując komputerowe narzędzia do symulacji można jednak przewidzieć miejsce i czas wystąpienia cienia. W niniejszej pracy zaprezentowano metodę modelowania zjawiska zacielenia przy wykorzystaniu danych z lotniczego skaningu laserowego oraz narzędzi GIS. Zastosowano proste narzędzia do modelowania budynków w oparciu o sklasyfikowaną chmurę

punktów oraz numeryczny model pokrycia terenu. Dedykowana aplikacja programu ArcGIS o nazwie *Sun Shadow Volume*, pozwoliła na budowę bryłowego modelu zacielenia. Umożliwiło to ocenę wpływu zabudowy na ograniczenie dostępu do światła słonecznego na wybranym obszarze badawczym w Warszawie, co przedstawiono za pomocą mapy (rys. 4) i zestawienia tabelarycznego (tab. 2). Dla badanego terenu stwierdzono, że jedynie 11% jego powierzchni spełnia warunki optymalnego nasłonecznienia. Wyniki mogą pomóc w reorganizacji sposobu zagospodarowania i wykorzystania terenu przez mieszkańców okolicznych wieżowców.

Abstract

*Light and solar radiation are the factors which have a big impact on the design process of the human environment. Providing proper lighting for open spaces and households requires considering phenomenon of shading. It is particularly important in urban areas, where the high density of housing limits access to sunlight. Nowadays the man can predict place and time of the shadow by using computer tools. This paper presents a shadow modelling method by using data Airborne Laser Scanning data and GIS tools. Simple three dimensions modelling tools were used in order to create virtual buildings models. It was achieved by means of classification of a lidar point cloud and the result of point interpolation expressed by the digital surface model (DSM). A special ArcGIS software application called *Sun Shadow Volume* was used in order to generate the shadow solid model. The effect of the analysis was the assessment of the impact of buildings on the limiting access to sunlight in selected green sites in Warsaw what was presented in graphical and tabular forms (Fig. 4, Tab. 2). Calculations show that only 11% of the total area meets the requirements of the optimal solar illumination. The results may help to reorganize the land use and land management ways of the analysed areas.*

dr inż. Michał Brach
michal.brach@wl.sggw.pl

