

## PORÓWNANIE WYBRANYCH TECHNIK PRZETWARZANIA OBRAZÓW CYFROWYCH DLA POTRZEB OKREŚLANIA ZEWNĘTRZNYCH WARUNKÓW OŚWIETLENIOWYCH

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@gmail.com

**Streszczenie:** W pracy omówiono dwie techniki opracowania obrazów cyfrowych dla numerycznych analiz oświetlenia dziennego. Porównano technikę o szerokim zakresie tonalnym HDR (bezpośrednia) z techniką pojedynczych obrazów przekształcanych na izohelie (pośrednia) w skali szarości, o znanej jasności odniesienia. Zastosowanie obu metod przedstawiono na przykładzie obrazów nieboskłonów uzyskanych dla wybranych dni marca i kwietnia 2009 roku nad miastem Łodzią. Na podstawie obrazów opracowano mapy luminancji półsfery niebieskiej i porównano je pod względem jakościowym otrzymanych wyników. Stwierdzono, że w przypadku techniki izoheli możliwe jest łatwe regulowanie zakresem tonalnym oraz uzyskanie dowolnego stopniowania bez względu na wielkość natężenia oświetlenia. Ponadto nie wymaga ona stosowania stosunkowo drogich zestawów do bezpośredniego pomiaru luminancji. Natomiast technika oparta na obrazach HDR jest znacznie bardziej uniwersalna pod warunkiem posiadania pełnego zestawu pomiarowego.

**Słowa kluczowe:** oświetlenie, nieboskłon, izohelia, HDR, symulacje komputerowe.

### 1. WPROWADZENIE

Dla potrzeb analiz obliczeniowych [1], nieboskłon opisywany jest poprzez rozkład luminancji, zaś dodatkowymi parametrami charakterystycznymi są stopień zachmurzenia (z uwzględnieniem rodzaju chmur) i współczynnik zmętnienia atmosfery. Na podstawie danych mierzonych, bądź wyznaczanych w sposób pośredni powstało wiele teoretycznych modeli nieboskłonów, opracowanych w różnych częściach świata [2]. Podstawowym problemem ich praktycznego zastosowania przy projektowaniu budynków pod kątem wykorzystania oświetlenia dziennego jest brak wiarygodnych danych dotyczących konkretnych obszarów, dla poszczególnych okresów czasu

(miesiący lub pór roku). Przez to niemożliwe jest rzetelne opisanie warunków zewnętrznych zgodnie ze stanem rzeczywistym, a tym samym zarówno analizy parametrów komfortu wewnętrznego jak i zapotrzebowania na energię do oświetlenia sztucznego obarczone są dużym błędem.

Podstawowym problemem tego typu badań jest dynamika zmian warunków oświetleniowych w różnych obszarach nieba. W porównaniu do podstawowych parametrów pogodowych takich jak temperatura, wilgotność czy całkowite promieniowanie słoneczne, liczba niezbędnych cykli pomiarowych w przypadku natężenia oświetlenia powinna być wielokrotnie większa. Rozkład luminancji nieboskłonu może zmieniać się w bardzo krótkich okresach czasu, co wynika ze zmian warunków atmosferycznych, pory dnia ale także jest uzależniony od pory roku, szerokości geograficznej i miejsca na sferze niebieskiej. W letnie, całkowicie bezchmurne dni, zewnętrzny poziom natężenia oświetlenia może osiągać wartości do 100 000 luxów, podczas gdy w całkowicie zachmurzony, zimowy dzień może wynosić jedynie 4 000 luxów.

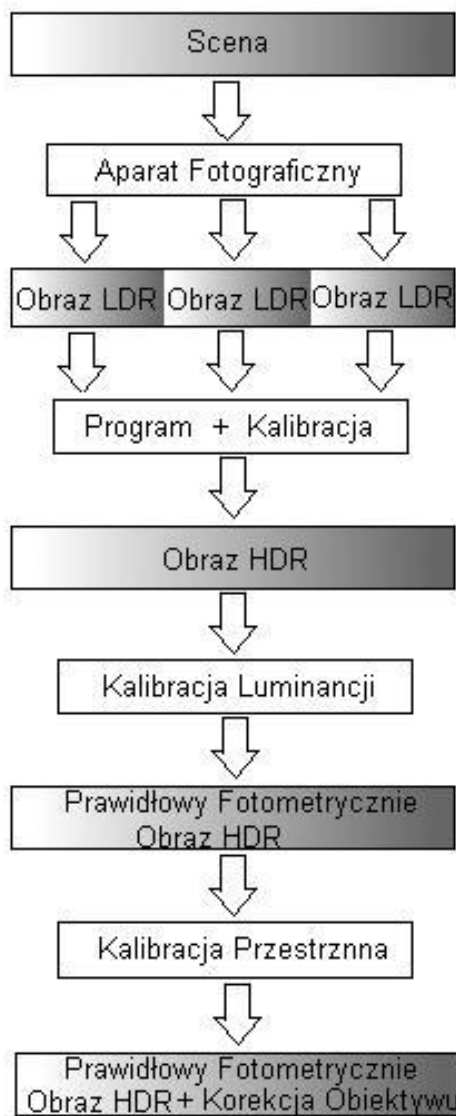
Na dzień dzisiejszy brak jest pełnego zbioru danych pomiarowych charakteryzujących godzinowe, lub średnie miesięczne warunki oświetleniowe dla obszaru Polski. Pomiary prowadzone w stacjach meteorologicznych są natomiast mało precyzyjne i ograniczają się głównie do określenia natężenia promieniowania oraz stopnia zachmurzenia [3]. Tym bardziej uzasadnione staje się opracowanie metod pomiarowych służących stworzeniu dla obszaru Polski, na wzór innych krajów Europejskich, pełnego atlasu oświetleniowego.

