

WYKORZYSTANIE TECHNIKI FOTOMETRYCZNEJ DO JAKOŚCIOWEJ ANALIZY ŚWIATŁA ODBITEGO NA ZADANEJ POWIERZCHNI

Dominika KNERA*, Dariusz HEIM*, Marcin GÓRKO**

* Politechnika Łódzka, Katedra Inżynierii Środowiska
ul. Wólczańska 213, 90-924 Łódź, e-mail: dominika.knera@p.lodz.pl; dariusz.heim@p.lodz.pl
** Politechnika Łódzka, Katedra Geodezji, Kartografii Środowiska i Geometrii Wykreślnej
al. Politechniki 6, 90-924 Łódź, e-mail: marcin.gorko@poczta.onet.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono metodę analizy obrazu w celu jakościowej oceny promieniowania odbitego od elementów otaczającej zabudowy. Omówiono teoretyczne podstawy dystrybucji światła dziennego i podstawy techniki fotometrycznej. Zaproponowano metodę oceny dokonanej na podstawie zdjęć wykonanych z użyciem wybranych filtrów wraz geometrycznym podziałem obrazu. Problem zilustrowano na przykładzie wybranych układów zabudowy analizując wpływ otoczenia na ilość i barwę światła docierającego do płaszczyzn skierowanych odpowiednio na wschód oraz zachód. Dzięki zaproponowanej technice możliwe jest określenie udziału poszczególnych składowych promieniowania widzialnego w pasmach RGB.

Słowa kluczowe: światło, widmo, otoczenie, kolorystyka, fotometria.

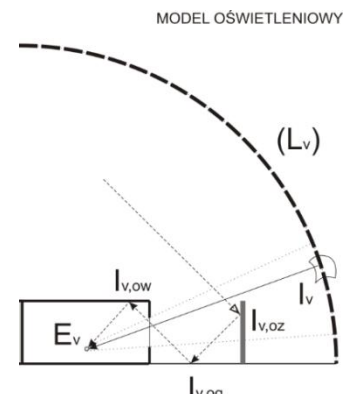
1. WPROWADZENIE

W większości przypadków ilościowa ocena promieniowania słonecznego docierającego do zadanej powierzchni sprowadza się do wyznaczenia wartości natężenia napromieniowania [W/m^2]. W analizach oświetleniowych czyli w zakresie promieniowania widzialnego jest ona zastępowana natężeniem oświetlenia [lx]. Dla każdej powierzchni, o kącie nachylenia innym niż 0° do poziomu, na całkowitą ilość docierającej energii mają wpływ składowe: bezpośrednia, rozproszona oraz odbita. Udział składowej odbitej w bilansie całkowitym istotny jest szczególnie w przypadku powierzchni o znacznym kącie nachylenia np. powierzchni pionowej. Parametry optyczne, barwa oraz usytuowanie powierzchni otaczających mogą w sposób istotny determinować ilość i jakość światła docierającego do zadanej powierzchni. Ustalenie tych wartości jest niezbędne z uwagi na rzeczywiste odzwierciedlenie warunków otoczenia służącego do opisu

warunków brzegowych np. dla potrzeb symulacji energetycznych budynków i systemów. W większości narzędzi obliczeniowych, zewnętrzna dystrybucja promieniowania widzialnego wyznaczana jest w sposób uproszczony pomijając szczegółowy kontekst urbanistyczny. W bardziej zaawansowanych modelach uwzględnia się otaczającą zabudowę jednak dystrybucja promieniowania słonecznego nie uwzględnia spektralnego charakteru światła odbitego [1,2]. Celem niniejszej pracy jest określenie dystrybucji światła odbitego w otoczeniu budynków wraz z techniką analizy widmowego charakteru promieniowania.

2. DYSTRYBUCJA PROMIENIOWANIA WIDZIALNEGO

Dla każdej powierzchni nachylonej do poziomu pod dowolnym kątem, innym niż 0° , występują trzy składowe docierającego promieniowania bezpośrednia, rozproszona i odbita.



Rys. 1. Składowe promieniowania widzialnego.
Fig. 1. Components of visual radiation.

