

## MONITORING ZEWNĘTRZNYCH WARUNKÓW OŚWIETLENIOWYCH ZA POMOCĄ TECHNIK FOTOMETRYCZNYCH – PIERWSZE DOŚWIADCZENIA.

Dariusz HEIM\*, Marcin JANICKI\*, Eliza SZCZEPAŃSKA\*,

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

**Streszczenie:** W pracy opisano przenośne stanowisko badawcze zlokalizowane na dachu budynku budownictwa Politechniki Łódzkiej. Omówiono procedurę prowadzenia pomiarów z wykorzystaniem technik zapisu obrazów cyfrowych oraz zastosowane urządzenia. Przedstawiono silne i słabe strony metody. Określono możliwości wykorzystania wyników dla potrzeb opracowania typowych lat oświetleniowych. Na koniec zamieszczono przykładowe wyniki pomiarów dla trzech tygodni marca 2011 roku.

**Słowa kluczowe:** oświetlenie dzienne, nieboskłon, luminancja, natężenia, pomiary.

### 1. WPROWADZENIE

Pełen monitoring warunków luminancji nieboskłonu jest niezbędny dla potrzeb określenia oświetlenia dziennego dla danej lokalizacji. W wielu krajach świata opracowano charakterystyczne typy nieboskłonów lub wręcz atlasy oświetleniowe, stanowiące zestaw danych do projektowania. W Polsce nadal brak jest rzetelnych danych pomiarowych, a uwzględniane modele nieboskłonów nie odpowiadają specyfice lokalnych warunków. Przyjmowane jako wiarygodne w analizach obliczeniowych mogą prowadzić do istotnych błędów.

Dla potrzeb analiz obliczeniowych [1], nieboskłon opisywany jest poprzez rozkład luminancji, zaś dodatkowymi parametrami charakterystycznymi są stopień zachmurzenia z uwzględnieniem wysokości rodzaju chmur. Podstawowym problemem tego typu badań jest dynamika zmian warunków oświetleniowych w różnych obszarach sfery niebieskiej. Jest to szczególnie zauważalne dla nieboskłonów pośrednich. W porównaniu do podstawowych parametrów pogodowych takich jak temperatura, wilgotność czy całko-

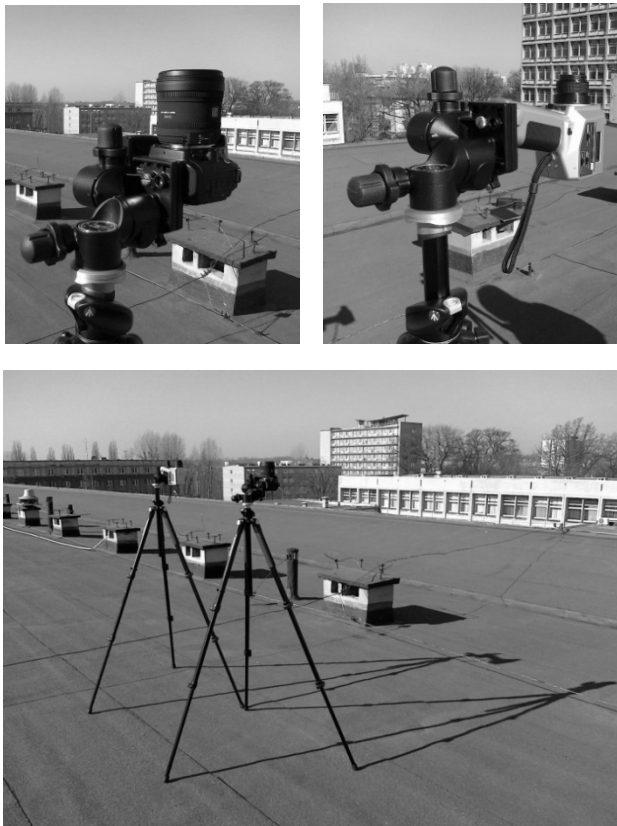
wite promieniowanie słoneczne, liczba niezbędnych cykli pomiarowych w przypadku natężenia oświetlenia powinna być wielokrotnie większa. Rozkład luminancji nieboskłonu może zmieniać się w bardzo krótkich okresach czasu, będąc skutkiem zmian warunków atmosferycznych, pory dnia i pory roku. W letnie, całkowicie bezchmurne dni, zewnętrzny poziom natężenia światła może osiągać wartości ponad 100 000 luxów, podczas gdy w całkowicie zachmurzony, zimowy dzień może wynosić jedynie 4 000 luxów. Zaproponowana metoda posiada wiele zalet, do których m.in. należą: dowolny zakres wielkości mierzonych parametrów, bardzo wysoka dokładność wielkości punktu pomiarowego na sferze niebieskiej, swobodne uśrednianie wyników dla wybranych obszarów nieboskłonu, praktycznie nieograniczona liczba pomiarów [2,3]. Pierwsze próby określenia metody i jej podstawowych założeń zamieszczono w pracy [4,5].

Bazowym interwałem pomiarowym wykorzystywanym w stacjach meteorologicznych IMGW są 3 godziny. Częstotliwość pomiarów dokonywana przy użyciu techniki fotometrycznej opisanej w niniejszej pracy wynosi 1 godzinę.

### 2. OPIS STANOWISKA BADAWCZEGO

Stanowisko badawcze zainstalowano na dachu budynku budownictwa Politechniki Łódzkiej, 51°74'74"N, 19°45'22"E. Składa się ono z zestawu do wykonywania zdjęć cyfrowych - aparatu Nikon D80 wyposażonego w szerokokątny obiektyw Sigma Fish-eye 4,5mm f/2,8. Zestaw ustawiony jest na statywie pozwalającym na idealne wypoziomowanie i zapewnienie pionu dla osi optycznej obiektywu. Równolegle na drugim statywie zainstalowano miernik luminancji Konika-Minolta, typ LS-100. Ostatnim

elementem zestawu jest miernik natężenia oświetlenia służący do pomiaru natężenia na płaszczyznę poziomą. Kompletny zestaw urządzeń pokazano na rysunku 1. Zestaw ma charakter przenośny i jest codziennie demontowany z uwagi na warunki atmosferyczne.