Zaproponowana metoda posiada wiele zalet, do których m.in. należą: dowolny zakres wielkości mierzonych parametrów, bardzo wysoka dokładność położenia punktu pomiarowego na sferze niebieskiej, swobodne uśrednianie

wyników dla wybranych obszarów nieboskłonu, praktycznie nieograniczona liczba pomiarów [4,5]. Ponadto pozwala ona w sposób precyzyjny rejestrować zmieniające się parametry nieboskłonu z praktycznie dowolną częstotliwością próbkowania.

## 2. TECHNIKA HDR

Luminancja nieboskłonu możliwa jest do określenia punkt za punktem przy użyciu tradycyjny urządzeń pomiarowych. Pomiaru takie są jednak bardzo pracochłonne i często podatne na błędy spowodowane nieciągłościami. Do pomiarów luminancji nieboskłonu wykorzystuje się również bardziej zaawansowane urządzenia jakimi są skanery nieba [6]. Jednak zarówno ich cena jak i koszty eksploatacji spowodowały, że nie są one stosowane na szeroką skalę. Istnieje zatem potrzeba opracowania metody, która w sposób precyzyjny, szybki i tani umożliwi wyznaczenie dla danej chwili czasowej rozkładu luminancji w szerokim polu widzenia. Możliwości takie daje technika obrazów cyfrowych, która posiada jednak pewne niedogodności. Pierwsze ograniczenie spowodowane jest faktem, że układy optyczne i matryce aparatów fotograficznych nie oddają obrazu sceny w taki sposób jak postrzega ją narząd wzroku. System wzrokowy człowieka jest niezwykle czuły i elastyczny przez co pozwala rejestrować szczegóły w zakresie tonalnym DR (dynamic range - zdolność dostrzegania jak największej liczby szczegółów charakteryzujących się różnym stopniem luminancji) nawet do 100 000:1. Natomiast typowe aparaty fotograficzne mogą co najwyżej rejestrować zakres stukrotnie mniejszy (1 000:1). W związku z tym nie jest możliwe odwzorowanie na pojedynczym obrazie nie tylko szerokiej rozpiętości tonalnej - obszarów bardzo jasnych i bardzo ciemnych, ale i szerokiej rozdzielczości tonalnej - dużej ilości tonów pomiędzy skrajnymi obszarami [7]. Próbą oddania rzeczywistego zakresu tonalnego jest technika HDR (High Dynamic Range). Jest to metoda pozwalająca na uzyskanie obrazu o szerokim zakresie tonalnym w wyniku połączenia kilku zdjęć (dotyczących tej samej sceny) o różnych parametrach naświetlania (ekspozycji) dobranych w ten sposób, aby poszczególne klatki zarejestrowały wszystkie zakresy luminancji. Pomimo tego, że fotografię HDR stworzono głównie dla podniesienia wartości artystycznych, to zalety tej techniki wykorzystywane są również w analizach ilościowych obrazu. Wynika to z właściwości obrazów cyfrowych oraz faktu, iż poszczególne piksele zawierają bezpośrednie informacje o luminancji danego punktu. Dzięki temu oraz przy zastosowaniu dodatkowych kalibracji, technika HDR wykorzystywana może być również przy tworzenia map luminancji zgodnie ze schematem pokazanym na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat tworzenia skalibrowanych obrazów HDR.  
Fig. 1. Schematic diagram of HDR image setting up.

## 3. POTOK CYFROWEGO ZAPISU OBRAZU

Sercem każdego aparatu cyfrowego jest matryca CCD (ang. Charge Coupled Device), na której równomiernie rozmieszczonych jest wiele światłoczułych elementów tzw. fotoelementów [8]. Ilość światła jaka dociera do matrycy (emitowana przez źródła światła fotografowanej sceny) ograniczona jest przez przysłonę i migawkę aparatu. W typowym systemie tworzenia obrazu, natężenie promieniowania  $E$  [ $W/m^2$ ] docierające do fotosensorów jest powiązane z luminancją energetyczną sceny  $L_e$  [ $W/sr \cdot m^2$ ] następującą zależnością [9]:

$$E = L_e \frac{\pi d^2}{4 h} V(\Phi) \quad (1)$$

gdzie:  $h$  – długość ogniskowej,

$d$  – średnica przysłony,

$V(\Phi) = \cos^4 \Phi$  – wielkość odpowiadająca za winietowanie optyczne – zdjęcie nierównomiernie naświetlone (w aparatach cyfrowych, których matryca wyposażona jest w mikrosoczewki może wystąpić dodatkowe winietowanie pikselowe),

$\Phi$  – kąt pomiędzy promieniem padającym a osią optyczną.

