

## ZMIANA NATĘŻENIA OŚWIETLENIA W CZASIE DLA ZADANYCH WARUNKÓW BRZEGOWYCH – NIEBOSKŁON POCHMURNY.

Eliza SZCZEPAŃSKA\*, Dariusz HEIM\*

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

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono wyniki badań natężenia oświetlenia wykonanych w modelu w rzeczywistych warunkach nieboskłonu pochmurnego. Wybrano rezultaty zarejestrowane dla wybranych dni marca 2011. Pomiary z wykorzystaniem precyzyjnego zestawu urządzeń wykonano przy użyciu autorskiego stanowiska badawczego *Heliobox*. Na podstawie otrzymanych rozkładów natężenia oświetlenia oceniono dynamikę zmian zachodzących zjawisk w zależności od zmieniającej się luminancji nieboskłonu. Przedstawione wyniki są jednymi z pierwszych, uzyskanych w ramach realizacji projektu badawczego „*Walidacja metody TDI oceny oświetlenia wewnątrz światłem dziennym*”.

**Słowa kluczowe:** natężenie oświetlenia, *Heliobox*, metoda TDI, walidacja, nieboskłon pochmurny.

### 1. WPROWADZENIE

Głównym celem realizacji całości zadania badawczego jest eksperymentalna walidacja autorskiej metody oceny oświetlenia wewnątrz światłem dziennym TDI. Metoda zaproponowana opisana została szczegółowo w monografii [1]. Zaproponowane podejście polega na wyznaczeniu Wskaźnika Oświetlenia Dziennego (*TDI – Total Daylight Index*), którego poprawność zostanie poddana weryfikacji poprzez badania w warunkach rzeczywistych.

Założenia metody opracowano z wykorzystaniem technik symulacji komputerowych wykonanych dla wybranych, teoretycznych warunków brzegowych, wartości luminancji nieboskłonów. Eksperymentalna walidacja pozwoli na korektę współczynników modelu, otrzymanych z symulacji wartości natężenia oświetlenia oraz przyjętych założeń samej metody.

Ostatecznym celem jest upowszechnienie metody i wprowadzenie jej do szerokiego stosowania poprzez stworzenie ogólnodostępnej witryny internetowej z wbudowanym mo-

dułem obliczeniowym. Niniejszy artykuł omawia początkowe wyniki badań uzyskane w pierwszych tygodniach realizacji projektu.

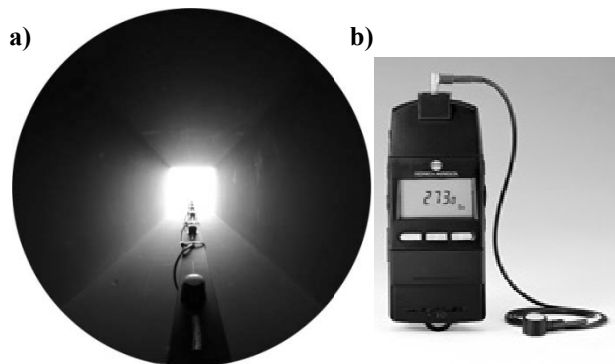
### 2. HELIOBOX

Zaprojektowane i zrealizowane przez autorów stanowisko pomiarowe to tzw. skrzynka słoneczna (*Heliobox*), które jest modelem prostopadłościennego pomieszczenia o wymiarach 3×3×9 m wykonanego w skali 1:6. Urządzenie posiada możliwość wymiany wszystkich ścianek wewnętrznych, dzięki czemu z łatwością może ulec zmianie kolorystyka otaczających powierzchni i co się z tym wiąże zmiana współczynnika odbicia. *Heliobox* umożliwia także regulację współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego poprzez zmianę rodzaju przeszklenia. Dodatkowo urządzenie można wysunąć poza obrys elewacji (w czasie dotychczasowych pomiarów na stronę południową) jak i zmienić jego położenia względem stron świata. Możliwa jest więc pełna ekspozycja na światło dzienne.

W osi poziomej urządzenia, na wysokości odpowiadającej wysokości płaszczyzny roboczej nad powierzchnią podłogi, zamocowano dziewięć, niezależnych czujników pomiarowych, rys. 1 i 2. Dziesiąty czujnik zainstalowano na poziomej powierzchni zewnętrznej znajdującej się ponad *Helioboxem* w linii oszklenia. Głowice pomiarowe zostały połączone szeregowo do miernika oświetlenia Konica-Minolta serii T-10 o zakresie pomiarowym od 0.01 do 299,900 lx i podłączone do komputera PC. Połączenie takie pozwala na wykonanie jednoczesnych pomiarów (z zadem interwałem czasowym) w wybranych punktach bez konieczności przesuwania głowic. Pierwsze próby odbywały się z wykorzystaniem jedynie jednej głowicy pomiarowej

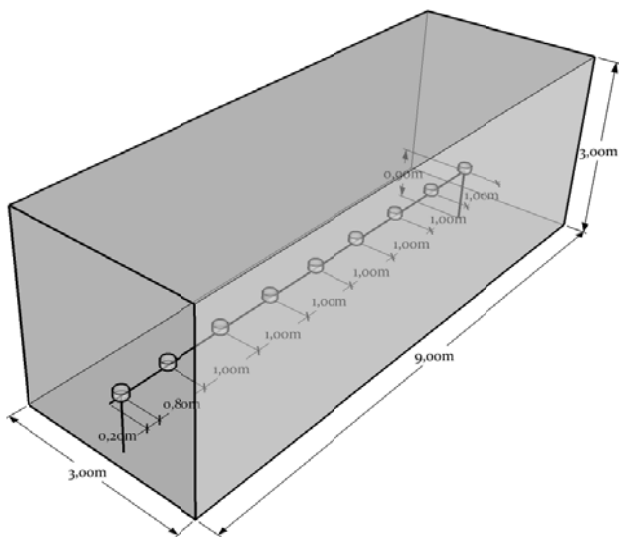
zamocowanej na ruchomym ramieniu [2,3]. Dużą zaletą zastosowanych czujników pomiarowych jest ich niewielki rozmiar - średnica tylko 16 mm (średnica obszaru pomiaru 14 mm), przez co minimalizowany jest ich wpływ na rozkład natężenia oświetlenia w analizowanym stanowisku.

