

OKREŚLENIE JASNOŚCI TRZECH PODSTAWOWYCH RODZAJÓW NIEBOSKŁONÓW - TECHNIKA HDR VS. TECHNIKA TONOROZDZIELCZA

Marcin GÓRKO*, Dariusz HEIM**, Eliza SZCZEPAŃSKA**

* Politechnika Łódzka, Katedra Geodezji, Kartografii Środowiska i Geometrii Wykreślnej
Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź, e-mail: marcingorko@poczta.onet.pl

** Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych
Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź, e-mails: dariusz.heim@p.lodz.pl, eliza.szczepanska@p.lodz.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono dwa sposoby interpretacji cyfrowych obrazów jasności nieboskłonów. Na podstawie obrazów o szerokim zakresie tonalnym HDR, bezpośrednio określono rozkład luminancji zgodny z jasnością poszczególnych obszarów obrazu. Wyniki porównano z analizą pojedynczego zdjęcia przekształconego do obrazu izohelii o zadanej liczbie stopni szarości. Przeanalizowano trzy przypadki nieboskłonów: bezchmurzonego oraz częściowo i całkowicie zachmurzonego. Obrazy nieboskłonów uzyskano techniką fotografii cyfrowej w mieście Łodzi dla wybranych dni marca 2011. Kalibrację urządzeń oraz weryfikację pomiarów uzyskano poprzez bezpośredni pomiar luminancji za pomocą miernika LS-100 firmy Konica-Minolta. Mierzono luminancję zenitu oraz wybranych fragmentów obrazu o różnym stopniu szarości.

Słowa kluczowe: fotogrametria, HDR, izohelia, luminancja, nieboskłon.

1. WPROWADZENIE

Próby opisu luminancji półsfery niebieskiej stanowią tematykę prac badawczych w wielu krajach. Dotychczasowe opracowywania bazowały na danych pomiarowych uzyskiwanych za pomocą skanerów nieboskłonów. Podsumowanie istniejącego stanu wiedzy w tej dziedzinie zostało dokonane w rozdziale 3 monografii [1]. Do najważniejszych prac teoretycznych należą opracowania Kittlera i Daruli [2,3], Pereza [3,4] oraz Tragenzy [5]. Prace te stanowiły podstawę opracowania przez Międzynarodową Komisję Oświetleniową CIE znormalizowanych modeli nieboskłonów [6] określających warunki brzegowe dla potrzeb analiz numerycznych oświetlenia.

W licznych pracach naukowych precyzja przyjętych modeli nieboskłonów była wielokrotnie poddawana pod wątpliwość, co stało się przyczynkiem do dalszych badań. Jednocześnie w wielu pracach zwraca się uwagę na istotny

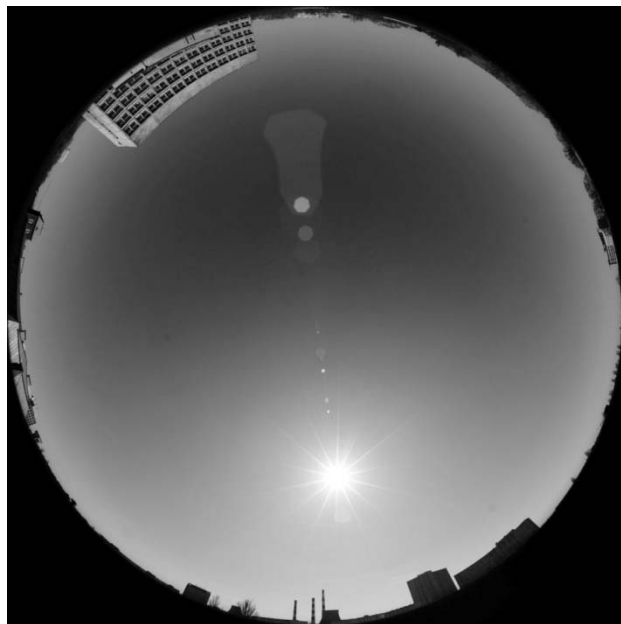
wpływ uwarunkowań lokalnych na otrzymywane rozkłady luminancji nieboskłonów [1]. Zauważalny w ostatnim okresie szybki rozwój cyfrowej techniki zapisu obrazów pozwala na podjęcie próby opracowania nowoczesnych i precyzyjnych metod pomiarowych co jest celem projektu realizowanego przez zespół autorów niniejszego opracowania. Prezentowane wyniki są jednymi z pierwszych uzyskanych za pomocą stworzonego do tego celu stanowiska badawczego. Wcześniejsze rozważania o charakterze teoretycznym oraz wyniki pierwszych prób badań zamieszczano m.in. w pracach [7,8].

2. WYNIKI POMIARÓW

W celu otrzymania potrzebnego zestawu obrazów wykonano serię zdjęć cyfrowych oraz pomiarów luminancji. Zdjęcia wykonywano dwoma zestawami aparatów cyfrowych wyposażonych w obiektywy szerokokątne o kącie widzenia 180°.