Padający impuls świetlny powoduje gromadzenie w poszczególnych punktach matrycy ładunków elektrycznych, (impuls świetlny zamieniany na impuls elektryczny), aż do pewnego momentu nasycenia gdy dalsze zwiększanie natężenia światła nie zwiększa już ilości generowanych ładunków. Jednak dalsze naświetlanie takiego fotosensora może wpływać na sąsiednie fotosensory rozjaśniając go (tzw. "blooming"). Typowe matryce CCD są zaprojektowane tak, że wytworzone napięcie w poszczególnych pikselach matrycy jest liniowo proporcjonalne do natężenia światła padającego. W idealnym systemie obrazowania natężenie zarejestrowane przez detektor (naświetlenie sensorów) byłoby proporcjonalne do czasu ekspozycji  $\Delta t$  [7]:

$$r = E \Delta t = L_e k e \quad (2)$$

gdzie:  $e = \pi \left( \frac{d^2}{h} \right) \Delta t$  – ekspozycja zdefiniowana przez

wielkość przysłony i czasu naświetlania,

$$k = \cos^4 \frac{\Phi}{h^2}.$$

Powstałe ładunki elektryczne są następnie przesyłane sekwencyjnie do wzmacniacza a następnie do przetwornika analogowo cyfrowego. W przetworniku sygnał napięciowy (analogowy), z postaci ciągłej zamieniany jest do postaci dyskretnej (cyfrowej) na sygnał skwantowany – zdigitalizowany. Większość aparatów wyposażona jest w przetwornik 12 lub 14 bitowy. Proces digitalizacji wprowadza szumy do zarejestrowanych danych (powstawanie losowo rozrzuconych plamek na zdjęciu spowodowanych defektami i niedoskonałościami matrycy CCD) i może powodować powstawanie nieliniowości w procesie obrazowania.

Ponieważ fotokomórki wrażliwe są jedynie na ilość światła matryca posiada dodatkowo siatkę filtrów barwnych R (czerwony) G (zielony) B (niebieski), które są umieszczone pojedynczo nad każdym fotoelementem. Dzięki temu każdy z sensorów rejestruje natężenie światła jedynie o ściśle określonej długości fali (barwie). Najczęściej stosowany wzór siatki to wzór Bayera, który charak-

teryzuje się dwukrotnie większą liczbą filtrów zielonych w porównaniu z czerwonymi i niebieskimi. Rozwiązanie to powoduje jednak duże straty światła docierającego bezpośrednio do powierzchni sensora. Otrzymany w ten sposób obraz RAW, określany często mianem cyfrowego negatywu, zawiera więc pełną informację o luminancji dla całej powierzchni i składa się z punktów (matrycy) przechowujących dodatkowo dane o kolorach. Pełną informację o chrominancji danego piksela obrazu można uzyskać w procesie demosaicowania czyli analizie otaczających go elementów światłoczułych, [10]. W wyniku takiej aproksymacji liczba pikseli obrazu cyfrowego jest mniejsza od liczby fotoelementów matrycy. Po tym etapie zdjęcie może być zapisane do formatu na przykład JPEG (kompresja stratna – zmiana głębi bitowej z 12 lub 14 bitów na kanał do 8 bitów na kanał) lub TIFF.

#### 4. STANOWISKO POMIAROWE I ZASTOSOWANE URZĄDZENIA

Urządzenia na czas pomiarów zainstalowano na dachu budynku Budownictwa Politechniki Łódzkiej. W pracy wykorzystano fotografie sfery niebieskiej wykonane aparatem Nikon D80 z obiektywem Sigma Fish-eye 4,5mm f/2,8 (rys. 2). Obiektyw ten zapewnia uzyskanie kołowego obrazu o kątowej średnicy 180°, będącego odwzorowaniem całej półprzestrzeni.

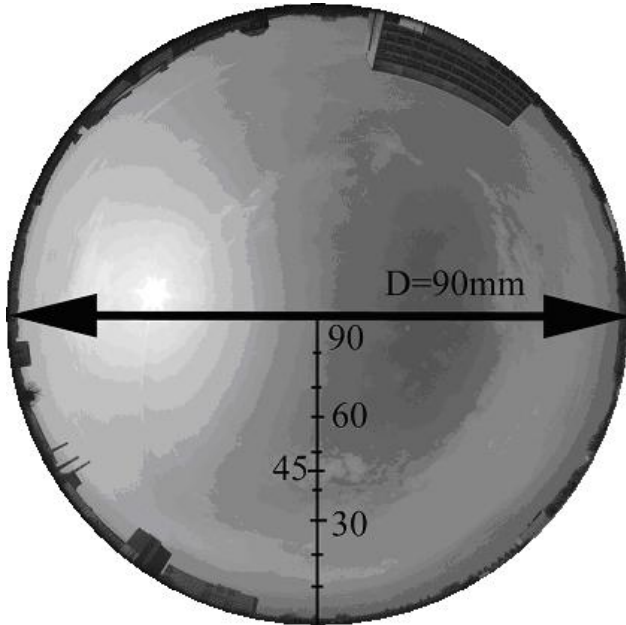


Rys. 2. Widok zestawu fotometrycznego.

Fig. 2. The view of photometric stand.