Miernik T-10 umożliwia dodatkowo, wprowadzenie współczynników korekcji barwy w celu dopasowania charakterystyki do konkretnego źródła światła.



Rys. 1. a) wnętrze Helioboxu. b) miernik serii T-10 z głowicą pomiarową.

Fig. 1. a) Interior of Heliobox, b) meter T-10 with measurement head.



Rys. 2. Schemat usytuowania głowic pomiarowych.

Fig. 2. Scheme of head distribution in Heliobox.

### 3. WYNIKI BADAŃ

Do analizy wybrano wyniki uzyskane jedynie dla nieboskłonów pochmurnych. Pomiary w *Helioboxie* dokonywano w odstępach co 1 minuta. Jednocześnie w odstępach co 1 godzina monitorowano warunki nieboskłonu techniką fotometryczną oraz dokonywano pomiaru luminancji zenitu.

Z uwagi początkowy charakter eksperymentu uzyskane wyniki dotyczyły jedynie pewnych szczególnych przypadków rozwiązań materiałowych określonych poprzez współczynniki T i D podane dla każdego z prezentowanych przypadków.

Szczegółowe wyniki badań zilustrowano graficznie na rysunkach 3÷12. Charakter prezentowanych zmian we wszystkich przypadkach jest podobny i charakteryzuje się znacznym spadkiem wartości natężenia powyżej głębokości 2m. Ponadto warto zauważyć, iż pomimo teoretycznie równomiernego zachmurzenia istnieje pewna dynamika zmian rejestrowana w czasie pomiarów zmieniającym się w czasie natężeniem. Zmiany te nie są jednak spowodowane rejestrowanymi wielkościami natężenia a jedynie dynamiką zmian luminancji poszczególnych części nieboskłonu. Na podstawie wyników zarejestrowanych dla okresów półgodzinnych widać, że natężenie zmienia się w niektórych przypadkach kilkakrotnie. Bardzo rzadko występuje przypadek, w którym zmiany te nie wpływają w sposób istotny na wynikowe rozkłady natężenia.

Istotne natomiast są różnice zaobserwowane pomiędzy poszczególnymi seriami. Pomimo, iż wszystkie przypadki nieboskłonów scharakteryzowane zostały jako pochmurny, różnice w otrzymanych wartościach natężenia wynoszą maksymalnie nawet około kilkunastokrotnie, rys. 7 a 9. W przypadku zilustrowanym na rysunku 7 pomiar dotyczy godzin porannych, zaś na rysunku 9 popołudniowych. Luminancja fragmentu nieboskłonu będącego w polu bezpośredniego oddziaływania na przeszklenia *Helioboxu* jest najprawdopodobniej różna zgodnie z wysokością kątową Słońca. Tym samym przy niewielkiej warstwie jednorodnych chmur może mieć istotny wpływ na luminancję poszczególnych fragmentów nieba i powodować różnice w otrzymanych wynikach.

Analizując wyniki zamieszczone na rysunkach 3÷12 stwierdzono, że największe, 6-krotne amplitudy zmian zarejestrowano dla 10 marca o godzinie 12. Najmniejsze zaś w dniu 15 marca o godzinie 13. W obu przypadkach zarówno zmierzona wartość luminancji zenitu jak i natężenie na płaszczyznę poziomą nie różniły się w sposób istotny mogący tłumaczyć rejestrowane w *Helioboxie* wartości. Na chwilę obecną brak jest wystarczająco dużo danych aby zdecydowanie określić przyczynę występujących efektów. Jednak podstawowy wniosek wynikający z pierwszej serii pomiarów sugeruje bardziej szczegółowe monitorowanie warunków nieboskłonu szczególnie w przypadku pewnych niejednorodności w luminancji poszczególnych chmur. W dotychczasowych próbach nie zarejestrowano warunków typowych dla tzw. modelu *overcast*, czyli silnie, jednorodnie zachmurzonego nieboskłonu [4].

### 4. WNIOSKI

Ze względu początkowy charakter analiz, niewielką ilość otrzymanych wyników oraz krótki czas prowadzonych ba-

dań trudno jest sformułować pełne wnioski o charakterze ilościowym. Większość otrzymanych wyników ma charakter poznawczy i pozwala określić obszary dalszych badań oraz ewentualne zagrożenia mogące mieć wpływ na ostateczny wynik projektu. Głównym celem niniejszego artykułu jest identyfikacja problemu i występujących rozbieżności w otrzymanych wynikach, nie zaś określenie tych rozbieżności.

Główny wniosek wynikający z prowadzonych dotychczas badań dotyczy powszechnie przyjmowanego w obliczeniach energetycznych systemów oświetlenia modelu nieba zachmurzonego. Typowy model „*overcast sky*” praktycznie nie wystąpił w czasie dotychczasowych badań i nie jest nieboskłonem charakterystycznym dla warunków Polskich w miesiącu marcu. Natomiast zarejestrowane modele nieba, określane powszechnie jako zachmurzone, charakteryzują się całkowicie inną specyfiką a przede wszystkim ich luminancja ma znacznie bardziej zmienny charakter.