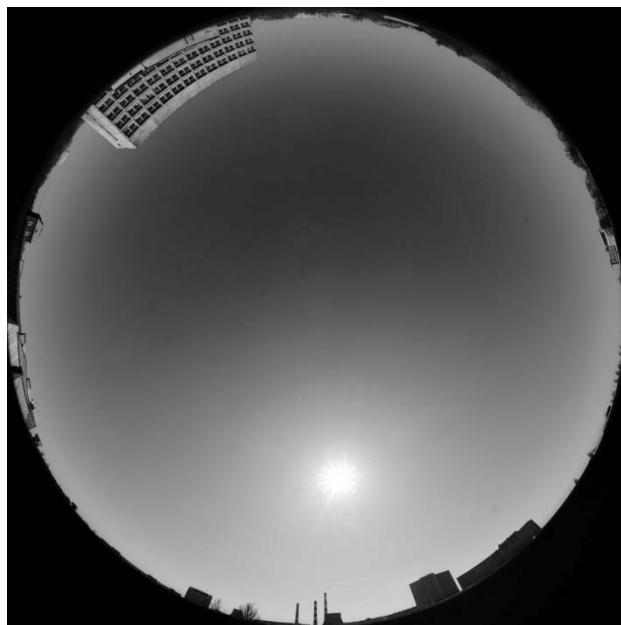
Zdjęcie zamieszczone na rysunku 1, to przykład fotografii sfery niebieskiej wykonanej aparatem Nikon D3 zaopatrzonym w obiektyw Fisheye-Nikkor 8mm f/2,8. Obiektyw ten całą półprzestrzeń odwzorowuje w postaci koła o średnicy 23 mm. Dzięki projekcji równokątnej, zdjęcia takie umożliwiają szybkie i zarazem dokładne odczytanie wybranych współrzędnych kątowych dla każdego punktu obrazu. Wadą zdjęcia jest seria odbłasków pochodzących od Słońca widocznego w kadrze – odbłaski będąc znacznie jaśniejsze od otaczającego je nieba, fałszowałyby wyniki pomiarów. Podobny wpływ mają „promyki” rozchodzące się do przeeksponowanego obrazu Słońca – jest to efekt dyfrakcji światła na segmentach przysłony obiektywu. Zdjęcie poddano korekcie w celu usunięcia obu defektów – co przedstawiono

na rysunku 2. Następnie wykonano jego czarno-białą kopię, na podstawie której została wykonana izohelia.



Rys. 1. Obraz sfery niebieskiej otrzymany aparatem Nikon D3 z obiektywem Fisheye-Nikkor 8mm f/2,8.

Fig. 1. Image of the sky obtained with camera Nikon D3 equipped with lens Fisheye-Nikkor 8mm f/2,8.



Rys. 2. Obraz sfery niebieskiej po korekcie.

Fig. 2. Image of the sky after correction.

Izohelie – szczególnie w technice cyfrowej – można wykonywać również dla zdjęć kolorowych, ale opcja czarno-biała lepiej nadaje się do analizy jasności. Wynika to z fak-

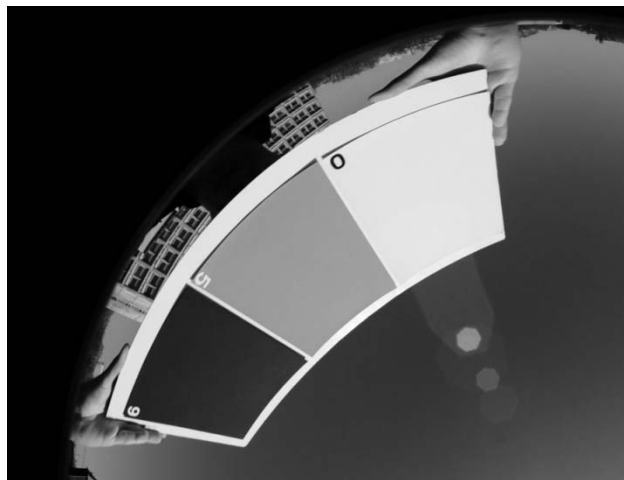
tu, że jasności w izohelii skalowane są na podstawie szarości o znanej luminancji.



Rys. 3. Czarno - biała wersja zdjęcia pokazanego na rysunku 2.

Fig. 3. Black & white version of the image from figure 2.

W celu wykonania izohelii dla konkretnych wartości luminancji należało dodatkowo wykonać drugie zdjęcie, na którym widoczne było kilka odcieni szarości. Zdjęcie to wykonano z taką samą ekspozycją jak to, na podstawie którego stworzona została izohelia i przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Fragment sfery niebieskiej wraz z trzema stopniami szarości.

Fig. 4. Part of the sky with three degree of greyness.

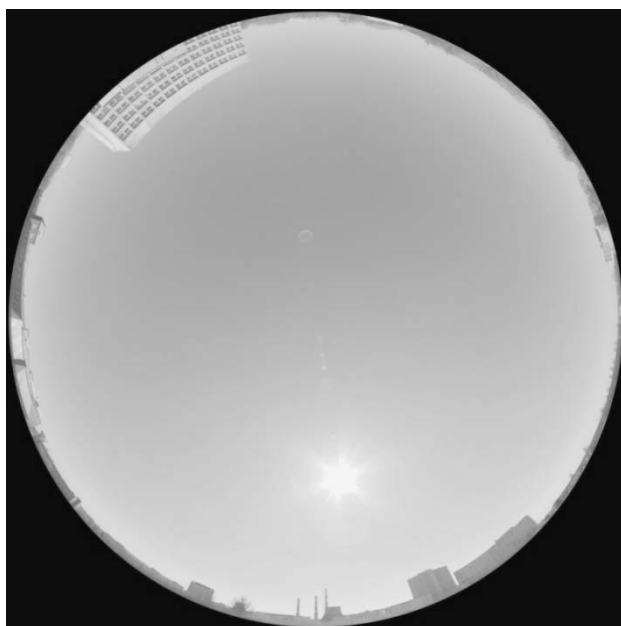
Dla poszczególnych fragmentów o różnym stopniu szarości dokonano pomiaru luminancji przy użyciu miernika LS-

100, firmy Konica-Minolta. Wyniki pomiarów zestawiono w tablicy 1.