Ważną charakterystyką odwzorowania optycznego jest projekcja równokątna, co oznacza, że równym łukiem na sferze niebieskiej odpowiadać będą równej długości

odcinki w płaszczyźnie obrazu. Własność ta ułatwia wyznaczanie w dowolnych jednostkach współrzędnych kątowych (np. azymut i wysokość nad horyzontem), o ile w tych samych jednostkach znana jest średnica (promień obrazu). Dokładnie pionowe skierowanie osi optycznej obiektywu uzyskano za pomocą libeli – w takim układzie aparatu, zenit jest środkiem okrągłego obrazu zaś horyzont pokrywa się z obwodem zdjęcia (rys. 3).



Rys. 3. Odzworowanie rzutu półsfery niebieskiej.  
Fig. 3. Reproduction of semispherical sky view.

Przykładowe zdjęcie sfery niebieskiej z pokazaniem jej średnicy oraz podziałki kątowej dla wysokości nad horyzontem.

## 5. KALIBRACJA URZĄDZENIA DLA POTRZEB HDR

Pomimo znaczącego rozwoju techniki cyfrowego zapisu obrazów nadal nie jest możliwe uchwycenie pełnego zakresu tonalnego sceny. Większość aparatów redukuje dynamikę obrazu powodując powstawanie nieliniowości pomiędzy jasnością piksela obrazu JPG a naświetleniem sensora. Źródeł nieliniowości w procesie obrazowania jest wiele (blooming, przetwornik A/C, digitalizacja itd.) ale można je reprezentować za pomocą jednej nieliniowej funkcji CRF (Camera Response Function) (rys. 4). Pomimo, że może ona różnić się znacząco dla dwóch aparatów tego samego producenta lub nawet modelu, jej kształt nie jest udostępniany przez producentów aparatów. Końcową jasnością piksela obrazu można zapisać jako:

$$R(x, y) = f(r(x, y)) \quad (3)$$

Jako pierwsi na problem nieliniowości zwrócili uwagę Mann i Picard (1997) [11] przyjmując, że kształt funkcji odpowiedzi ma postać krzywej gamma o parametrach  $\gamma$ ,  $\alpha$ , oraz  $\beta$  wyznaczonych na podstawie wielokrotnie wykonanych zdjęć o różnej ekspozycji:

$$f(r(x, y)) = \alpha + \beta r(x, y)^\gamma \quad (4)$$

Pomimo, że ich praca jest kamieniem milowym w kalibracji radiometrycznej aparatów fotograficznych, ich model nie daje wyników dokładnych ilościowo.

W 1997 roku Debevec i Malik zaproponowali metodę kalibracji za pomocą funkcji logarytmicznej, która sprawdza się w przypadku zdjęć o niewielkich szumach [12]:

$$\ln f^{-1}(r(x, y)) = \ln E_i + \ln \Delta t_j \quad (5)$$

gdzie:  $i$  – zakres ilości pikseli w obszarze analizy,  
 $j$  – zakres ilości czasów ekspozycji.

Jedynym ograniczeniem tej metody jest konieczność znajomości dokładnych parametrów ekspozycji, co w przypadku podstawowych aparatów cyfrowych jest często niemożliwe do osiągnięcia (powtarzalność ustawienia przysłony jest ograniczona). Niedogodność tę eliminuje podejście Mitsunga i Nayar (1999), w którym funkcję odpowiedzi reprezentuje krzywa wielomianowa [13]:

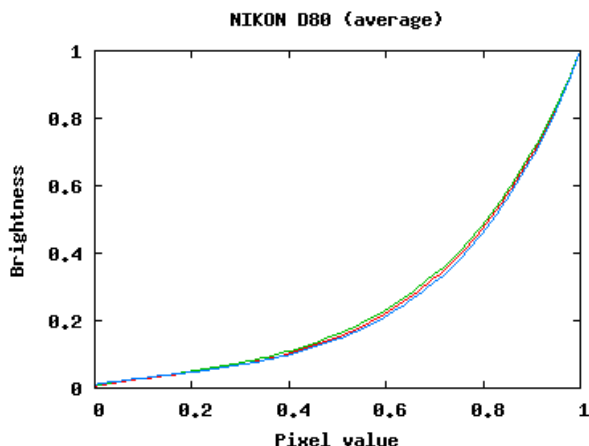
$$r(x, y) = f^{-1}(R(x, y)) = \sum_{n=0}^N c_n R(x, y)^n \quad (6)$$

W tej metodzie kalibracji należy określić minimalny wymagany stopień wielomianu  $N$  (bezpośrednio zależny od samej funkcji odpowiedzi), jak i współczynniki  $c_n$  wielomianu. Istnieje wiele metod otrzymania krzywej CRF szerzej omówionych między innymi w [9,12,14].

W niniejszej pracy do kalibracji wykorzystano postać wielomianową funkcji, odpowiednio dla trzech kanałów RGB. Z pliku tekstowego o rozszerzeniu \*.rsp, jaki powstał w wyniku wykonania serii zdjęć o ekspozycji różniącej się o 1EV, odczytano stopień wielomianu (pierwszy rząd) oraz jego współczynniki (kolejne rzędy):

```
5 1.33058 -2.15898 2.294005 -0.749789 0.27782 0.006368
5 1.17504 -1.83121 1.979747 -0.593168 0.26115 0.008439
5 1.46672 -2.27831 2.268688 -0.728417 0.26185 0.009463
```

Krzywą kalibracji uzyskano dla aparatu Nikon D80. Balans bieli ustawiono na dominujący w scenie rodzaj światła oraz wyłączono dodatkowe funkcje jak zwiększanie kontrastu. Wybrano scenę o dużej szarej powierzchni, w której znajdowały się obszary bardzo jasne o wartości RGB nieprzekraczającej jednak 20 i bardzo ciemne o RGB poniżej 200. Obrazy zawierające wartości poza tym zakresem nie zostały uwzględnione.