#### VARIABILITY OF ILLUMINATION FOR GIVEN BOUNDARY CONDITIONS - OVERCAST SKY

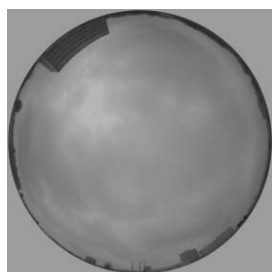
**Summary:** The measurement results of illuminance under real weather conditions are presented in following paper. The results obtained during March 2011 were selected and discussed. Investigation was conducted using original measurement stand *Heliobox*. Based on the illuminance distribution the dynamic of daylight availability under changeable sky conditions was estimated. Presented results are one of the first during realisation of the following project “*Walidacja metody TDI oceny oświetlenia wnętrza światłem dziennym*”.

#### 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] Heim D., Szczepańska E.: Wstępna walidacja metody TDI dla warunków nieboskłonu zachmurzonego, *Materiały 55 Konferencji Naukowej KILiW PAN i KN PZiTb* Krynica 2009, s. 601-607
- [3] Heim D., Szczepańska E.: Total Daylight Index (TDI) – methodology and initial validation, *Energy efficiency and new approaches*, Istanbul Technical University, Istanbul, 2009, s. 895-899
- [4] CIE, *Spatial Distribution of Daylight - Luminance Distributions of Various Reference Skies*, Technical Report, 1995.

---

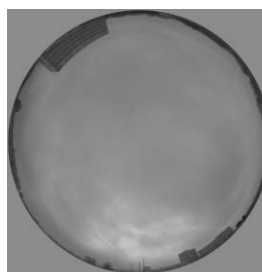
*Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010-13 jako projekt badawczy (umowa nr 2670/B/T02/2010/39).*



10-03-2011 11:59

NATĘŻENIE:  
13100 lx 11300 lx  
LUMINANCJA ZENITU:  
7412 cd/m<sup>2</sup> 3878 cd/m<sup>2</sup>  
T = 0,20 D = 0,89

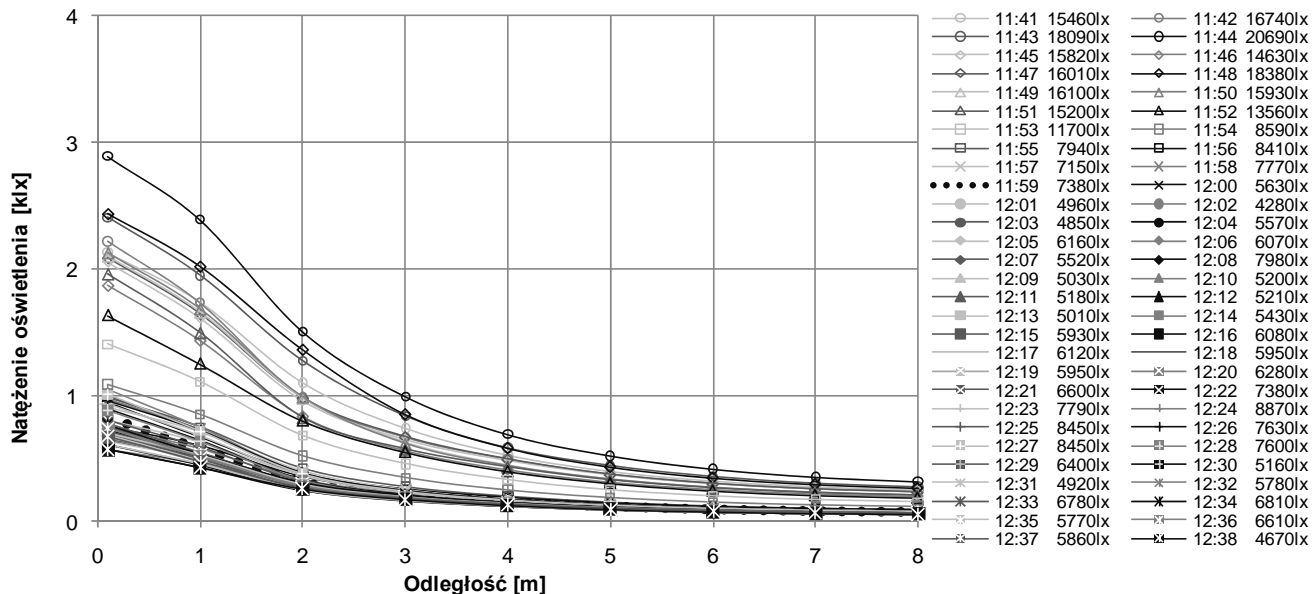
Dla rys. 3.