Tabela 1. Luminancja poszczególnych szarości z rysunku 3
Table 1. Luminance of selected greyness from figure 3.

Pomiar	Luminancja [cd/m ²]		
	Szarość „9”	Szarość „5”	Szarość „0”
I seria	1123	6386	20740
II seria	1055	6138	19520
III seria	1115	6334	19110
Średnia z serii I i II	1089	6262	20130

Serię zdjęć dla potrzeb stworzenia obrazu HDR wykonano równolegle drugim zestawem składającym się z aparatu NikonD80 wraz z obiektywem Sigma Fish-eye 4,5mm f/2,8. Efekt końcowy zamieszczono na rysunku 5. Obraz nie został poddany dodatkowej obróbce mającej na celu korektę powstałych odbłasków. Jednocześnie dokonano pomiaru luminancji zenitu, która chwili wykonywania zdjęcia wynosiła 2800 cd/m². Na podstawie jasności obrazu HDR oraz uwzględniając współczynnik korekcyjny ustalony na podstawie pomiaru jasności zenitu opracowano mapę rozkładu luminancji na całej sferze niebieskiej.



Rys. 5. Obraz HDR otrzymany z serii zdjęć.
Fig. 5. HDR image based on the series of photography.

3. ISOHELIE DLA TRZECH RODZAJÓW NIEBOSKŁONU

W pierwszej kolejności do analizy wielkości oraz rozkładu luminancji na sferze niebieskiej zastosowano technikę izohelii. Jest to technika tonorozdzielcza, która – jak sama

nazwa wskazuje – składa się obszarów o równej jasności. Technika ta stworzona została w roku 1931 przez Witolda Romera i w tradycyjnej fotografii używana jest jako artystyczny środek wyrazu. Obecnie, w dobie fotografii cyfrowej, może ona z powodzeniem być wykorzystana do wszelkich zastosowań, w których istotną rolę odgrywa ilościowa i jakościowa analiza rozkładu jasności.

Izohelie na potrzeby analizy luminancji nieboskłonu tworzone są w programie graficznym, na podstawie czarno-białych zdjęć wykonanych obiektywem typu rybie oko.

3.1. Założenia ogólne

Dla wartości średnich wyznaczonych w tabeli 1, za pomocą programu graficznego odczytano odpowiednie wartości jasności, które wynosiły:

Tabela 2. Jasności obrazu ustalone na podstawie luminancji
Table 2. Brightness of the picture based on luminance

Luminancja średnia	1 089	6 262	20 130
Jasność obrazu	42	154	227

Dane z powyższej tabeli są podstawą do znalezienia zależności opisującej jasność obrazu w funkcji luminancji. W rozważanym przykładzie otrzymano funkcję w postaci:

$$j = 63,47 * \ln L - 401,57 \quad (1)$$

gdzie: j - jasność punktów obrazu
L - luminancja

Gdy znany jest związek jasności z luminancją, możliwe jest odszukanie na zdjęciu punktu o najmniejszej luminancji – w tym wypadku jest to punkt o jasności 50, co odpowiada luminancji 1230 cd/m². Możliwe jest także utworzenie dowolnych izohelii. Pierwsza z przedstawionych zawiera sześć stref jasności, wynoszących odpowiednio:

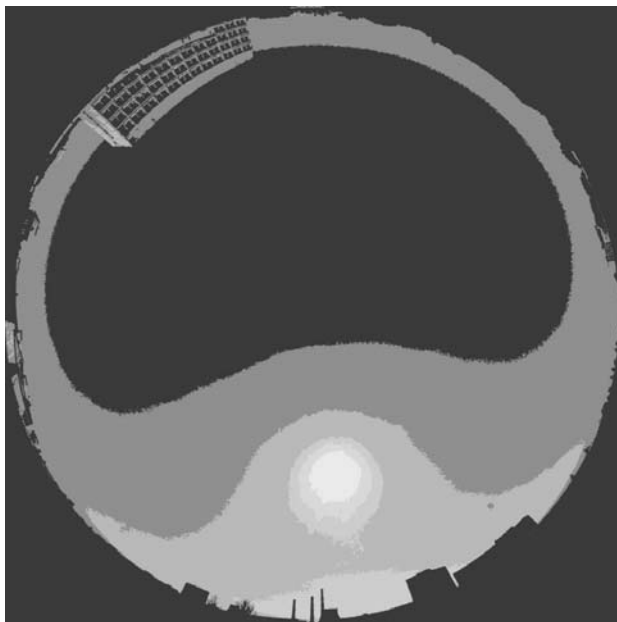
- 0 ÷ 4000 cd/m²
- 4000 ÷ 8000 cd/m²
- 8000 ÷ 12000 cd/m²
- 12000 ÷ 16000 cd/m²
- 16000 ÷ 20000 cd/m²
- powyżej 20000 cd/m²

Jasność poszczególnych stref została przyjęta jako średnia jasność odpowiadająca skrajnym wartościom luminancji.