Rys. 1. Zestaw pomiarowy na dachu budynku budownictwa.  
Fig. 1. Measurement set on the roof of university building.

DATA:			DZIEŃ TYGODNIA:				
Lp.	Godzina	Czas Przystąpienia	Przed zdjęciami		Po zdjęciach		Warunki nieboskłonu
			Natężenie	Luminancja	Natężenie	Luminancja	
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							
11.							
12.							
13.							
14.							

Rys. 2. Karta pomiarowa.  
Fig. 2. Measurement sheet.

### 3. PROCEDURA BADAWCZA

Procedura pomiarów została ustalona wg następującego schematu. Pomiary dokonywane są co jedną godzinę. Wartość natężenia oświetlenia na płaszczyznę poziomą oraz luminancji zenitu odczytywana jest dwukrotnie dla każdej serii. Pierwszy odczyt dokonywany jest przed rejestracją serii obrazów, drugi zaraz po rejestracji. Rejestracja obrazu nieboskłonu odbywa się jednorazowo poprzez wykonanie serii 5 zdjęć różniących się stopniem ekspozycji odpowiadającym 1 EV. Pomiaru ekspozycji dokonywano sposobem punktowym oraz matrycowym sprawdzając wpływ przyjętej metody na zakres tonalny otrzymywanych obrazów. Dodatkowo, w sposób opisowy dokonywana jest ocena aktualnych warunków zachmurzenia. Wszystkie wyniki zapisywane są na dziennej karcie pomiarowej, której schemat zamieszczono na rysunku 2.

Pomiary nie są dokonywane w sposób regularny. Możliwość wykonania pomiaru zdeterminowana jest względami personalnymi, warunkami pogodowymi i występowaniem w kalendarzu dni wolnych od pracy oraz świąt. Aktualnie zespół wykonujący w sposób stały badania składa się z trzech osób.

### 4. MOCNE I SŁABE STRONY

Uniwersalny charakter metody i pierwsze doświadczenia z prowadzonych w niewielkich odstępach czasu pomiarów pozwoliły na zidentyfikowanie zarówno mocnych, jak i słabych stron metody. Do silnych punktów należy zaliczyć:

- odczyt wartości z dowolną częstotliwością, możliwe bardzo krótkie odstępy czasu pomiędzy pomiarami,
- możliwość dostosowania metody do zmieniających się warunków pogodowych,
- mobilność zestawu urządzeń,
- możliwość wprowadzenia automatyzacji procesu.

Sama metoda nie jest jednak pozbawiona pewnych wad. Do najważniejszych należą:

- konieczność codziennego rozstawiania sprzętu,
- brak możliwości prowadzenia pomiarów w czasie opadu atmosferycznego – nawet niewielka mżawka potrafi uniemożliwić pomiary,
- niedogodności i utrudnienia wynikające z silnego wiatru,
- potrzeba pełnego zaangażowania osoby dokonującej pomiarów,
- brak możliwości wykonania odczytu dla tej samej godziny każdego dnia.

## 5. WYNIKI BADAŃ

Na rysunku 3 zamieszczono użyte symbole, zaś na rysunkach od 4 do 7 wyniki monitoring nieboskłonu. W tabeli 1 pokazano przykładowe wybrane wyniki luminancji zenitu oraz natężenia oświetlenia na płaszczyznę poziomą zarejestrowane w danym okresie.

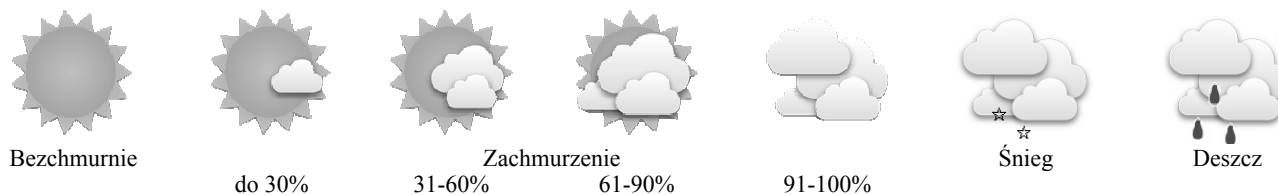
Dominującym rodzajem nieboskłonu występującym w omawianym przedziale czasu był nieboskłon bezchmurny oraz częściowo zachmurzony. Należy zauważyć dynamikę zjawisk występujących w szczególności podczas częściowego zachmurzenia i jej istotny wpływ na otrzymywane rezultaty. W niektórych przypadkach nieboskłonu zachmurzonego w czasie trwania pomiaru pojawiał się opad deszczu co uniemożliwiało wykonanie odczytów.

Wyniki prezentowane w tablicy 1 dotyczą bezchmurnego oraz zachmurzonego, niejednorodnego typu nieboskłonu. Dla nieboskłonu bezchmurnego luminancja zenitu charakteryzowała się wartością stabilną na poziomie pomiędzy 1000 a 2500 cd/m<sup>2</sup>. W przypadku nieboskłonu pochmurnego, wartości luminancji zmieniają się gwałtownie od kilkuset, do ponad 12 tys. cd/m<sup>2</sup>. Są one w dużej mierze zdeterminowane rodzajem (jasnością) chmur będących w danym momencie w zenicie.