10-03-2011 13:06

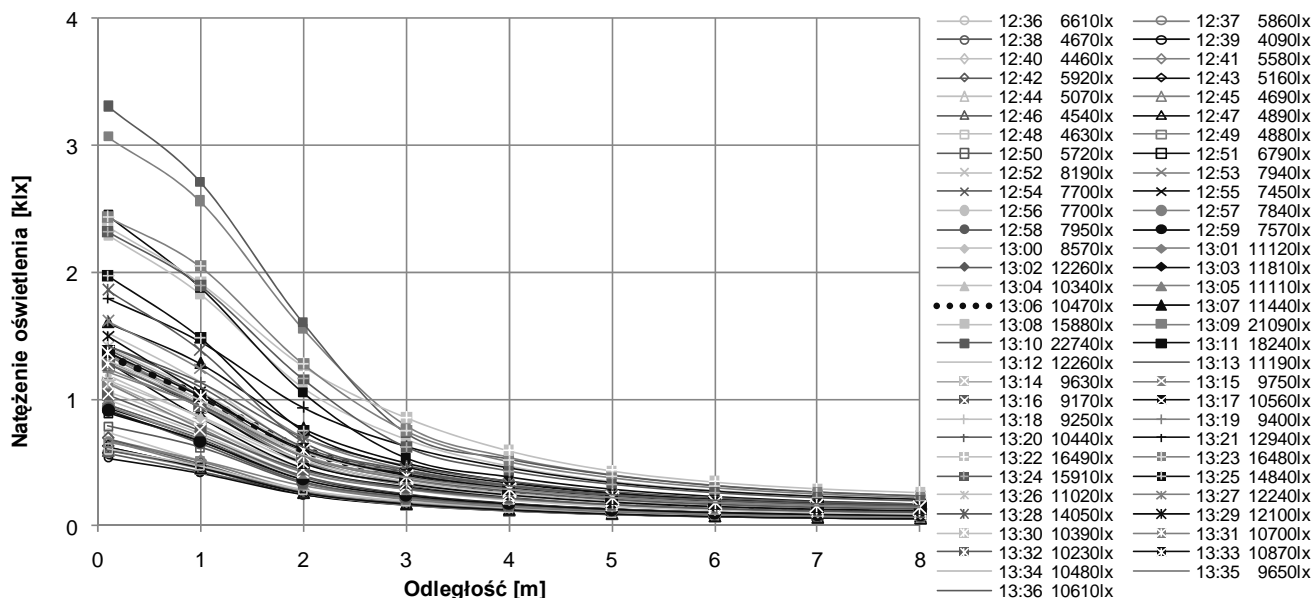
NATĘŻENIE:  
22900 lx 26300 lx  
LUMINANCJA ZENITU:  
6101 cd/m<sup>2</sup> 7646 cd/m<sup>2</sup>  
T = 0,20 D = 0,89

Dla rys. 4.



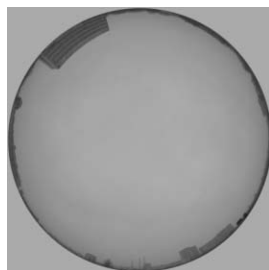
Rys. 3. Rozkład natężenia oświetlenia.

Fig. 3. Illuminance distribution.



Rys. 4. Rozkład natężenia oświetlenia.

Fig. 4. Illuminance distribution.



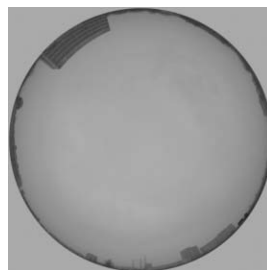
15-03-2011 10:06

NATEŻENIE:  
12800 lx 12800 lx

LUMINANCJA ZENITU:  
4837 cd/m<sup>2</sup> 4845 cd/m<sup>2</sup>

T = 0,45 D = 0,80

Dla rys. 5.