3.2. Izohelia dla nieboskłonu bezchmurnego

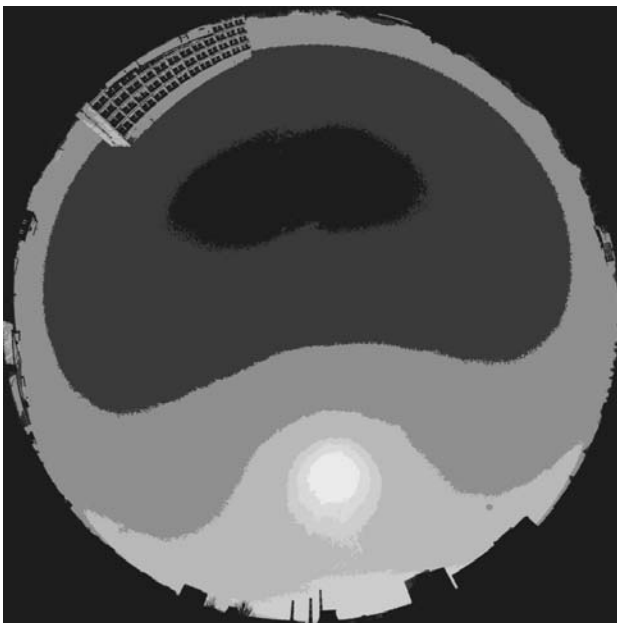
Pierwszą izohelię dla nieboskłonu bezchmurnego wykonano jako sześciu – strefową. W izohelii tej zwraca uwagę duża powierzchnia najciemniejszej strefy, zajmująca w przybliżeniu połowę sfery niebieskiej oraz silna koncentracja najjaśniejszych stref wokół obrazu Słońca, rys. 6. Dlatego w kolejnej izohelii (rys. 7) rozdzielono pierwszą strefę na dwie, o zakresach luminancji 0÷2000cd/m² i

2000=4000cd/m². Nowa izohelia 7 strefowa pozwoliła na wyodrębnienie najciemniejszej części nieboskłonu.



Rys. 6. Sześciostopniowa izohelia dla nieboskłonu bezchmurnego składająca się z 6 stref jasności

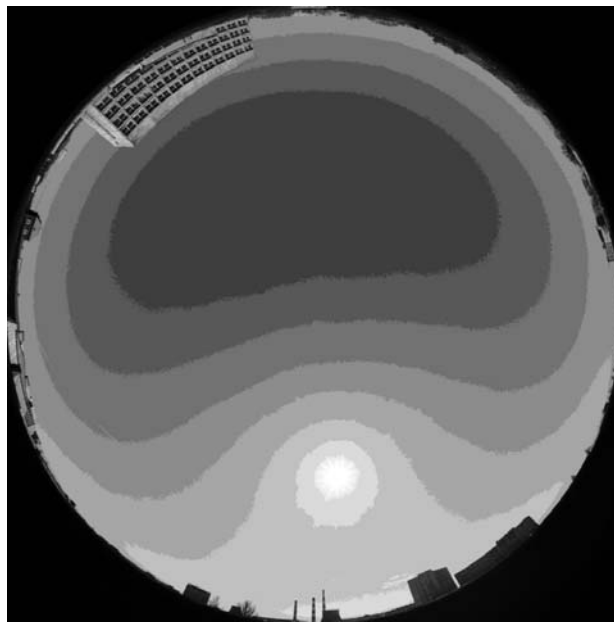
Fig. 6. Six degree izohel for clear sky consists of 6 zones of brightness.



Rys. 7. Siedmiostopniowa izohelia dla nieboskłonu bezchmurnego składająca się z wyróżnioną 7 najciemniejszą strefą.

Fig. 7. Seven degree izohel for clear sky consists with 7th the darkest zone.

Możliwe jest także utworzenie izohelii, w której narzucone będą „warstwy” o jednakowej różnicy jasności. W tym wypadku każda ze stref charakteryzowana będzie przez inną rozpiętością luminancji.



Rys. 8. 7 stopniowa izohelia o tych samych przedziałach jasności.

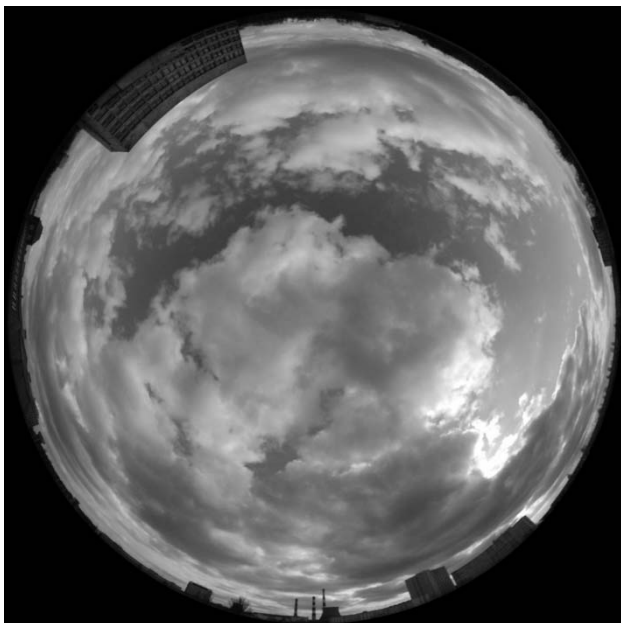
Fig. 8. 7 degree izohel with the same range of brightness.

Na rysunku 9 przedstawiono krzywą charakterystyczną zależności jasności od luminancji określoną równaniem (1). Skala szarości przyjęta dla obrazów zamieszczonych na rysunkach 6 i 7 odpowiada równym przedziałom luminancji, czyli równym odcinkom na osi X. Natomiast dla przypadku zilustrowanego na rysunku 8 stopnie izohelii przyjęto tak, aby odpowiadały równym przedziałom jasności, czyli skali pionowej wykresu (rys. 9).