W analizach oświetleniowych warunki brzegowe określone są poprzez warunki luminancji nieboskłonu [3]. Budynek i jego wnętrze traktowany jest jako element „sceny” poddawany oddziaływaniu strumienia świetlnego docierającego z różnych kierunków. Natężenie oświetlenia E_v wyznaczone w dowolnym punkcie tej przestrzeni jest więc funkcją luminancji L_v . Wszelkie elementy otoczenia takie jak sąsiednie budynki, drzewa, itp. będą stanowiły zarówno elementy zacieniające, jak i będące źródłem promieniowania odbitego $I_{v,oz}$, pod warunkiem, że znajdują się w obszarze oddziaływania poszczególnych elementów otoczenia. Podobnie traktowana jest składowa odbiciowa od powierzchni gruntu $I_{v,og}$. Odbicie od poszczególnych powierzchni może mieć charakter kierunkowy, kierunkowo-dyfuzyjny bądź dyfuzyjny. Wielkość składowej odbitej jest zależna od refleksyjności danej powierzchni, zaś jej składowe RGB zależą od barwy powierzchni odbijających.

3. BARWA OBIEKTU

Promieniowanie elektromagnetyczne docierające do obiektu wykonanego z warstw nieprzepuszczalnych może ulec absorpcji lub odbiciu. Część światła widzialnego, która uległa odbiciu, dociera do oka obserwatora i wywołuje wrażenie barwy. Ilościową charakterystyką barw zajmuje się kolorymetria fizyczna. Barwa powierzchni obiektu może być opisana za pomocą trzech cech psychofizycznych: odcienia, jasności i nasycenia [4]. Odcień barwy jest związany z długością dominującej fali promieniowania docierającego do oka obserwatora. Odcień barwy zmienia się wraz z długością fali zgodnie z widmem światła białego. Kolejna cecha, jasność barwy, odnosi się do oceny ilości światła odbijanego przez powierzchnię analizowaną względem obiektów otaczających. Nasycenie barwy to udział barwy chromatycznie czystej w mieszaninie z barwą achromatyczną (biały, czarny lub szary) i decyduje o czystości barwy.

W oku obserwatora następuje addytywne mieszanie barw, czyli mieszanie różnych długości fali promieniowania elektromagnetycznego. W wyniku addytywnego zmieszania dowolnych dwóch barw widmowych powstaje wrażenie barwy występującej w widmie lub barwy purpurowej.

Z drugiej strony, na skutek przepuszczenia światła białego przez filtry pochłaniające, również uzyskujemy wrażenie barwy o określonych cechach. Opisane zjawisko nazywane jest subtraktywnym mieszanym barw.

Wpływ na powstanie wrażenia barwy oprócz właściwości samego obserwatora ma również rozkład widmowy promieniowania widzialnego oświetlającego obserwowany obiekt. Inne wrażenie barwy przedmiotu będzie dla światła dziennego inne zaś dla światła sztucznego. Kolejnym i bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na wrażenie barwy jest charakterystyka powierzchni przedmiotu

zdefiniowana poprzez parametry takie jak widmowy współczynnik odbicia strumienia świetlnego.