Rys 4. Średnie funkcje odpowiedzi dla kanałów R, G, B.  
Fig 4. Averaged response function for the R, G, B, channel.

Do poprawnej pracy programu „sklejającego” obrazy LDR w jeden HDR konieczna jest oprócz funkcji CRF, znajomość wartości ekspozycji EV ( $f$  – przysłony,  $T$  – prędkości migawki,  $S$  – czułości ISO) z jakim wykonano zdjęcia [7].

$$EV = \log_2 \left( \frac{f^2 S}{T 100} \right) \quad (7)$$

Informacje o przysłonie, czasie naświetlania oraz czułości ISO umieszczone są w pliku JPG w tak zwanym nagłówku EXIF, który jest obecnie uniwersalny dla wszystkich aparatów cyfrowych. Niestety wartości ekspozycji poszczególnych obrazów LDR mogą być czasami niedokładne z dwóch powodów. Po pierwsze przysłona umieszczona wewnątrz obiektywu ma ograniczoną powtarzalność (wprowadzając tym samym błąd do numeru przysłony). Po drugie czas ekspozycji może również różnić się od tego co wskazuje aparat. Obecnie jednak coraz więcej aparatów wyposażonych jest w migawkę sterowaną elektronicznie, co znacznie zwiększa dokładność i powtarzalność czasu naświetlania. Powyższe błędy mogą się jednak dodawać w wyniku czego EV nie zawsze określa na jest wystarczająco dokładnie. Dlatego też, aby uzyskać precyzyjną wartość luminancji pikseli zdjęcia cyfrowego HDR konieczne jest zastosowanie dodatkowej kalibracji – kalibracji fotometrycznej. Pomimo jej braku obrazy HDR dają zadawalającą dokładności o rozkładzie luminancji. Najprostszą procedurą zwiększenia dokładności fotografii HDR jest porównanie luminancji HDR ze wskazaniem otrzymanymi z rzeczywistej sceny (dla danych warunków oświetleniowych) uzyskanych z miernika luminancji. Stosunek obu wartości może być użyty jako współczynnik kalibracji CF dla kolejnych obrazów.

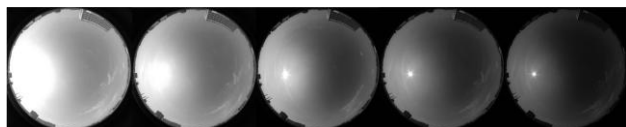
$$CF = \frac{Luminancja_{rzecz}}{Luminancja_{HDR}} \quad (8)$$

Na podstawie zdjęć HDR możliwe jest również fizjologiczne oszacowanie środowiska świetlnego jak określenie olśnień czy widoczności. W tym celu konieczna jest jednak dodatkowa kalibracja, która zniweluje efekt winietowania, obecny zwłaszcza w obiektywach szerokokątnych [15].

## 6. OBRAZY HDR

Ze względu na sposób reprezentacji pikseli w zdjęciu HDR za pomocą liczb zmiennoprzecinkowych nie możliwe jest zapisanie go w typowym formacie jak JPEG czy GIF (reprezentacja koloru piksela za pomocą liczb całkowitych). Koniecznością stało się stworzenie formatów, które pozwoliły by na zapis szerokiego zakresu luminancji zdjęcia HDR zmniejszając przy tym jego rozmiar. Jednym z pierwszych i najbardziej popularnych typów jest format Radiance RGB o rozszerzeniu *.hdr* lub *.pic* stworzony przez Greg’a W. Larsona [16], w których piksel obrazu HDR zapisywany jest na 32-bitach po 8-siem bitów na mantysę liczb zmiennoprzecinkowych R, G, B oraz 8-siem bitów na eksponent (wykładnik wspólny dla trzech kanałów). W miarę wzrostu zainteresowania fotografią HDR powstawały inne formaty plików. W 2003 roku Industrial Light and Magic (przedsiębiorstwo zajmujące się efektami specjalnymi dla przemysłu filmowego) stworzyło format OpenEXR o rozszerzeniu *.exr*, który umożliwia kodowanie kanałów RGB na trzech zmiennoprzecinkowych liczbach 16-bitowych (po10-bitów przeznaczonych jest na mantysę, 5 na eksponent i jeden na znak liczby) choć istnieje również 32-bitowa wersja formatu. Dostępnych jest jeszcze szereg innych formatów (JPEG-HDR, PFS, Portable FloatMap) [7,17].