## 6. PODSUMOWANIE

Prezentowane wyniki dotyczą jedynie pewnego krótkiego okresu czasu. Głównym zadaniem postawionym przez autorów w początkowej fazie projektu było opracowanie procedury pomiarowej. Otrzymane rezultaty stanowią będą zestaw pierwszych danych składających się na charakterystyczny rok oświetleniowy dla miasta Łodzi. Na jego podstawie podjęta zostanie próba matematycznego opisanie lokalnych warunków oświetleniowych.

Podstawowe wnioski wynikające z pierwszych doświadczeń monitoringu warunków nieboskłonu techniką fotometryczną dotyczą dynamiki zmian luminancji na sferze niebieskiej, w szczególności dla nieboskłonów pośrednich. Ten rodzaj nieboskłonu okazał się najtrudniejszym zarówno w czasie wykonywania pomiarów jak i interpretacji otrzymanych wyników. Przy tak dynamicznych warunkach pogodowych niezbędnym wydaje się częściowe zautomatyzowanie procedury zbierania danych.



Rys. 3. Oznaczenie symboli.  
Fig. 3. Symbols meaning.

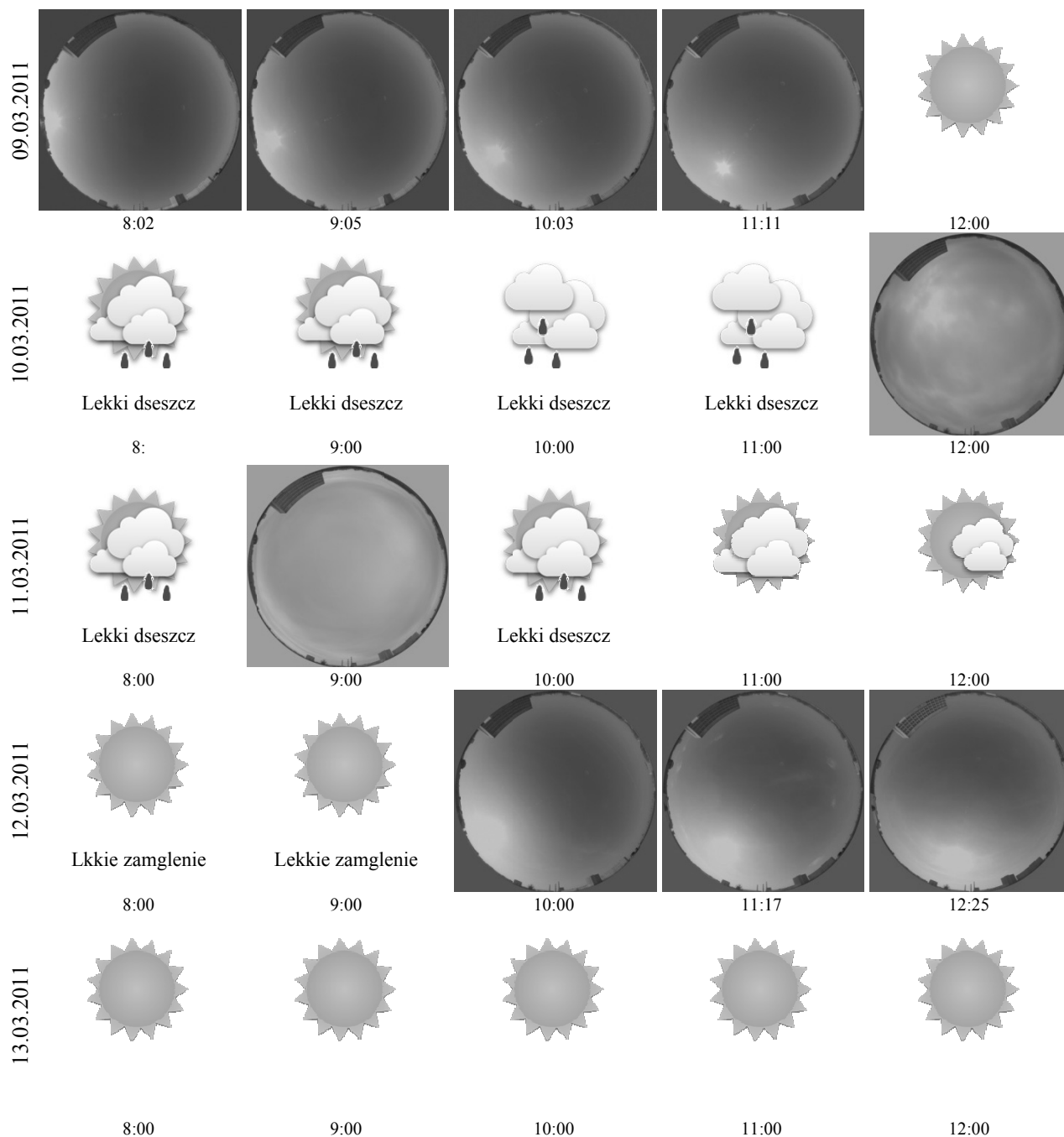
## MONITORING OF DAYLIGHTING CONDITIONS USING PHOTOMETRIC TECHNIQUES – FIRST EXPERIENCES

**Summary:** Movable, measurement stand placed on the roof of university building is presented in a paper. The measurement procedure is described as well as using devices. Strengths and weaknesses of the method are discussed. Practical application of obtained results for definition of Typical Daylighting Years is defined. Finally, some results obtained during three week period in March 2011 is presented and discussed.