3.3. Izohelia dla nieboskłonu częściowo i całkowicie zachmurzonego

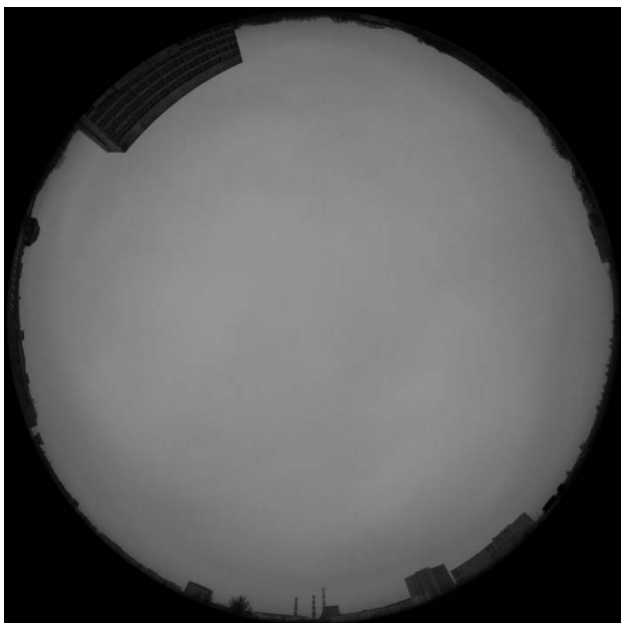
Korzystając z przyjętych stref jasności stworzono izohelie dla nieboskłonów częściowo oraz całkowicie zachmurzonego. Do opracowania wykorzystano zdjęcia wykonane z tego samego miejsca i w podobnym okresie czasu. Obrazy wyjściowe zamieszczono na rysunku 10 i 11 odpowiednio dla nieboskłonu częściowo i całkowicie zachmurzonego. W obu przypadkach opracowano też dodatkowo obrazy HDR. Opracowane izohelie zamieszczono na rysunkach 12 i 13. Obraz izohelii dla nieboskłonu częściowo zachmurzonego charakteryzuje się silnym kontrastem co pozwala wyodrębnić powierzchnie o różnych wartościach luminancji. Miejsca jaśniejsze wynikają z pozycji słońca i podwyższonej luminancji wynikającej z przenikającego przez chmury promieniowania w formie światła rozproszonego. Obszary ciemniejsze i jaśniejsze świadczą też o grubości pokrywy

chmur w danej części nieboskłonu. Natomiast w przypadku izohelii nieboskłonu pochmurnego nie zanotowano tak znaczących kontrastów obrazu.



Rys. 10. Obraz sfery niebieskiej dla nieboskłonu częściowo zachmurzonego.

Fig. 10. Image of the partly cloudy sky.

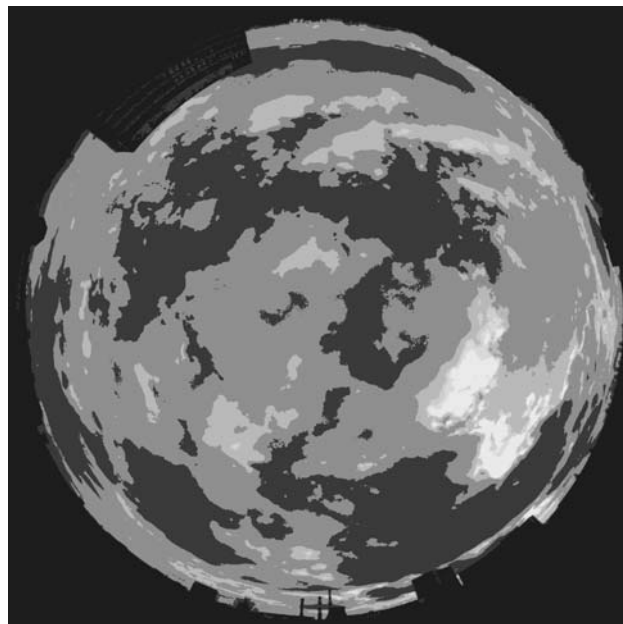


Rys. 11. Obraz sfery niebieskiej dla nieboskłonu zachmurzonego.

Fig. 11. Image of the cloudy sky.

Jak wynika z analizy obrazu zamieszczonego na rysunku 13 rozpoznawalne są jedynie dwa stopnie szarości. Wynika to z niewielkich zmian luminancji w obszarze całej półsfery,

w tym praktycznie niezauważalnych różnic w jasności w zależności od orientacji względem stron świata.



Rys. 12. Siedmiostopniowa izohelia dla nieboskłonu częściowo zachmurzonego.

Fig. 12. Seven degree isohel for partly cloudy sky



Rys. 13. Siedmiostopniowa izohelia dla nieboskłonu zachmurzonego (widoczne jedynie dwa najciemniejsze zakresy).

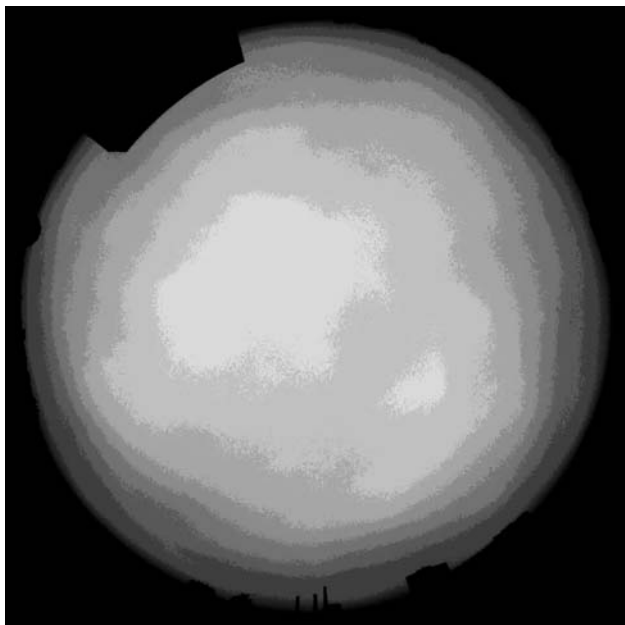
Fig. 13. Seven degree isohel for cloudy sky (two the darkest ranges are visible only).