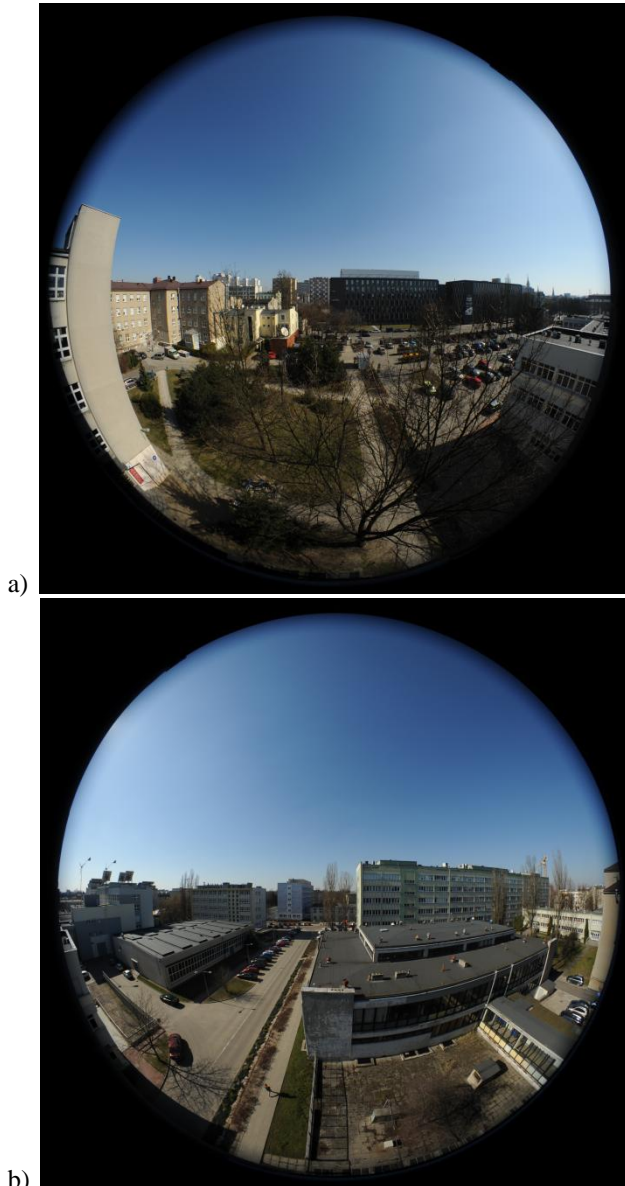
Do odwzorowania przestrzeni barw stosowane są różne modele barw: RGB, CMYK, Lab czy HSV [5]. Każdy kolor w podanych modelach jest definiowany, jako wartość liczbowa, co ułatwia interpretowanie, przekazywanie i odczyt obrazu przez kolejne urządzenia. Najbardziej popularny, model RGB, wykorzystuje zasadę addytywnego mieszania barw podstawowych: czerwonej (ang. *red*), zielonej (ang. *green*) i niebieskiej (ang. *blue*). Model RGB ma szerokie zastosowanie w technologii cyfrowej, jest wykorzystywany w aparatach cyfrowych, telewizorach czy monitorach komputerowych. Kolejnym, ogólnie stosowanym modelem jest model CMYK, który wykorzystuje subtraktywne mieszanie czterech barw: niebieskozielonej (ang. *Cyan*), fukcji (ang. *Magenta*), żółtej (ang. *Yellow*) i czarnej (ang. *back* lub *Key colour*). Model CMYK jest powszechnie wykorzystywany w technologiach drukarskich. Model HSL jest oparty na wspomnianych wcześniej cechach barwy: odcieniu (ang. *Hue*), nasyceniu (ang. *Saturation*) i jasności (ang. *Lightness*). Ostatni, model Lab opracowany przez Międzynarodową Komisję ds. Oświetlenia (CIE) opiera się na sposobie postrzegania barw przez ludzkie oko.

4. PÓLPRZESTRZEŃ ODDZIAŁYWANIA

W przypadku, gdy analiza własności fotometrycznych sfery niebieskiej odnosi się do pionowej fasady/elewacji, oddziaływanie składowych promieniowania następuje zaledwie z jednej czwartej całej sfery (połowy pół sfery niebieskiej), ograniczonej prostopadłymi do siebie płaszczyznami horyzontu i płaszczyzną ściany. Uwzględnienie światła odbitego od pobliskiego otoczenia, dodatkowo wymaga uwzględnienia własności obiektów znajdujących się poniżej linii horyzontu. Wówczas analiza dotyczyć musi całej półprzestrzeni znajdującej się po zewnętrznej ścianie fasady ograniczonej nieboskładem oraz płaszczyzną podstawy, prostopadłą do analizowanej ściany. Wpływ światła odbitego szczególnie istotny będzie w przypadkach obiektów wysokich, dla fragmentów fasady położonych na znacznej wysokości nad poziomem terenu. Szczególnie istotne będzie to w obszarach silnie zurbanizowanych, gdzie spodziewać się można znacznego udziału światła odbitego od pobliskich budynków.

Wszelka analiza rozkładu wielkości fotometrycznych możliwa jest na podstawie odpowiednio zorientowanych zdjęć, wykonanych obiektywami „rybie oko” typu kołowego. Obiektywy takie – dysponując kątem widzenia 180° - umożliwiają odwzorowanie na jednym zdjęciu całej półprzestrzeni znajdującej się przed fasadą budynku. Odpowiednia orientacja polega na skierowaniu osi obiektywu dokładnie poziomo i prostopadle do płaszczyzny fasady. Gwarantuje to, że:

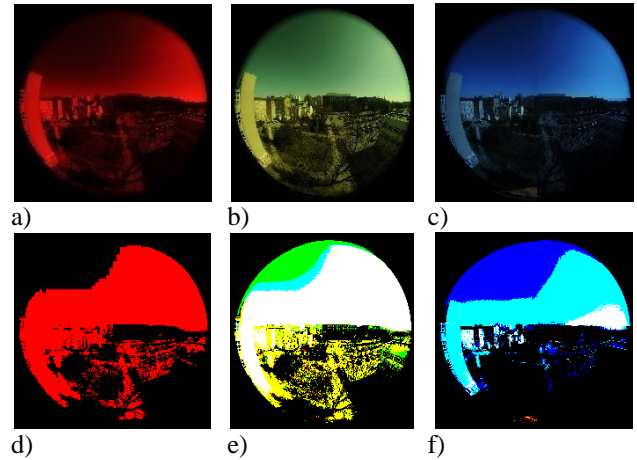
- pozioma średnica zdjęcia będzie tożsama z horyzontem dla miejsca obserwacji.
 - najwyższy punkt zdjęcia będzie zenitem sfery niebieskiej.
- Jeśli dodatkowo obiektyw charakteryzuje się odwzorowaniem równokątnym (równym odległościom kątowym odpowiadać będą równej długości odcinki na obrazie), odpowiednio zorientowane zdjęcie umożliwi bardzo łatwe i jednocześnie precyzyjne określenie wielkości kątowych w stosunku do płaszczyzn horyzontu i fasady (rys. 2).



Rys. 2. Zdjęcia z elewacji a) wschodniej, b) zachodniej.
Fig. 2. Photos from the a) eastern, b) western elevation.

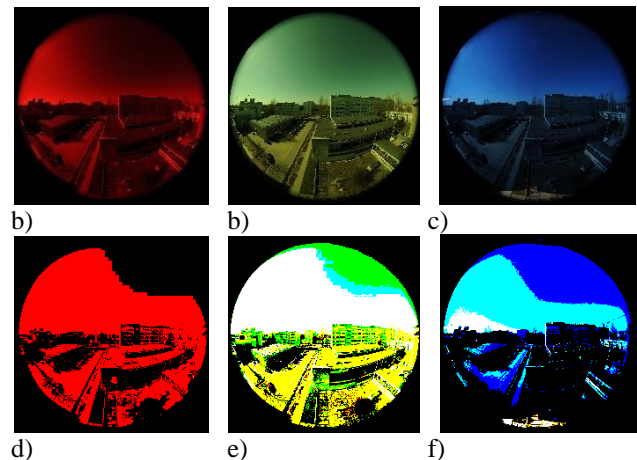
Inną metodą pozyskania takich obrazów jest tworzenie panoram sferycznych, łączonych z serii zdjęć wykonanych

zwykłymi obiektywami szerokokątnymi. Wadą tej metody jest jej czasochłonność, przez co nie nadaje się ona ani do automatycznego monitorowania obrazu przestrzeni przed fasadą, ani do rejestracji obrazu podczas szybko zmieniających się warunków meteorologicznych (np. szybko poruszające się chmury).



Rys. 3. Zdjęcia z elewacji wschodniej z użyciem filtra a) czerwonego, b) zielonego, c) niebieskiego, wraz z korektą jasności i kontrastu obrazu (d-f).

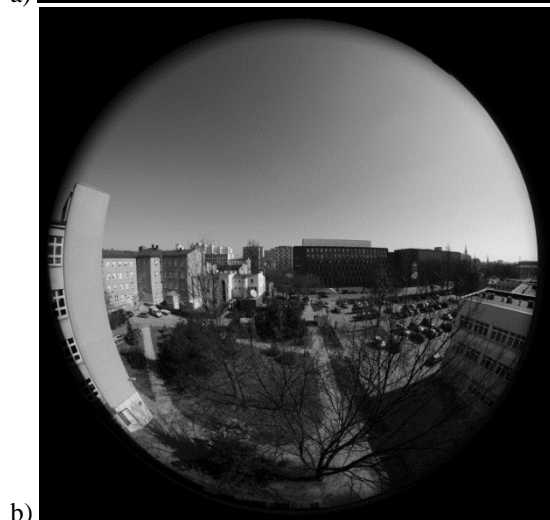
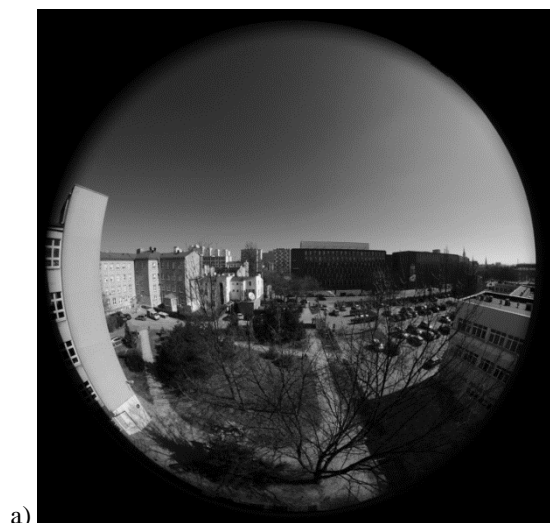
Fig. 3. Photos from the eastern elevation with a) red, b) green, c) blue photographic filter and image correction, brightness and contrast (d-f).