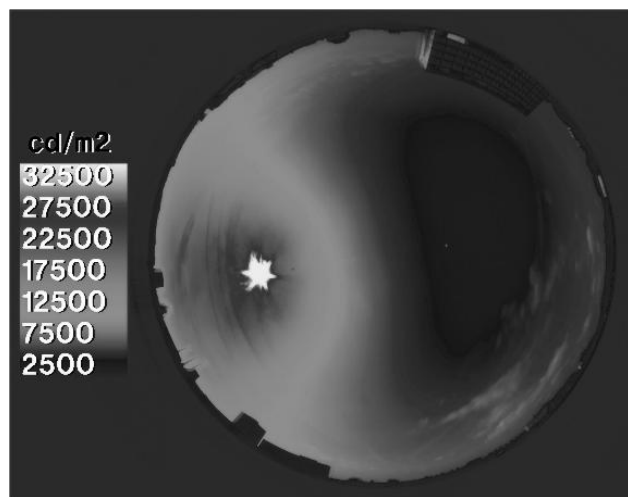
Obraz HDR odwzorowujący szeroki zakres jasności fotografowanej sceny (luminancja od tysięcznych części do setek milionów  $cd/m^2$ ) nie może zostać wyświetlony za pomocą urządzeń jak monitory komputerowe, telewizory cyfrowe czy rzutniki slajdów, ze względu na takie same ograniczenia jakie dotyczyły aparatów cyfrowych (typowy monitor LCD – luminancja od kilku do kilkuset  $cd/m^2$ ). Dlatego też konieczna jest kompresja zakresu jasności zdjęcia do możliwości urządzeń wyświetlających. Kompresja taka nie zmienia wielkości pliku, a jedynie mapuje najciemniejsze i najjaśniejsze piksele obrazu HDR na najciemniejsze i najjaśniejsze punkty urządzenia za pomocą odpowiednich algorytmów komputerowych zwanych *operatorami mapowania tonów* (ang. *tone mapping operators*) [1].



Rys. 5. Zestaw zdjęć wykorzystanych do obróbki HDR.  
Fig. 5. Set of a pictures used for creating of HDR image.



Rys. 6. Rozkład luminancji na nieboskłonie uzyskany techniką HDR (izolinie).  
Fig. 6. Sky luminance distribution obtained by HDR technique.



Rys. 7. Rozkład luminancji na nieboskłonie uzyskany techniką HDR (paleta szarości).  
Fig. 7. Sky luminance distribution obtained by HDR technique.

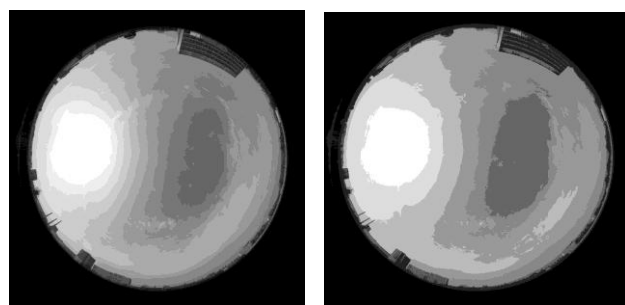
Na rysunku 5 pokazano zestaw obrazów wyjściowych wykonanych dla potrzeb stworzenia obrazu HDR. Na rysunkach 6 (izolinie) i 7 (paleta szarości) pokazano wynikowe rozkłady luminancji uzyskane techniką HDR.

Rozkład w postaci izolinii dość dokładnie precyzuje luminancje w okolicy tarczy słonecznej ( $>25\ 000\ \text{cd/m}^2$ ). Deformacje w postaci gwiazdy sześcioramiennej pochodzą od krawędzi przecięcia się listków przysłony obiektywu i mają istotny wpływ na jakość obrazu w strefie silnego promieniowania bezpośredniego. Na obrazie w postaci płynnej palety szarości, rys. 7 (w oryginale paleta barw), dużo precyzyjniej odwzorowano obszary o mniejszej luminancji. Na północnej stronie nieba zarysowany jest wyraźny ciemny obszar w kształcie półksiężyca o luminancji poniżej  $2\ 500\ \text{cd/m}^2$ .

## 7. OBRAZY IZOHELII

### 7.1. Technika Izohelii

Izohelia jest techniką tonorozdzielczą wywodzącą się z tradycyjnej fotografii. W izohelii ciągły rozkład półtonów (stopni szarości) zamieniony zostaje w stopniowy rozkład półtonów o ściśle zdefiniowanej szarości. Ilość tych stopni, jak również ich stopień szarości mogą być dowolne. Uzyskanie izohelii jest stosunkowo łatwe dzięki użyciu programów do obróbki plików graficznych. Stworzenie izohelii polega na zmodyfikowaniu krzywej charakterystycznej, z postaci prostoliniowej, do postaci krzywej „schodkowej”. Technika izohelii doskonale nadaje się do ilustracji zjawisk związanych ze zmianą jasności powierzchni na dużych obszarach, w tym w szczególności rozkładu luminancji na sferze niebieskiej. Przykład przekształcenia rzeczywistego obrazu w pięciostopniową izohelie pokazano na rysunku 8.

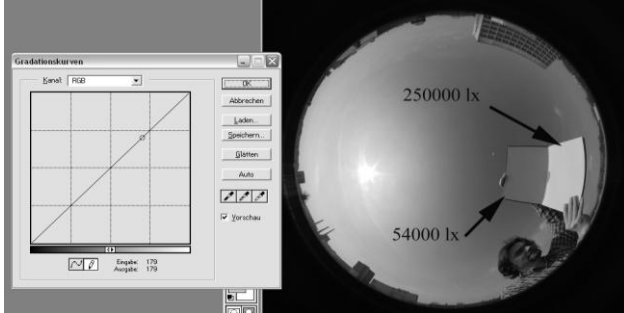


Rys. 8. Obraz półsfery niebieskiej w skali szarości i opracowana na jego podstawie 5 stopniowa izohelia.  
Fig. 8. View of sky semispher in grey scale and 5 degree izohel done based on the image.