Dla celów porównawczych izohelii różnych rodzajów nieboskłonów obraz zamieszczony na rysunku 13 jest wystar-

czająco dokładny. Jednak w celu dokładniejszej interpretacji zdjęcia niezbędne jest zwiększenie kontrastu a tym samym uzyskanie kolejnych stopni szarości.

3.4. Izohelia dla obrazów o podwyższonym kontraście

Na podstawie obrazu jasności w postaci izohelii, przedstawionego na rysunku 13 (nieboskłon całkowicie zachmurzony) stwierdzono istnienie jedynie dwóch poziomów jasności. Izohelia taka nie daje szczegółowych informacji na temat poziomów pośrednich. Informacje takie mogą być uzyskane po zmodyfikowaniu kontrastu obrazu nieba poprzez ograniczenie zakresu jasności do wartości skrajnych. odczytanych z oryginalnego obrazu, w programie graficznym dla najjaśniejszego i najciemniejszego obszaru. Następnie dla tak zmodyfikowanego obrazu stworzono izohelia pozwalająca uchwycić bardzo subtelne zmiany jasności. Zmodyfikowaną izohelię przedstawiono na rysunku 14. Interpretując otrzymany obraz możliwe jest wyróżnienie zdecydowanie najjaśniejszej strefy spowodowanej pozycją tarczy słonecznej na nieboskłonie. Jednocześnie brak jest wyraźnych granic pomiędzy poszczególnymi obszarami co świadczy o bardzo płynnym rozkładzie luminancji.



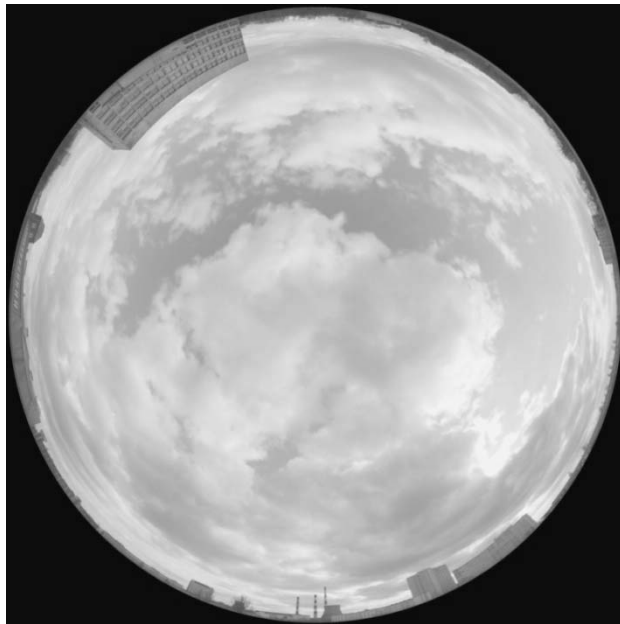
Rys. 14. Zmodyfikowana, siedmiostopniowa izohelia dla nieboskłonu zachmurzonego.

Fig. 14. Modified, seven degree isohel for cloudy sky.

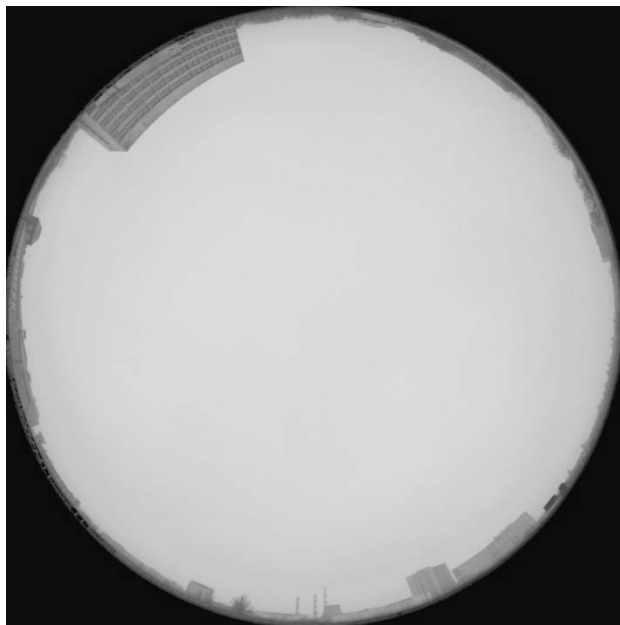
4. ROZKŁADY LUMINANCJI DLA TRZECH RODZAJÓW NIEBOSKŁONU - HDR

Na podstawie obrazu HDR dla nieboskłonu bezchmurnego (rys. 5) oraz częściowo i całkowicie zachmurzonego (rys. 15 i 16) opracowano rozkłady luminancji za pomocą tech-

niki opisanej w pracy [8]. Podobnie jak w przypadku izohelii przyjęto siedem poziomów jasności.