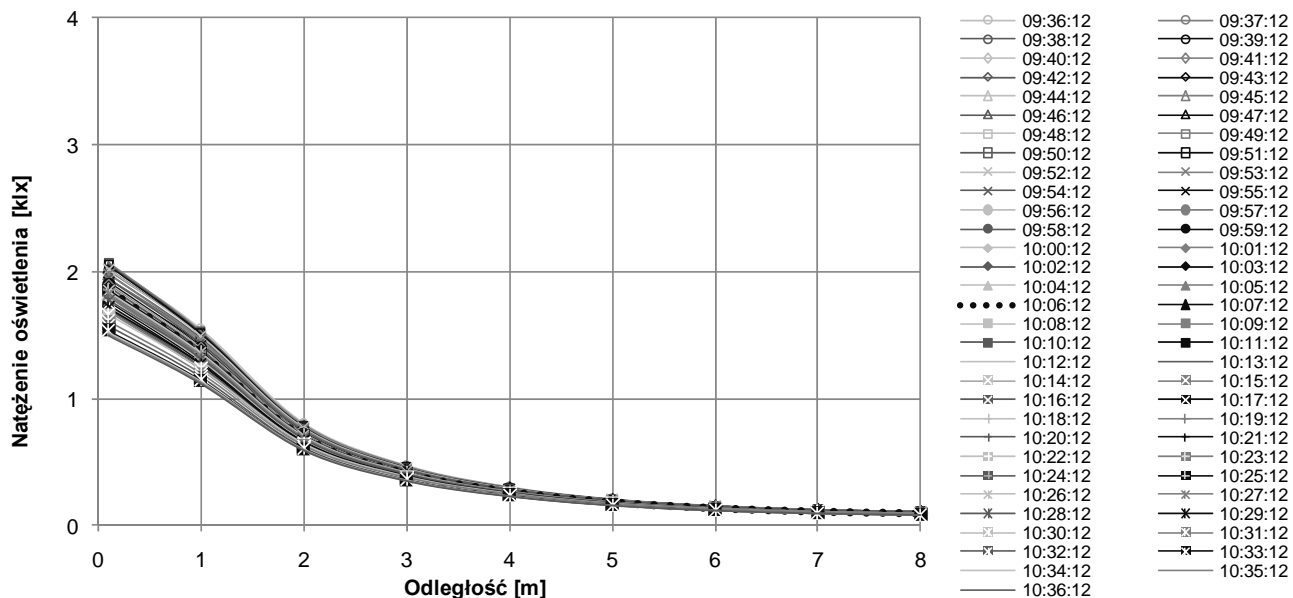
15-03-2011 12:13

NATEŻENIE:  
9650 lx 9670 lx

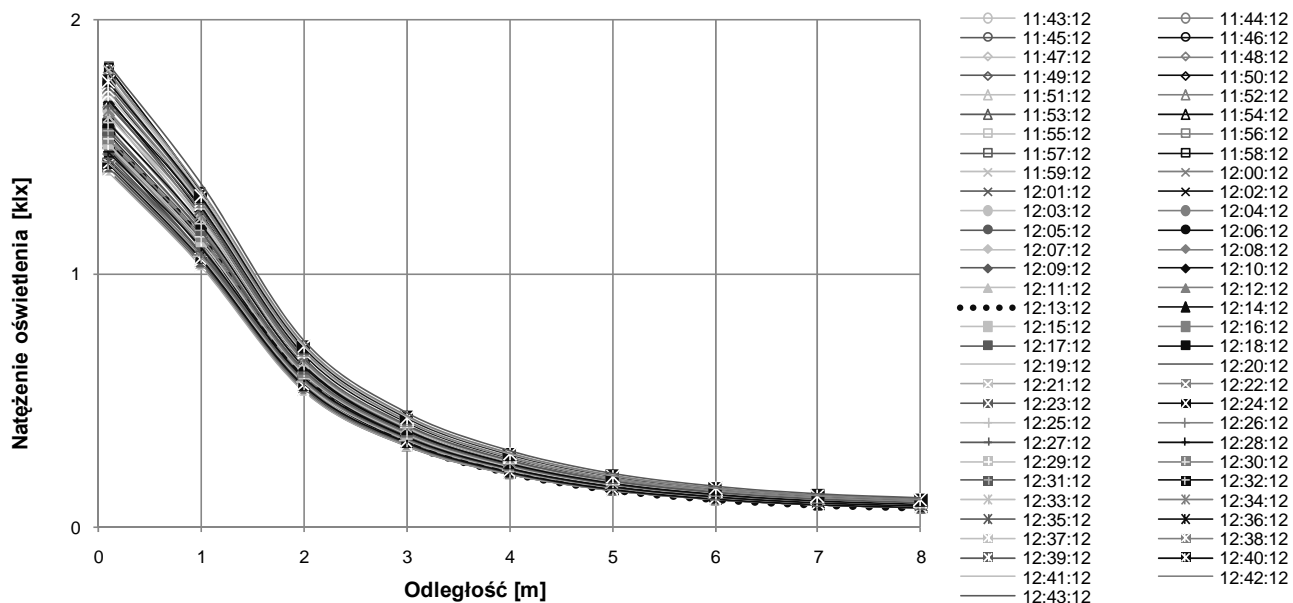
LUMINANCJA ZENITU:  
3681 cd/m<sup>2</sup> 3723 cd/m<sup>2</sup>

T = 0,45 D = 0,80

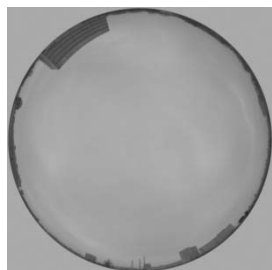
Dla rys. 6.



Rys. 5. Rozkład natężenia oświetlenia.  
Fig. 5. Illuminance distribution.



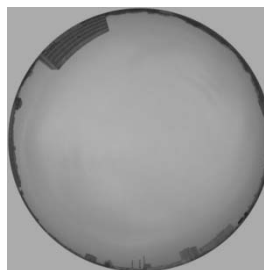
Rys. 6. Rozkład natężenia oświetlenia.  
Fig. 6. Illuminance distribution.



16-03-2011 09:55

NATĘŻENIE:  
21500 lx 20200 lx  
LUMINANCJA ZENITU:  
8984 cd/m<sup>2</sup> 7336 cd/m<sup>2</sup>  
T = 0,66 D = 0,80

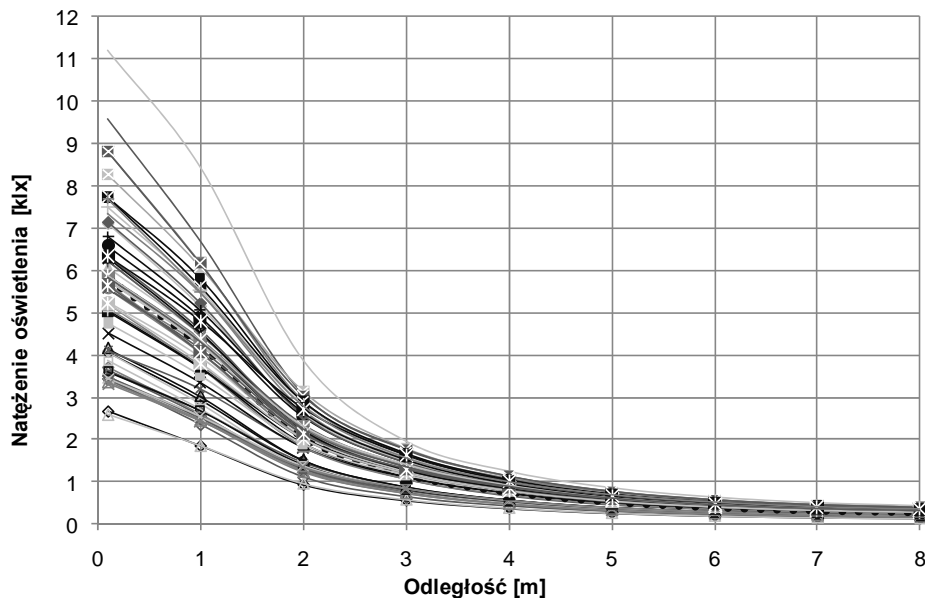
Dla rys. 7.