### 7.2. Analiza rozkładu luminancji

Przedstawiona metoda opiera się na wykonaniu dwóch zdjęć o identycznej ekspozycji. Pierwsze z nich przedstawia jedynie sferę niebieską, drugie dodatkowo zawiera dwa równomiernie oświetlone obszary, na których doko-

nuje się pomiarów natężenia oświetlenia. Zostały one wykonane profesjonalnym światłomierzem fotograficznym Minolta Autometer IVF, o kącie bryłowym 10 sr. Na analizowanym szczegółowo zdjęciu (rys. 9) otrzymano wartości 25 000 cd/m<sup>2</sup> dla obszaru w strefie promieniowania bezpośredniego oraz 5 400 cd/m<sup>2</sup> dla obszaru zacienionego. Poniższa ilustracja pokazuje zdjęcie w trakcie odczytywania jasności z obszaru oświetlonego Słońcem – na krzywej charakterystycznej wyświetlony jest punkt o jasności 179.



Rys. 9. Odczyt natężenia oświetlenia na oświetlonej i zacienionej płaszczyźnie oraz krzywa charakterystyczna jasności.

Fig. 9. Reading of the luminance at luminous and shadowed area with characteristic curve of brightness.

Kolejnym krokiem jest przypisanie wartościom zmierzonych luminancji wartości jasności tych obszarów na zdjęciu. Dokonuje się tego w programie graficznym, po wyświetleniu krzywej charakterystycznej. Krzywa ta w 256 stopniach (od 0 dla czerni do 255 dla najjaśniejszych fragmentów obrazu) odzwierciedla jasność poszczególnych punktów zdjęcia. W analizowanym przypadku otrzymano: 179 punktów dla luminancji wynoszącej 25000 cd/m<sup>2</sup> oraz 77 punktów dla luminancji 5400 cd/m<sup>2</sup>. Te dane pozwalają na napisanie równania funkcji, która różnym wartościom luminancji przypisuje wartości jasności obrazu.

Dla:

$$\begin{aligned} x_1 &= 5400, & y_1 &= 77 \\ x_2 &= 25000, & y_2 &= 179 \end{aligned} \quad (9)$$

Powstaje równanie prostej w postaci:

$$y = 5,2x + 49 \quad (10)$$

gdzie: y jest jasnością punktu obrazu,  
x jest luminancją punktu na sferze niebieskiej.

Równanie to pozwala wyznaczyć jasność fragmentów zdjęcia dla dowolnie wybranych poziomów luminancji.

Tabela 1 przedstawia wartości jasności wyrażone w skali 0-255 kilku poziomów luminancji.

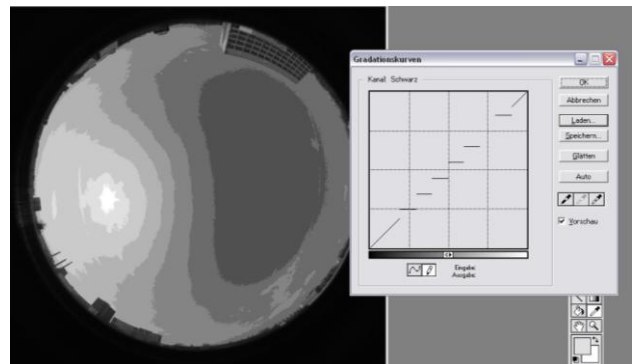
Tabela 1. Luminancja przypisana poszczególnym stopniom jasności.

Luminancja [cd/m <sup>2</sup> ]	Stopień jasności
2500	62
5000	75
10000	101
15000	127
20000	153
25000	179
30000	205

Dla wartości jasności obliczonych w powyższej tabeli, tworzona będzie izohelia. Będzie ona posiadała 7 stopni szarości odpowiadających wybranym poziomom luminancji. Każdy stopień zostanie uśredniony dla pewnego zakresu jasności, a jego rozpiętość jasności obliczona jest jako średnia arytmetyczna sąsiednich stopni. W ten sposób otrzymujemy następujące dane charakteryzujące poszczególne stopnie izohelii:

Tabela 2. Luminancja przypisana poszczególnym zakresom jasności.

Nr	Luminancja [cd/m <sup>2</sup> ]	Stopień jasności	Zakres jasności
1	2500	62	0 ÷ 75
2	7500	88	76 ÷ 101
3	12500	114	102 ÷ 127
4	17500	140	128 ÷ 153
5	22500	166	154 ÷ 179
6	27500	192	180 ÷ 205
7	32500	218	206 ÷ 255



Rys. 10. Izohelia wynikowa wraz z krzywą schodkową jasności.

Fig. 10. Resultant isohel with gradual curve of brightness.

Kolejnym krokiem jest stworzenie schodkowej krzywej charakterystycznej, odpowiadającej danym z tabeli 2.