Rys. 4. Zdjęcia z elewacji zachodniej z użyciem filtra a) czerwonego, b) zielonego, c) niebieskiego, wraz z korektą jasności i kontrastu obrazu (d-f).

Fig. 4. Photos from the western elevation with a) red, b) green, c) blue photographic filter and image correction, brightness and contrast (d-f).

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono zdjęcia z obu elewacji wykonane przy użyciu filtrów barwnych w formie rzeczywistej oraz z opcją graficznej korekty obrazu (kontrast 100%, jasność 50%).



Rys. 5. Zdjęcia z elewacji wschodniej przekształcone na kanały a) czerwony, b) zielony, c) niebieski.
Fig. 5. Photos from the eastern elevation converted to a) red b) green c) blue channel.



Rys. 6. Zdjęcia z elewacji zachodniej przekształcone na kanały a) czerwony, b) zielony, c) niebieski.
Fig. 6. Photos from the western elevation converted to a) red b) green c) blue channel.

5. ANALIZA JAKOŚCIOWA OBRAZU

5.1. Podział na kanały RGB

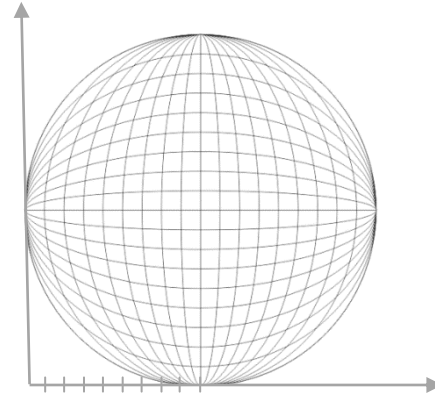
Światło słoneczne ma charakter widma ciągłego, którego barwa określana jest jako biała. Kolor tego światła, a więc udział w nim składowych światła czerwonego, zielonego i niebieskiego, nie jest stały i zależy głównie od wysokości Słońca nad horyzontem, ale także od lokalnych właściwości atmosfery, takich jak jej zapylenie, zamglenie, wilgotność czy temperatura. Z kolei kolorystyka światła odbitego zależy przede wszystkim od własności powierzchni odbijającej. Dokonanie analizy pod kątem koloru docierającego światła, wymaga rozłożenia światła białego na poszczególne składowe: czerwień, zielen i niebieski. Niektóre obiektywy typu „rybie oko” oferowane były z wbudowanymi filtrami barwnymi, co znacznie ułatwia wykonanie zdjęć w poszczególnych barwach. Problemem jest jedynie filtr niebieski, nie oferowany w tych konstrukcjach. Autorzy poradzi sobie, wykonując cztery zdjęcia z zewnętrznym filtrem umieszczonym przed obiektywem, a następnie tworząc mozaikę z czterech przefiltrowanych ćwiartek (rys. 3 i 4).

Lepszym i bardziej uniwersalnym rozwiązaniem, dającym się stosować z każdym obiektywem, wydaje się być rozłożenie zdjęcia barwnego na kanały R/G/B za pomocą jednego z programów do obróbki plików graficznych. Metoda ta jest także szybsza i bardziej precyzyjna, bo wymaga wykonania tylko jednego zdjęcia, przez co pracuje się na obrazie zarejestrowanym w jednej chwili czasowej. Analiza jakościowa i ilościowa światła docierającego do elewacji może być wykonana na podstawie zdjęć R/G/B przekonwertowanych do skali szarości. Wymagana jest tu poprawna ekspozycja poszczególnych zdjęć, tak by zawierały one szczegóły w najjaśniejszych i najciemniejszych partiach obrazu.