17-03-2011 11:18

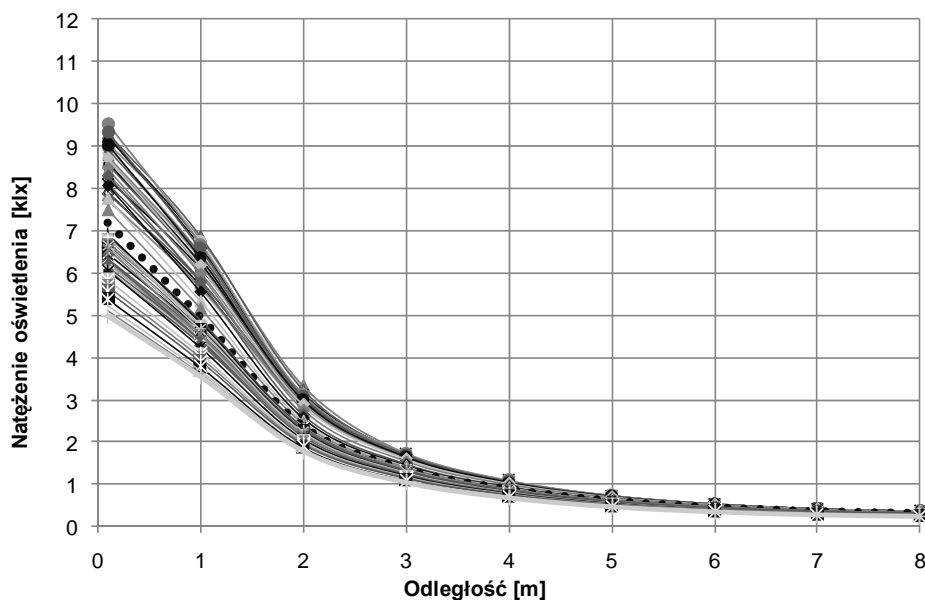
NATĘŻENIE:  
26100 lx 25500 lx  
LUMINANCJA ZENITU:  
10670 cd/m<sup>2</sup> 10610 cd/m<sup>2</sup>  
T = 0,84 D = 0,80

Dla rys. 8.



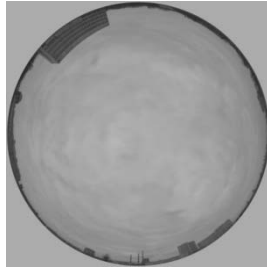
- 09:25:42
- 09:27:42
- ◇ 09:29:42
- ◇ 09:31:42
- △ 09:33:42
- △ 09:35:42
- 09:37:42
- 09:39:42
- × 09:41:42
- × 09:43:42
- 09:45:42
- 09:47:42
- ◆ 09:49:42
- ◆ 09:51:42
- ▲ 09:53:42
- 09:55:42
- 09:57:42
- 09:59:42
- 10:01:42
- ◇ 10:03:42
- ◇ 10:05:42
- △ 10:07:42
- △ 10:09:42
- 10:11:42
- 10:13:42
- × 10:15:42
- × 10:17:42
- 10:19:42
- 10:21:42
- ◆ 10:23:42
- ◆ 10:25:42
- 09:26:42
- 09:28:42
- ◇ 09:30:42
- ◇ 09:32:42
- △ 09:34:42
- △ 09:36:42
- 09:38:42
- 09:40:42
- × 09:42:42
- × 09:44:42
- 09:46:42
- 09:48:42
- ◆ 09:50:42
- ◆ 09:52:42
- ▲ 09:54:42
- ▲ 09:56:42
- 09:58:42
- 10:00:42
- 10:02:42
- ◇ 10:04:42
- ◇ 10:06:42
- △ 10:08:42
- △ 10:10:42
- 10:12:42
- 10:14:42
- × 10:16:42
- × 10:18:42
- 10:20:42
- 10:22:42
- ◆ 10:24:42

Rys. 7. Rozkład natężenia oświetlenia.  
Fig. 7. Illuminance distribution.



- 10:48:50
- 10:50:50
- ◇ 10:52:50
- ◇ 10:54:50
- △ 10:56:50
- △ 10:58:50
- 11:00:50
- 11:02:50
- × 11:04:50
- × 11:06:50
- 11:08:50
- 11:10:50
- ◆ 11:12:50
- ◆ 11:14:50
- ▲ 11:16:50
- 11:18:50
- 11:20:50
- 11:22:50
- 11:24:50
- ◇ 11:26:50
- ◇ 11:28:50
- △ 11:30:50
- △ 11:32:50
- 11:34:50
- 11:36:50
- × 11:38:50
- × 11:40:50
- 11:42:50
- 11:44:50
- ◆ 11:46:50
- ◆ 11:48:50
- 10:49:50
- 10:51:50
- ◇ 10:53:50
- ◇ 10:55:50
- △ 10:57:50
- △ 10:59:50
- 11:01:50
- 11:03:50
- × 11:05:50
- × 11:07:50
- 11:09:50
- 11:11:50
- ◆ 11:13:50
- ◆ 11:15:50
- ▲ 11:17:50
- ▲ 11:19:50
- 11:21:50
- 11:23:50
- 11:25:50
- ◇ 11:27:50
- ◇ 11:29:50
- △ 11:31:50
- △ 11:33:50
- 11:35:50
- 11:37:50
- × 11:39:50
- × 11:41:50
- 11:43:50
- 11:45:50
- ◆ 11:47:50

Rys. 8. Rozkład natężenia oświetlenia.  
Fig. 8. Illuminance distribution.



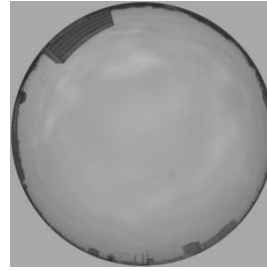
25-03-2011 13:11

NATEŻENIE:  
17800 lx 17500 lx

LUMINANCJA ZENITU:  
6531 cd/m<sup>2</sup> 6809 cd/m<sup>2</sup>

T = 0,20 D = 0,73

Dla rys. 9.