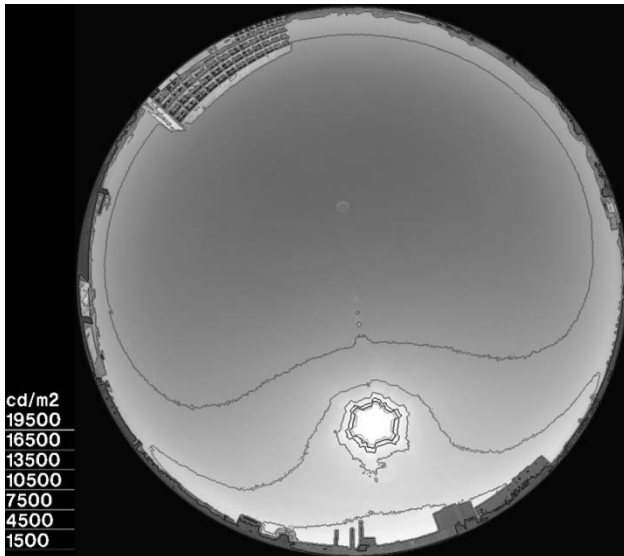
Rys. 15. Obraz HDR dla nieboskłonu częściowo zachmurzonego.
Fig. 15. HDR image for partly cloudy sky.



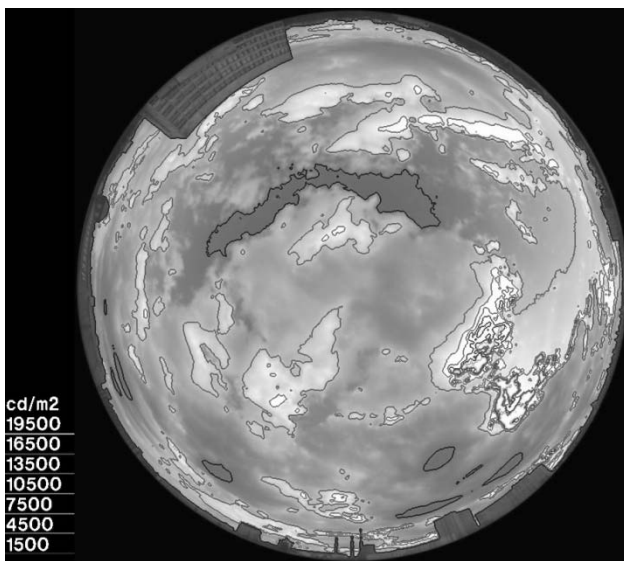
Rys. 16. Obraz HDR dla nieboskłonu zachmurzonego.
Fig. 16. HDR image for cloudy sky.

Na wszystkich obrazach zachowano tę samą skalę wartości. Tym razem jednak nie zastosowano zabiegu polegającego na zwiększeniu dokładności wyników w pewnych charakterystycznych zakresach. Charakter otrzymanych rozkładów oraz ich geometria są zgodne z obrazami izohelii. Pojawiają

się wprowadzie pewne zaburzenia wynikające z dużej rozdzielczości obrazu.



Rys. 17. Rozkład luminancji dla nieboskłonu bezchmurnego.
Fig. 17. Luminance distribution for clear sky .

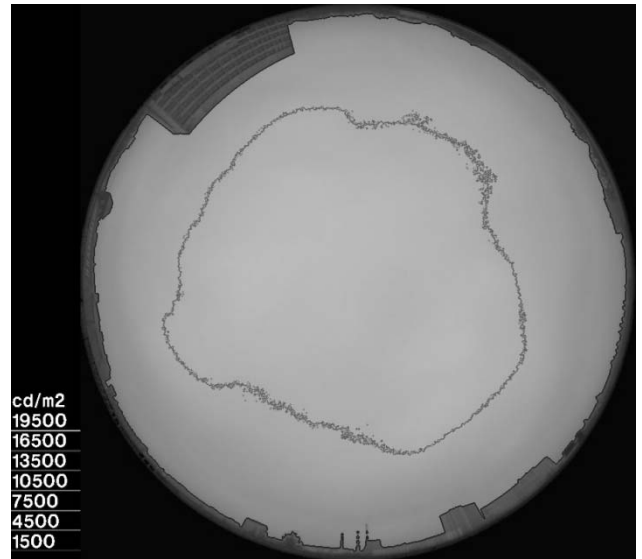


Rys. 18. Rozkład luminancji dla nieboskłonu częściowo zachmurzonego.
Fig. 18. Luminance distribution for partly cloudy sky .

Jest to szczególnie widoczne dla nieboskłonu częściowo zachmurzonego, gdzie trudno jest wyróżnić wyraźne, duże obszary o jednakowych luminancjach. Mniejsza jest bowiem możliwość regulacji poszczególnych zakresów w porównaniu do techniki izohelii.

5. WNIOSKI

Przeprowadzone badania miały na celu porównanie dwóch metod analizy otrzymanych obrazów.



Rys. 19. Rozkład luminancji dla nieboskłonu zachmurzonego.
Fig. 19. Luminance distribution for cloudy sky .

W obu przypadkach ocena ma charakter zarówno ilościowy jak i jakościowy. Wynikiem końcowym jest rozkład luminancji nieboskłonu będący dla większości narzędzi symulacyjnych sposobem opisu źródła światła dziennego.

Wyniki otrzymane oboma sposobami mają podobny charakter. Zaobserwowano jedynie niewielkie różnice w wartościach liczbowych. Sposób wyboru jednej z metod uzależniony jest od wymaganego stopnia szczegółowości. W przypadku izohelii stopień ten jest łatwo regulowalny przez co łatwiejsze wydaje się matematyczne opisanie geometrii poszczególnych obszarów. Szczególnie ma to znaczenie w przypadku bardzo nieregularnych obszarów występujących najczęściej w warunkach nieboskłonu pośredniego. Ostateczna decyzja dotycząca przyjętej metody podjęta będzie po przeprowadzeniu kolejnych badań.