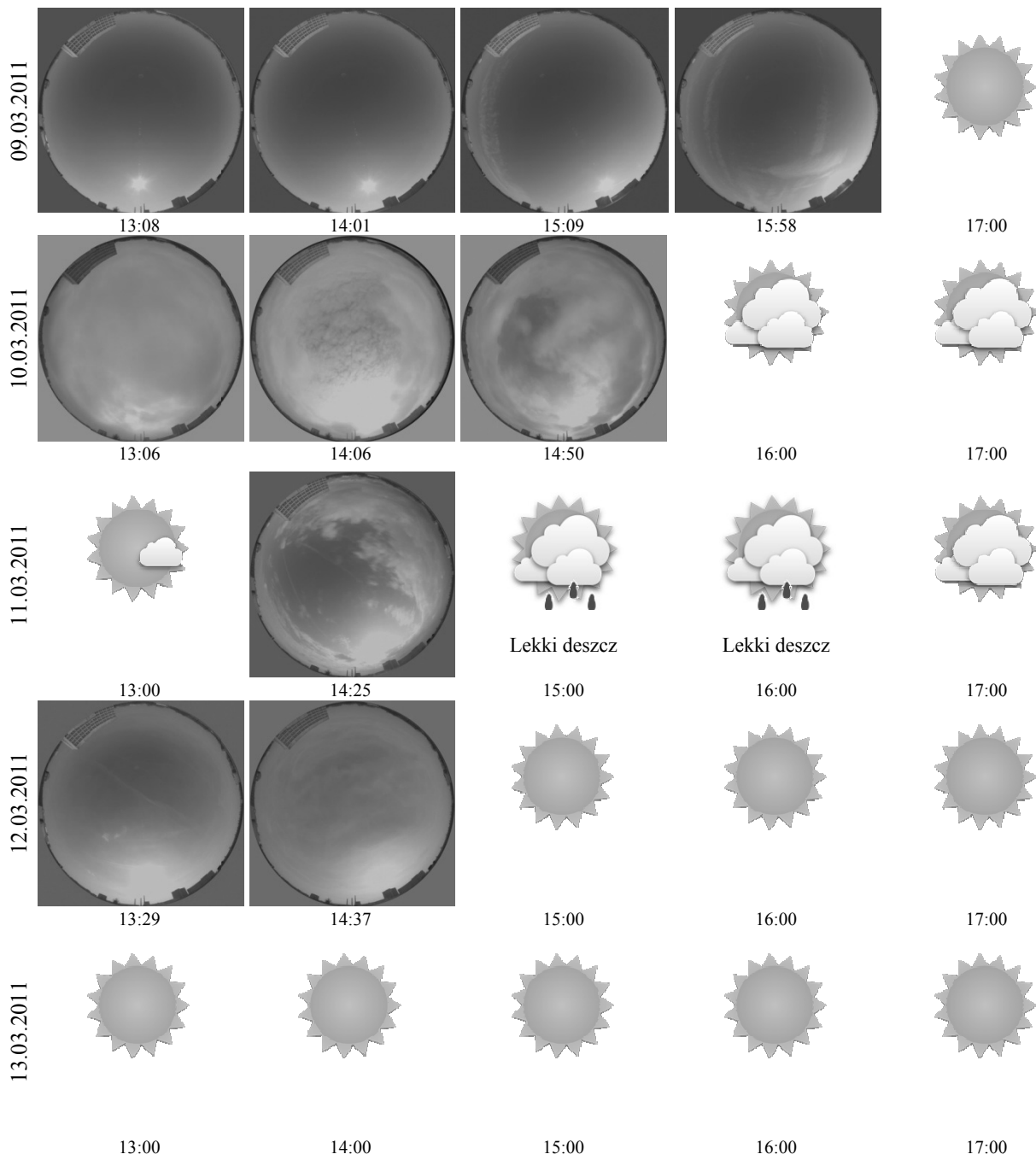
### Literatura

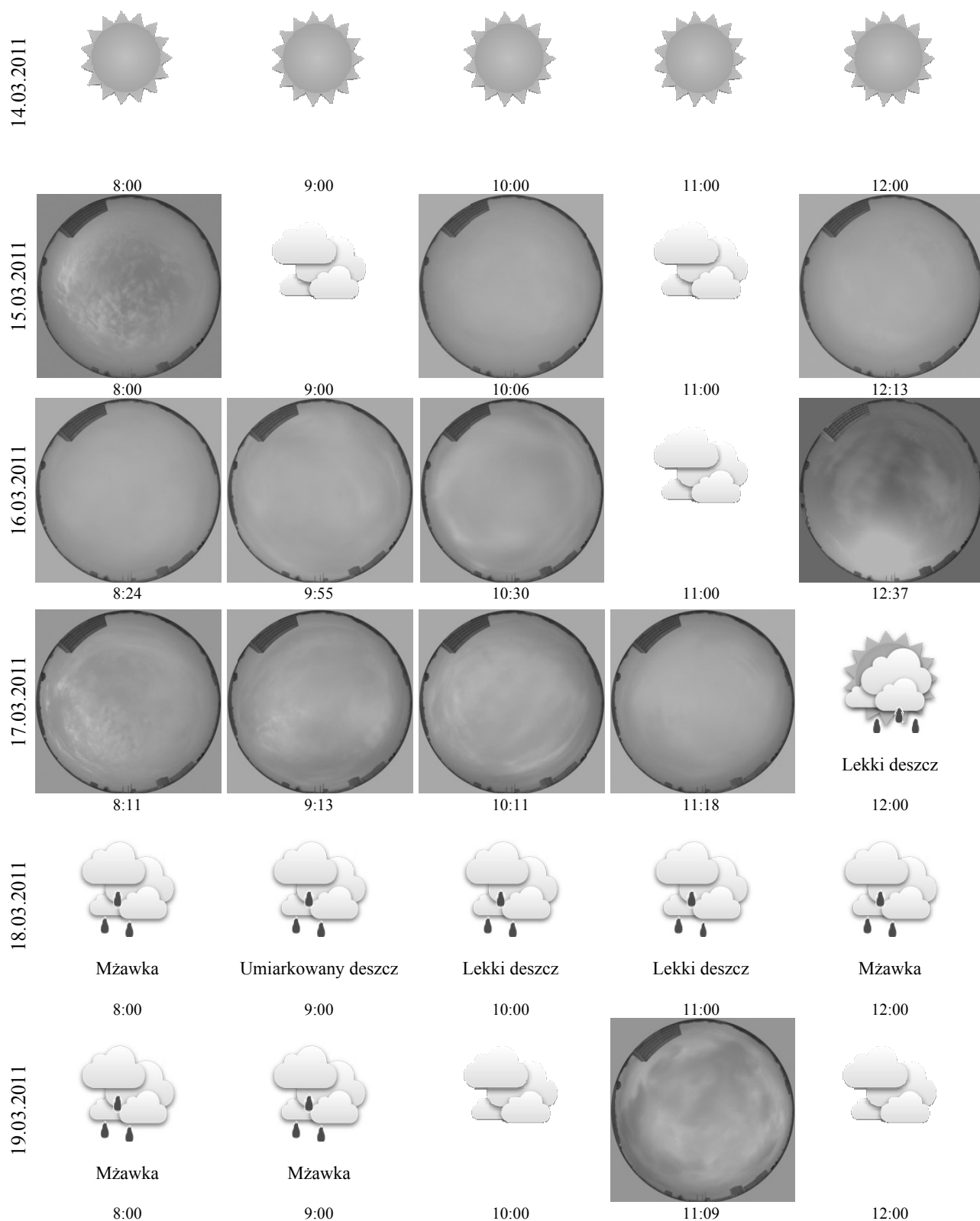
- [1] Larson G.W., Shakespeare R.; *Rendering with Radiance – The Art and Science of Lighting Visualization*, Morgan Kaufman Publishers Inc., San Francisco, California, 1998.
- [3] Tadamura K., Nakamae E., Kaneda K., Baba M., Yamashita H., and Nishita T.; *Modeling of skylight and rendering of outdoor scenes*. *Comput. Graph. Forum*, 12(3), 1993.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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, s. 37-44, 2009.

*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”.*