Na tej podstawie opracowano obraz 7 stopniowej izohelii (rys. 10). Analizując otrzymany obraz zauważyć dużą dokładność odwzorowania różnic w luminancji dla obszarów pośrednich. Podobnie jak w przypadku obrazu HDR choć tym znacznie wyraźniej zarysowany jest obszar najciemniejszy w postaci charakterystycznego półksiężyca.

## 8. WNIOSKI I PODSUMOWANIE

Technika oparta na tworzeniu obrazów HDR daje bezpośrednie wyniki przez co narażona jest na mniejsze błędy w trakcie wykonywania pomiarów. Jednak dla rzetelnej oceny obrazów niezbędna jest dodatkowa kalibracja urządzenia. Otrzymane wyniki są także mniej czytelne w obszarach o niewielkiej luminancji.

Technika Izohelii oparta na pomiarach natężenia oświetlenia charakteryzuje się dużą czułością w dowolnych zakresach luminancji. Wyniki otrzymywane są w sposób pośredni za pomocą podstawowych urządzeń pomiarowych takich jak np. światłomierz precyzyjny. Podstawową wadą metody jest konieczność każdorazowego uzyskiwania parametrów punktu odniesienia.

Omówione w pracy dwie techniki pozyskiwania danych luminancji nieboskłonu stanowią pierwszy krok w kierunku opracowania atlasu warunków oświetleniowych dla obszaru Polski. Obie zaprezentowane techniki posiadają istotne zalety, zaś bazując na tej samej technice zbierania informacji mogą się nawzajem uzupełniać.

### COMPARISON OF SELECTED TECHNIQUES OF DIGITAL IMAGES CONVERSION FOR DETERMINATION OF EXTERNAL DAYLIGHTING CONDITIONS

**Summary:** Two outdoor methods of daylight availability determination are described in a paper. The results obtained using HDR (High Dynamic Range) and Isohel methods for clear sky condition are presented and compared. Both method can be used for future work concerns investigations of daylight availability in Poland.

#### Literatura

- [1] Larson G.W., Shakespeare R.; *Rendering with Radiance – The Art and Science of Lighting Visualization*, Morgan Kaufman Publishers Inc., San Francisco, California, 1998.
- [2] Heim D. (red.): *Komputerowa analiza oświetlenia dziennego i ocena parametrów komfortu wizualnego w pomieszczeniach*, Łódź 2007.
- [3] Heim D., Narowski P., Szczepańska E., *Obliczeniowy współczynnik zmętnienia atmosfery dla obszaru Polski, Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce*, tom II, s.91-97, Łódź, 2007.

- [4] Tadamura K., Nakamae E., Kaneda K., Baba M., Yamashita H., and Nishita T.; *Modeling of skylight and rendering of outdoor scenes*. *Comput. Graph. Forum*, 12(3), 1993.
- [5] Ruck. N. Roy, G. G. and Reid, G.; *Modelling the Sky – A Standard Digital Form*, proceedings, 3rd International Conference, International Buildings Performance Association, Adelaide, 16th-18th Aug, pp525-531, 1993.
- [6] Tregenza P.R., *Analysis sky luminance scans to obtain frequency distribution of CIE Standard General Skies*, *Lighting Research and Technology*, vol. 36, no. 4, pp. 271-281, 2004.
- [7] Jacobs A. *High Dynamic Range Imaging and its Application in Building Research* *Advances in Building Energy Research*, James & James, London, Vol.1, No.1, pp. 177-202, 2007.
- [8] Long B. *Fotografia cyfrowa*. Wydanie III, Wydawnictwo Helion, 2006.
- [9] Kim S. J., Pollefeys M. *Robust Radiometric Calibration and Vignetting Correction*, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 30, No. 4, pp. 562-576, Apr. 2008.
- [10] Tian-Tson Ng, Shih-Fu Chang, Ching-Yung Lin, Qibin Sun, *Passive-blind Image Forensics*, *Multimedia Security Technologies for Digital Rights*, Elsevier, 2006.
- [11] Mann S., Picard R.W., *Video Orbits of the Projective Group: A Simple Approach to Featureless Estimation of Parameters*, *IEEE Transactions On Image Processing*, vol. 8, pp. 1281-1295, 1997.
- [12] Debevec P.E., Malik J. *Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs*. *Proceedings of SIGGRAPH 97, Computer Graphics Proceedings*, Annual Conference Series, pp. 369-378, August 1997.
- [13] Mitsunga T., Nayer S. K. *Radiometric Self Calibration*. *IEEE Proc. Computer Vision and Pattern Recognition*, pp 374-380, 1999
- [14] Grossberg M. D., Nayar S. K. *What Can Be Known about the Radiometric Response from Images?* *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 26, No. 10, pp. 1272 – 1282, October 2004
- [15] Zheng Y., Lin S., Kang S.B. *Single-Image Vignetting Correction* *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 938-945, June 2004.
- [16] Larson G. W., *Overcoming Gamut and Dynamic Range Limitations in Digital Images*, *Proceedings of the Sixth Color Imaging Conference*, November, 1998.
- [17] Mantiuk R., Krawczyk G., Mantiuk R. Seidel H.P. *High Dynamic Range Imaging Pipeline: Perception-Motivated Representation of Visual Content* *Human Vision and Electronic Imaging XII*, Proc. of the SPIE, Vol. 6492, pp. 649212.1-649212.12, 2007