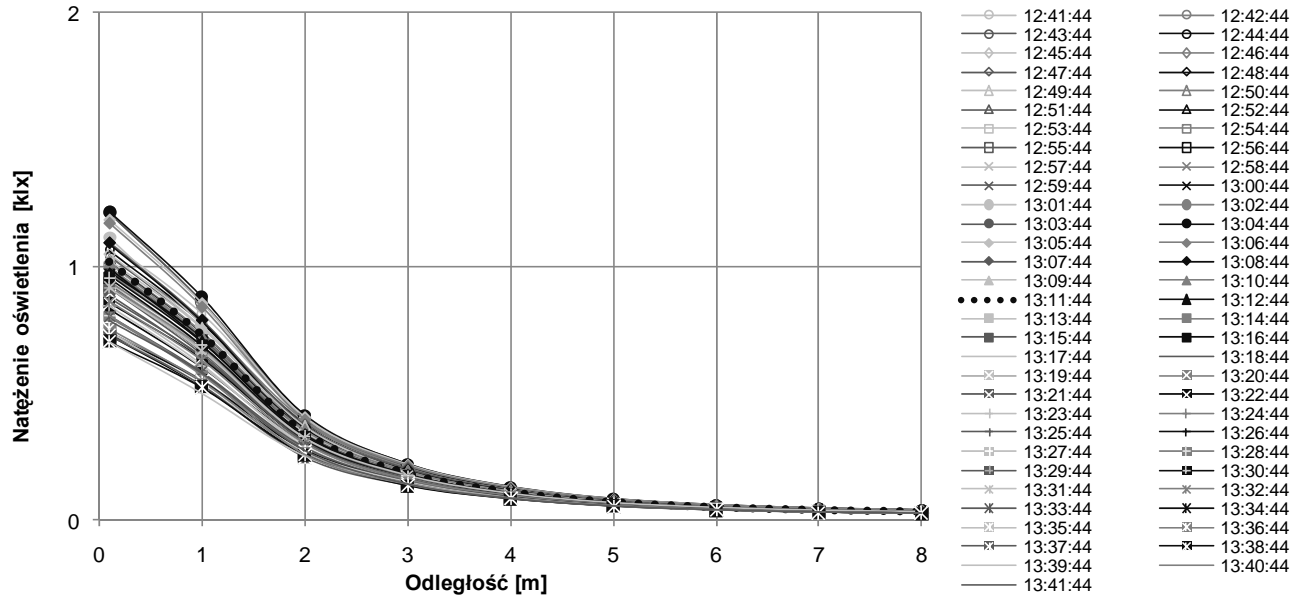
25-03-2011 14:27

NATEŻENIE:  
9490 lx 9280 lx

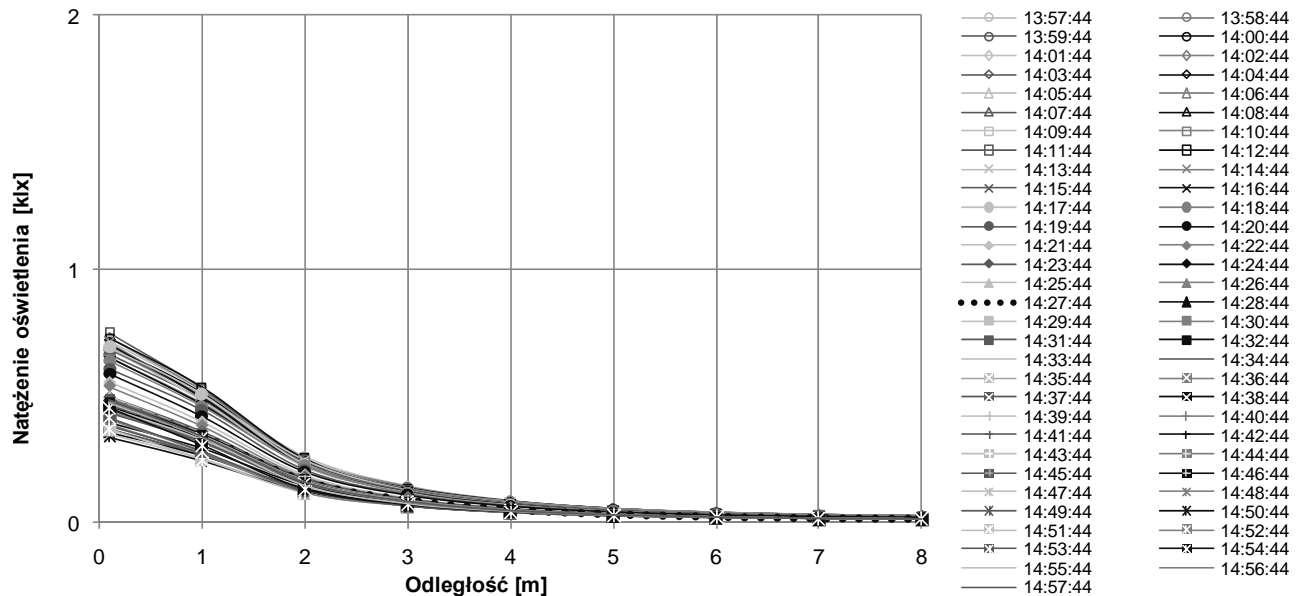
LUMINANCJA ZENITU:  
3259 cd/m<sup>2</sup> 3222 cd/m<sup>2</sup>

T = 0,20 D = 0,73

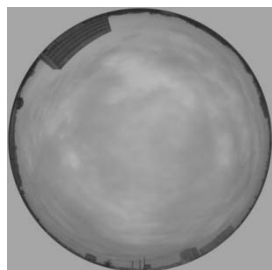
Dla rys. 10.



Rys. 9. Rozkład natężenia oświetlenia.  
Fig. 9. Illuminance distribution.

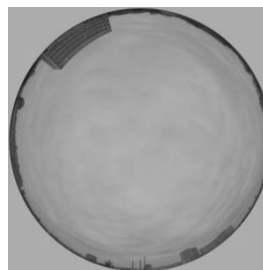


Rys. 10. Rozkład natężenia oświetlenia.  
Fig. 10. Illuminance distribution.