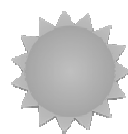
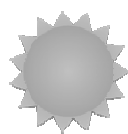
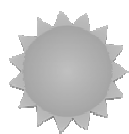
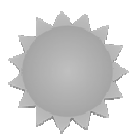
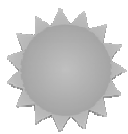
Rys. 4. Wyniki pomiarów okresu od 9 do 13 marca 2011.  
 Fig. 4. Measurement results from 9<sup>th</sup> to 13<sup>th</sup> of March 2011.



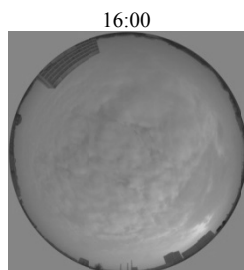
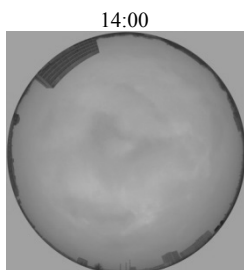


Rys. 5. Wyniki pomiarów okresu od 14 do 19 marca 2011.  
 Fig. 5. Measurement results from 14<sup>th</sup> to 19<sup>th</sup> of March 2011.

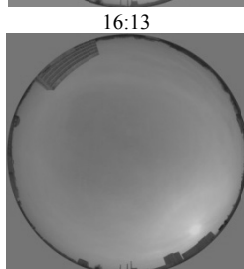
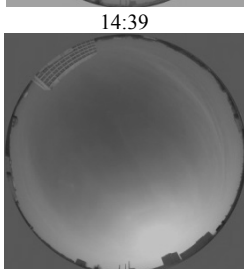
14.03.2011