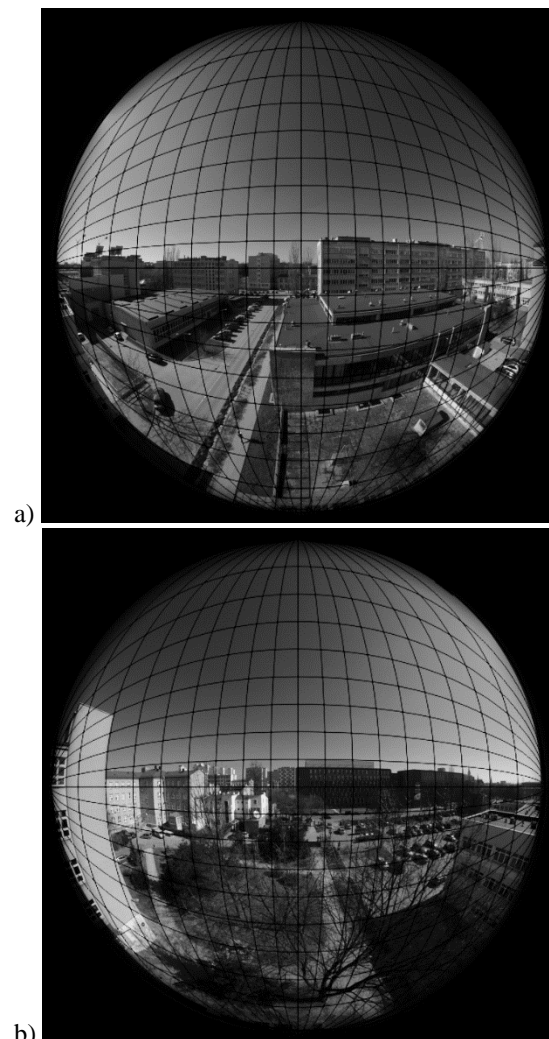
Na rysunkach 5 i 6 zamieszczono przykładowe obrazy przekształcone na wybrane 3 kanały barw. Różnice wartości strumienia docierającego promieniowania dla trzech zakresów długości fali najlepiej widoczne są na obszarze nieboskłonu, którego różnica jasności na zdjęciu w skali szarości wynika z różnej wartości energii promieniowania widzialnego.

5.2. Podział na podobszary

Dodatkowo na obrazy przetransformowane na kanały RGB nałożono siatkę zbudowaną z linii w odstępach równych 10° kątowych (rys. 7). Taki podział na podobszary pozwala określić wielkość strefy oddziaływania promieniowania o znanej charakterystyce spektralnej a także osłabienie poszczególnych zakresów światła widzialnego. Wprowadzenie podziału na elementy czworoboczne pozwala również na uśrednienie wartości dla poszczególnych obszarów.



Rys. 7. Siatka podziału na podobszary.
Fig. 7. Grid of sub-region division.



Rys. 8. Zdjęcie z elewacji a) wschodniej, b) zachodniej przekształcone na kanał czerwony wraz z nałożoną siatką.
Fig. 8. Photo of the a) eastern, b) western elevation converted to the red channel with a grid.

APPLICATION OF PHOTOMETRIC TECHNIQUES FOR QUALITATIVE ASSESSMENT OF REFLECTED LIGHT ON ASSUMED SURFACE

Summary: A photometric technique was developed and discussed to determine daylight distribution and its interaction with complex urban environments. The proposed method allows to estimate visual irradiance in 3 main color channels RGB reaching the surface of consideration. Registered values of irradiance can be averaged for selected areas of images to show effects on the assumed surface with different angles of occurrence. Based on this data the effect of surrounding objects, natural or otherwise, are given on to better represent microclimate effects.

Literatura

- [1] Compagnon R., Solar and daylight availability in the urban fabric, *Energy and Buildings*, 36 (2004) 321–328.
- [2] Dogan T., Reinhart C., Michalatos P., Urban daylight simulation calculating the daylit area of urban designs, Fifth National Conference of IBPSA-USA, 2012.
- [3] Larson G. W., Shakespeare R.: *Rendering with Radiance – The Art and Science of Lighting Visualization*, Morgan Kaufman Publishers Inc., San Francisco California 1998.
- [4] Mielicki J., *Zarys wiadomości o barwie*, Fundacja Rozwoju Polskiej Kolorystyki, Łódź, 1997.
- [5] Szczepańska E., Konca P., Heim D.: *Pomiary wielkości fotometrycznych dla powierzchni o zadanej barwie*, *Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce*, tom III, 113-118, Łódź 2008.

Niniejsza praca została częściowo sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu pt.: „Promowanie zrównoważonego podejścia do efektywności energetycznej w budownictwie jako narzędzia ochrony klimatu w miastach Niemiec i Polski: opracowanie technologii fasady dla potrzeb budynków o zerowej emisji” (GPPE).