BRIGHTNESS DETERMINATION FOR THREE TYPE OF THE SKIES – HDR vs. ISOHEL

Summary: Two methods of digital image interpretation is presented in the paper. The luminance distribution was calculated directly from HDR image. The results were compared with isohels obtained from single image. Three types of the skies were analysed: clear, partly cloudy and cloudy. The image of the skies were obtained using Digital photography taken in Lodz in a March 2011. Calibration and results verification were done using luminance meter Konica-Minolta LS-100.

Literatura

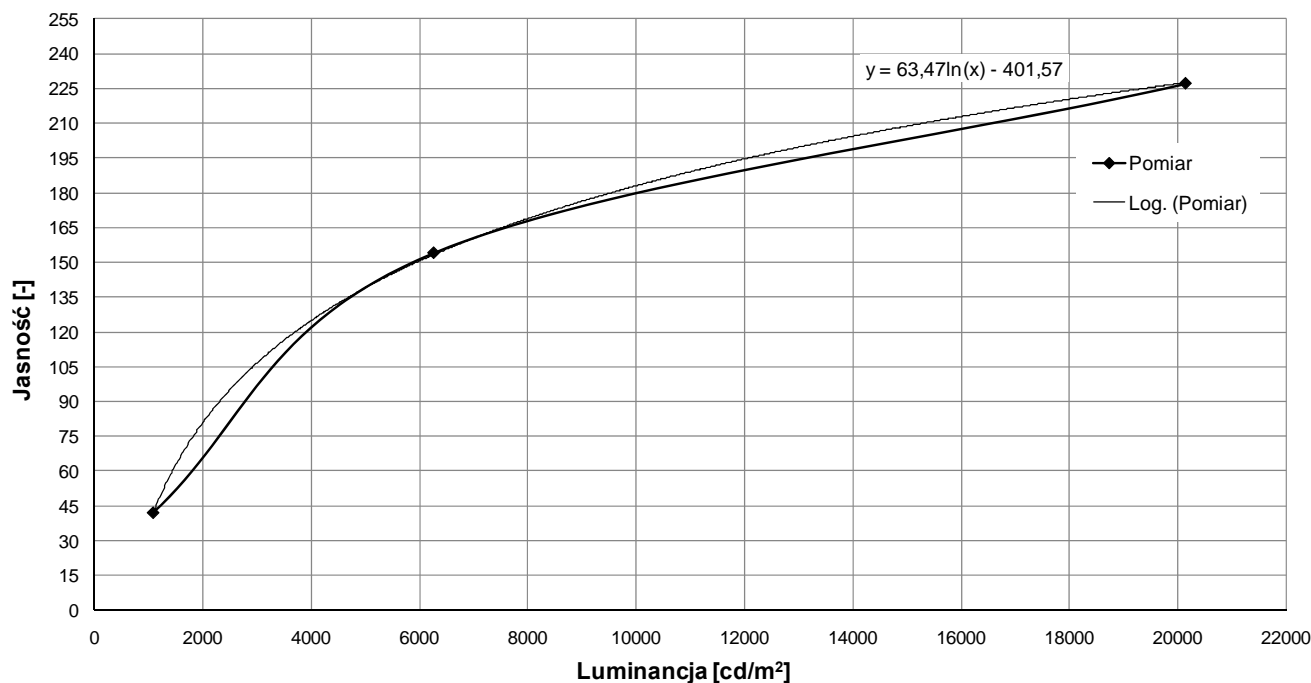
- [1] Heim D., Klemm P., Narowski P., Szczepańska E.: *Komputerowa analiza oświetlenia dziennego i ocena parametrów komfortu wizualnego w pomieszczeniach.* (Red. D.Heim) Łódź. Wydawca Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych Politechniki Łódzkiej, 2007.
- [2] Kittler R., Darula S.: *A set of standard skies characterizing conditions for computer and energy conscious design,* Final Report US-SK 92 052, 1998.
- [3] Darula S., Perez R., Kittler R.: *A New Generation of Sky Standards. Proc. Conf. Lux Europa,* pp 359-373, 1997.
- [4] Perez, R., J. Michalsky And R. Seals: *Modeling Sky Luminance Angular Distribution for Real Sky Conditions: Experimental Evaluation of Existing Algorithms. Journal of Illuminating Engineering Society* Vol. 21, No. 2, pp. 84-92, 1992
- [5] Tregenza P.R.: *Analysing sky luminance scans to obtain frequency distribuion of CIE Standart General Skies. Lighting Research Technology,* Vol. 36, No. 4, pp. 271–281, 2004

[6] CIE, *Spatial Distribution of Daylight - Luminance Distributions of Various Reference Skies,* Technical Report, 1995.

[7] Górko M., Heim D.: *Wykorzystanie metod fotografii cyfrowej do wyznaczania luminancji sfery niebieskiej. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska* z. 40. Energia Odnawialna – innowacyjne idee i technologie dla budownictwa. Rzeszów 2006, nr 229, s. 167-172, 2006

[8] Górko M., Heim D., Szczepańska E.: *Porównanie wybranych technik przetwarzania obrazów cyfrowych dla potrzeb określania zewnętrznych warunków oświetleniowych, Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce,* Tom 4, 2009, s. 37-44

Zakup aparatury został częściowo sfinansowany w ramach grantu Rektora Politechniki Łódzkiej w roku 2010 „Opracowanie metody określania przestrzennego rozkładu luminancji nieboskłonu dla potrzeb opisu zewnętrznych warunków oświetleniowych”.



Rys. 9. Graficzne przedstawienie funkcji wiążącej jasność punktów obrazu z ich luminancją.

Fig. 9. Graphical representation of brightness vs. luminance function.