15.03.2011



16.03.2011



17.03.2011



Lekki deszcz

Lekki deszcz

Lekki deszcz

Lekki deszcz

Lekki deszcz

18.03.2011



Lekki deszcz

Lekki deszcz

Lekki deszcz

Lekki deszcz

Lekki deszcz

19.03.2011



Mżawka

Mżawka

Mżawka

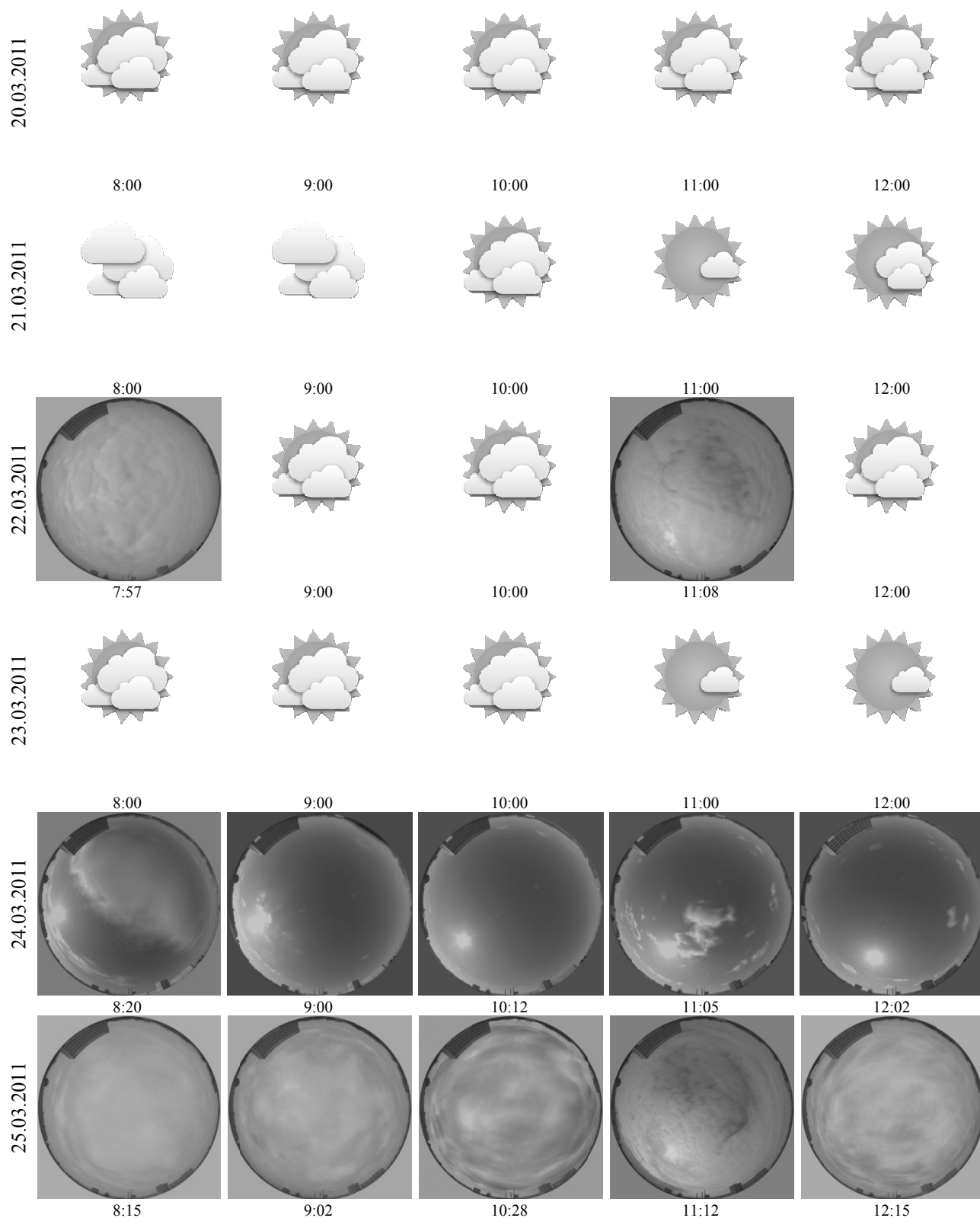
13:00

14:00

15:00

16:00

17:00



Rys. 6. Wyniki pomiarów okresu od 21 do 25 marca 2011.  
 Fig. 6. Measurement results from 21<sup>st</sup> to 25<sup>th</sup> of March 2011.

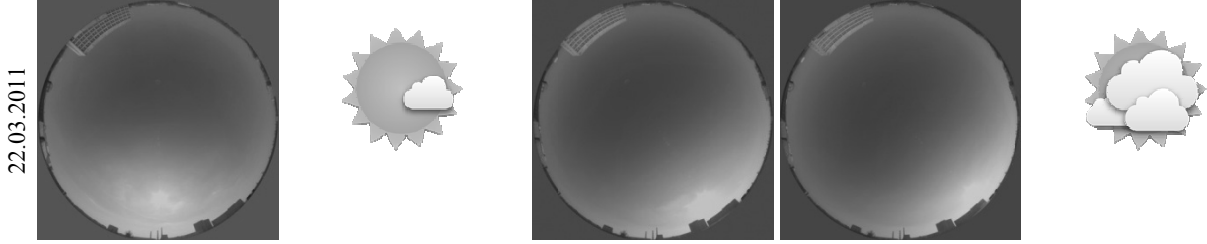




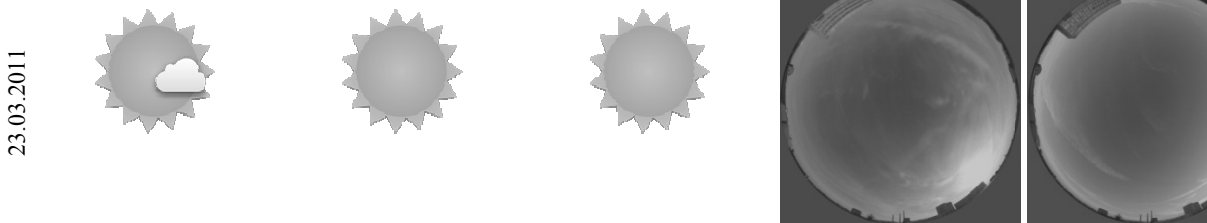
13:00                      14:00                      15:00                      16:00                      17:00



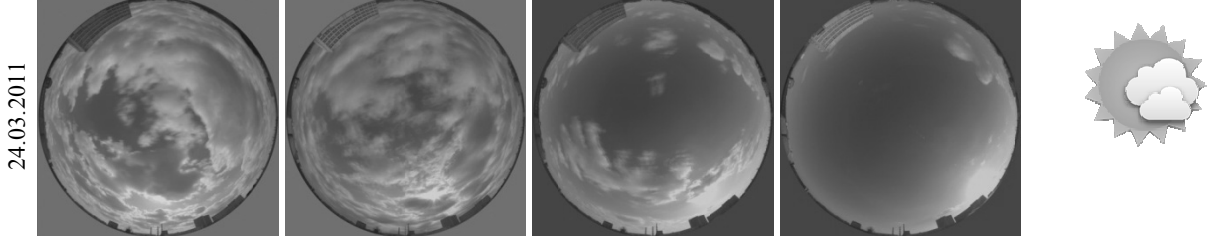
13:00                      14:00                      15:00                      16:00                      17:00