25-03-2011 15:17

NATĘŻENIE:  
5720 lx 5840 lx  
LUMINANCJA ZENITU:  
1897 cd/m<sup>2</sup> 2152 cd/m<sup>2</sup>  
T = 0,20 D = 0,73

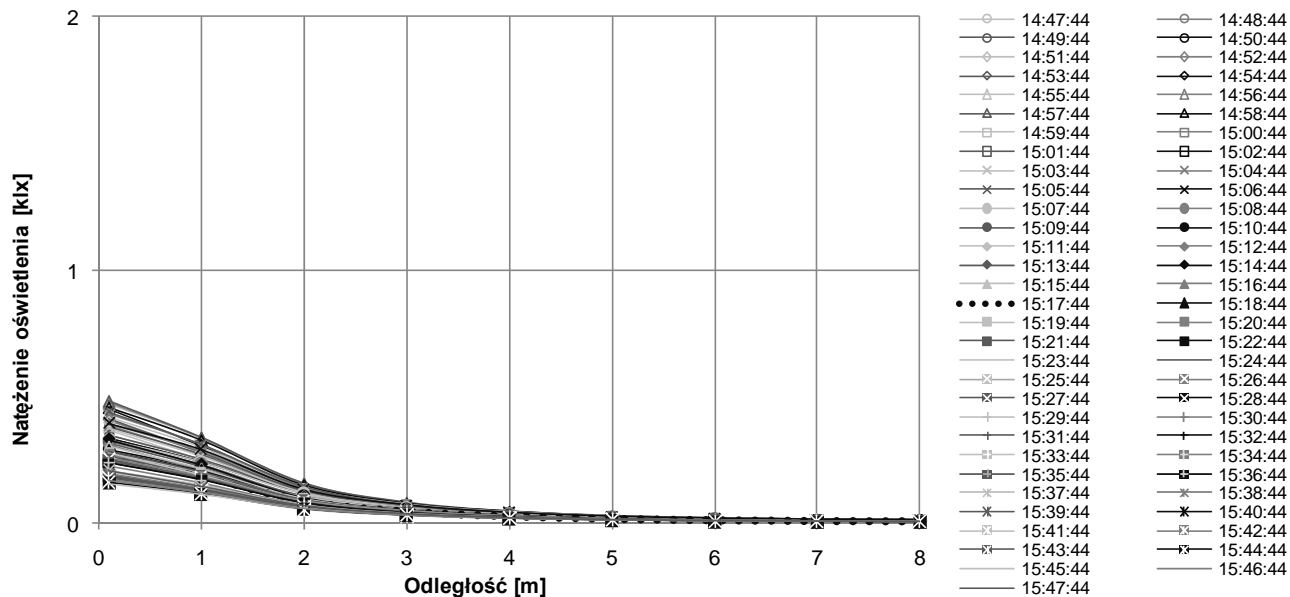


25-03-2011 16:06

NATĘŻENIE:  
2550 lx 2460 lx  
LUMINANCJA ZENITU:  
920 cd/m<sup>2</sup> 873 cd/m<sup>2</sup>  
T = 0,20 D = 0,73

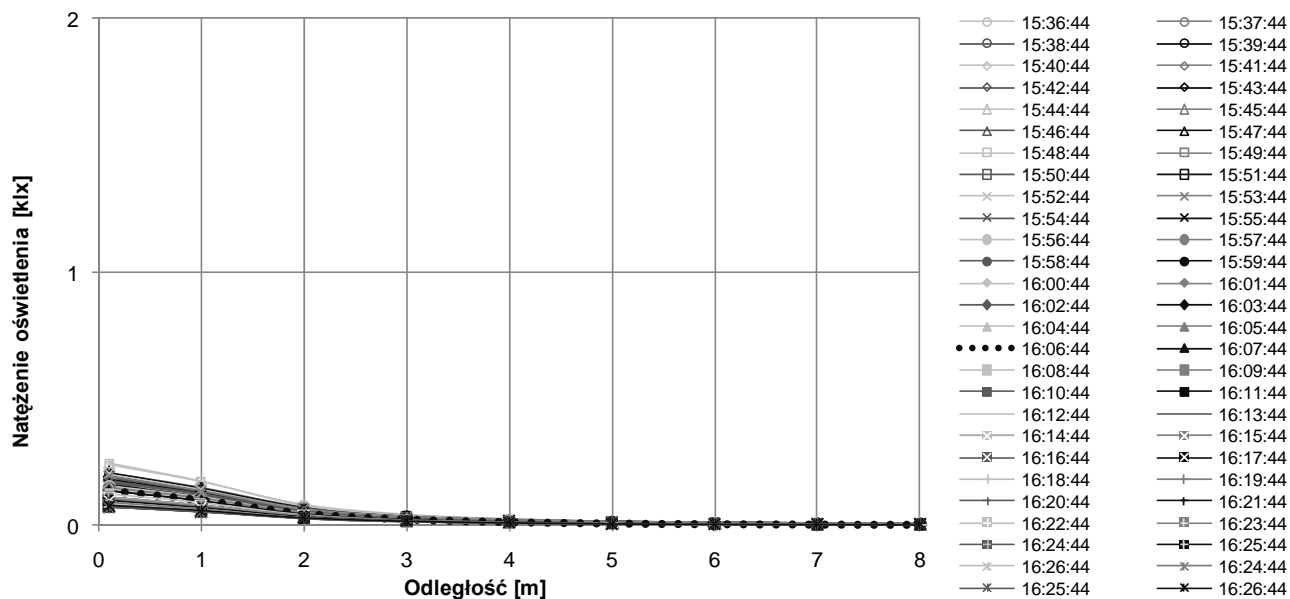
Dla rys. 11.

Dla rys. 12.



Rys. 11. Rozkład natężenia oświetlenia.

Fig. 11. Illuminance distribution.



Rys. 12. Rozkład natężenia oświetlenia.

Fig. 12. Illuminance distribution.