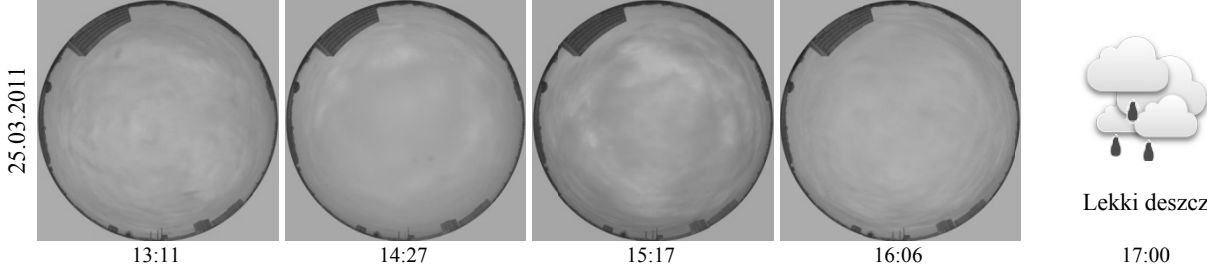
13:07                      14:00                      15:09                      16:01                      17:00



13:00                      14:00                      15:00                      16:09                      17:12

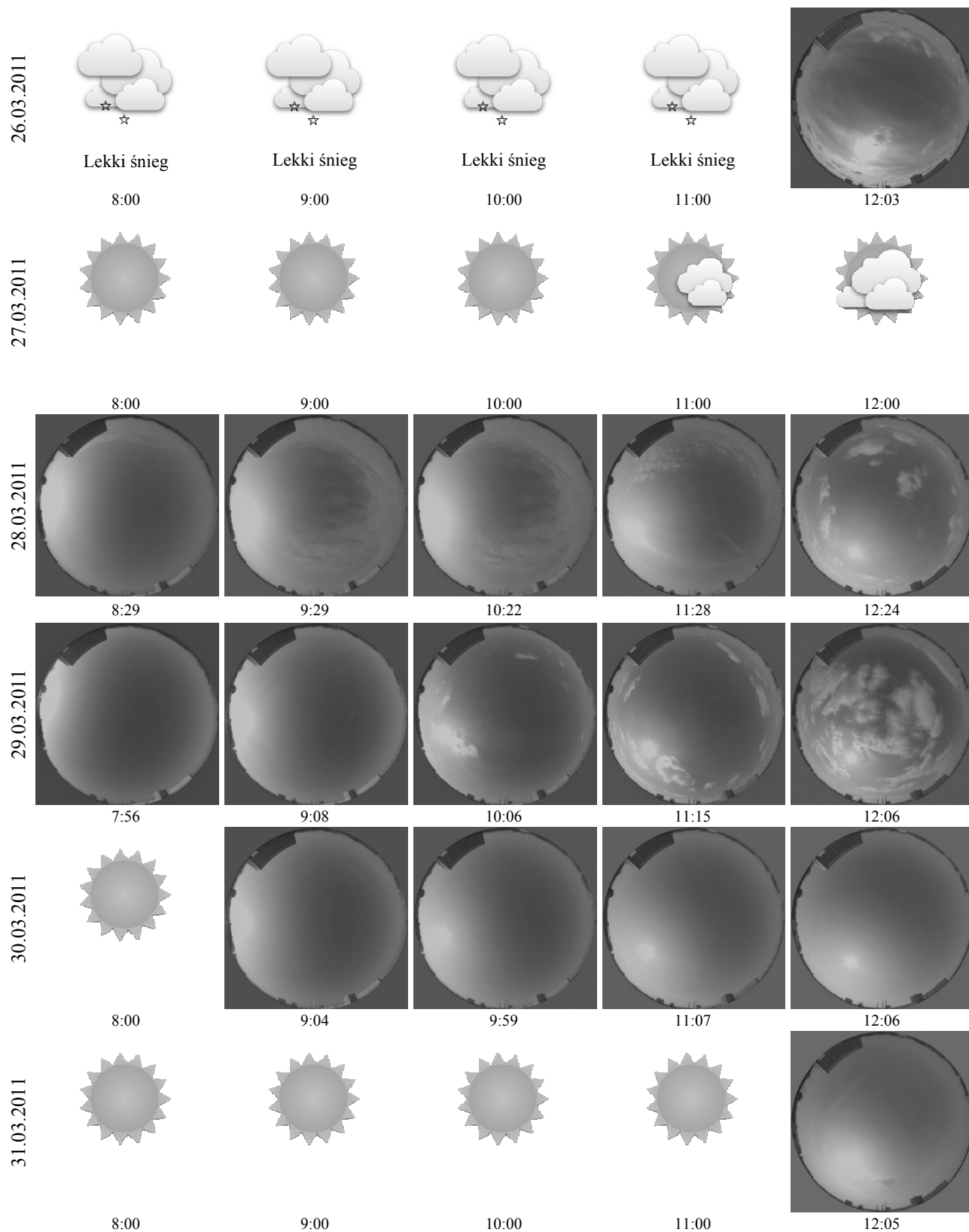


13:16                      14:14                      15:11                      16:18                      17:00



13:11                      14:27                      15:17                      16:06                      17:00

Lekki deszcz



Rys. 7. Wyniki pomiarów okresu od 26 do 31 marca 2011.  
Fig. 7. Measurement results from 26<sup>th</sup> to 31<sup>th</sup> of March 2011.

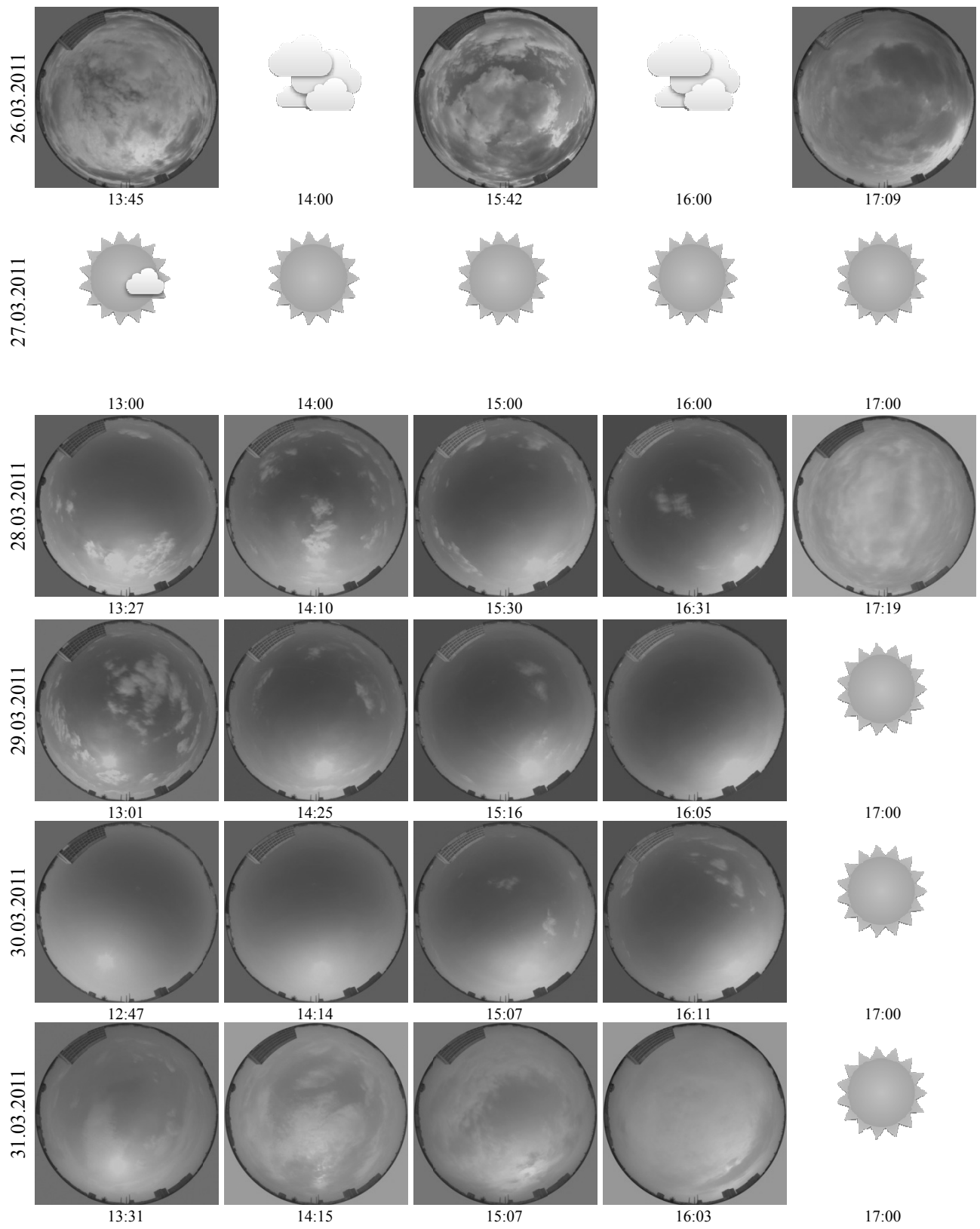


Tabela 1. Przykładowe wyniki pomiarów natężenia i luminancji  
 Table 1. Results of illuminance on horizontal and luminance

	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00
09.03.2011					
1.	0/8 0/8	0/8 0/8	0/8 0/8	0/8 0/8	0/8 0/8
2.	---	---	---	---	---
3.	25300-25700 lux	42800 lux	55200-54400 lux	63400-63500 lux	-
4.	1121-1116 cd/m <sup>2</sup>	1544-1573 cd/m <sup>2</sup>	1947-1919 cd/m <sup>2</sup>	2300-2176 cd/m <sup>2</sup>	-
25.03.2011					
1.	8/8	8/8 8/8	8/8 8/8	6/8	7/8
2.		600 - 1000 m Cu --	600 - 1000 m Cu --		
3.	7050-6950 lux	17190-16960 lux	9960-8920 lux	48000-54800 lux	27200-27000 lux
4.	2751-2565 cd/m <sup>2</sup>	6780-7148 cd/m <sup>2</sup>	5426-2780 cd/m <sup>2</sup>	12660-12340 cd/m <sup>2</sup>	12180-7867 cd/m <sup>2</sup>
09.03.2011					
1.	0/8 0/8	0/8 0/8	0/8 0/8	2/8 0/8	2/8 0/8
2.	---	---	---	> 2500 m -- Ci	> 2500 m -- Ci
3.	60900-60300 lux	51500-51800 lux	34500-34300 lux	20300-20000 lux	-
4.	2246-2240 cd/m <sup>2</sup>	2002-2005 cd/m <sup>2</sup>	1647 cd/m <sup>2</sup>	1211-1203 cd/m <sup>2</sup>	-
25.03.2011					
1.	7/8	8/8 7/8	7/8	8/8 7/8	8/8 7/8
2.		600 - 1000 m Sc --		600 - 1000 m Sc --	600 - 1000 m Sc --
3.	17800-17500 lux	9490-9280 lux	5720-5840 lux	2550-2460 lux	-
4.	6531-6809 cd/m <sup>2</sup>	3508-3222 cd/m <sup>2</sup>	1897-2152 cd/m <sup>2</sup>	976-873 cd/m <sup>2</sup>	-