

Symulacja natężenia światła

Paulina Stal, Patrycja Marchwica

21.05.2020

1 Wprowadzenie

Celem symulacji będzie analiza natężenia oświetlenia w zamodelowanym pomieszczeniu – sali lekcyjnej. Do przeprowadzenia symulacji zostanie wykorzystany pakiet *VI-Suite*, czyli zintegrowany zestaw narzędzi do analizy otoczenia, wykorzystujący wbudowane funkcje programu do modelowania 3D jakim jest *Blender* oraz integrujący zewnętrzne aplikacje tj. *Radiance*, które umożliwiają przeprowadzenie symulacji oświetlenia.

Pomiar natężenia światła, czyli gęstości strumienia światlnego padającego na daną powierzchnię, którego jednostką w układzie SI jest luks [lx], zostanie wykonany w różnych miejscach zamodelowanego pomieszczenia. Otrzymane wyniki zostaną poddane analizie, mającej na celu określenie wpływu warunków pogodowych, konfiguracji opraw oświetleniowych oraz mocy świecenia opraw oświetleniowych na przebieg symulacji.

2 Potrzebne parametry do opisu modelu

2.1 Jednostka natężenia

Do scharakteryzowania oświetlenia powierzchni, na którą pada strumień światła przyjmujemy natężenie oświetlenia będącą odpowiednikiem natężenia naprominowania (irradiacji). Natężenia oświetlenia to nic innego jak gęstość strumienia światlnego padającego na daną powierzchnię, równa granicy ilorazu strumienia światlnego ϕ padającego na powierzchnię i pola S tej powierzchni, przy S dążącym do zera:

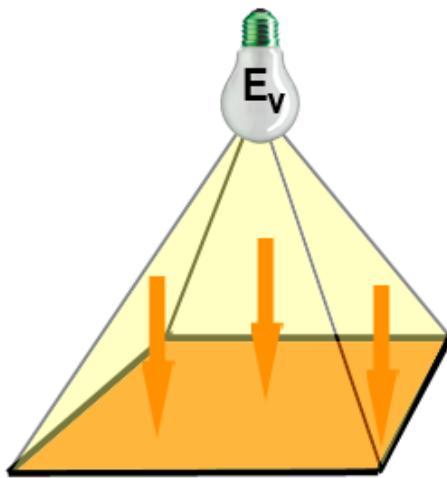
$$E_v = \frac{d\Phi_v}{dS}$$

Jeżeli strumień światlny pada równomiernie na całą powierzchnię, to:

$$E_v = \frac{\Phi_v}{S}$$

Jednostką natężenia oświetlenia w układzie SI jest luks (lx) równy lumenowi na metr kwadratowy ($cd \cdot sr \cdot m^2$).

$$[E_v] = \frac{lm}{m^2} = lx$$



Rysunek 1: Graficzne przedstawienie jednostki natężenia oświetlenia.

2.2 Stosowane normy natężenia

Natężenie oświetlenia zostało określone przez normę PN-EN 12464-1:2012.

Wymagania oświetleniowe wynikają z uwzględnienia trzech podstawowych potrzeb człowieka:

- wygody widzenia – spostrzeganie jest sprawne, pozbawione ryzyka, nie prowadzi do odczucia niewygody i nadmiernego zmęczenia,
- wydolności wzrokowej – zadania wzrokowe można wykonać w trudnych warunkach i w dłuższych okresach czasu,
- względów bezpieczeństwa.

Do podstawowych parametrów otoczenia świetlnego wliczających w to światło sztuczne jak i dzienne, zalicza się:

- rozkład luminancji w otoczeniu,
- natężenie oświetlenia na polu pracy i w jego otoczeniu,
- kierunek światła, oświetlenie w przestrzeni wnętrza,
- zmienność światła (poziom i barwa światła),
- olśnienie (przeszkadzające, przykro i odbiciowe),
- oddawanie barw i barwy postrzeganej
- migotanie światła i efekty stroboskopowe.

Ze względu na wygodę widzenia powinno unikać się we wnętrzach wysokich luminancji, które mogłyby spowodować wzrost olśnienia, czy wysokich kontrastów przyczyniających się do zmęczenia oczu. Niskie luminancje czy niskie kontrasty sprawiają, że środowisko pracy staje się monotonne.

W normie przyjęto, że wymagane natężenie oświetlenia w celu dostrzeżenia rysów ludzkiej twarzy w normalnych warunkach oświetleniowych, powinno być nie mniejsze niż 20 lx i jest to najmniejsze natężenie oświetlenia wymieniane przez normę. W typowych pracach biurowych, takich jak: pisanie ręczne, pisanie na maszynie, czytanie, obsługiwanie klawiatury wymagane jest natężenie oświetlenia 500 lx, dla prac precyzyjnych przewyższa 1000 lx. W słoneczny letni dzień natężenie oświetlenia w miejscach niezacienionych osiąga wartość 100.000 lx.

Według normy PN-EN 12 464-1: 2004 zalecane natężenie oświetlenia:

| | |
|--|---------|
| rozpoznanie rysów twarzy | 20 lx |
| wykonywanie prostych czynności | 50 lx |
| obsługa komputera, prace biurowe | 500 lx |
| montaż precyzyjny, mikromechanika, zakład jubilerski | 1000 lx |

Wartości orientacyjne zależne od różnych czynników, np.: pory roku i dnia, stopnia za-chmurzenie czy czystości powietrza):

| | |
|---|---------|
| oświetlenie powierzchni ziemi przez Książyc w pełni w pogodną noc | 0.2 lx |
| oświetlenie uliczne w nocy | 5-10 lx |
| pomieszczenie od zacienionej strony w środku dnia | 300 lx |
| oświetlenie słoneczne terenu na zewnątrz (zachmurzone niebo) | 5000 lx |

2.3 Oświetlenie w szkołach

Oświetlenie sali lekcyjnej powinno zapewniać wygodę widzenia oraz poprawiać zdolność do rozróżniania szczegółów bez nadmiernego zmęczenia wzroku. Odgrywa istotną rolę w kształceniu uczniów przyczyniając się do efektywnej i przyjemnej pracy. Wymiary standardowej sali lekcyjnej zawierają się między $55m^2$ a $62m^2$ dla 30 uczniów. Stosunek między powierzchnią okien a podłogą powinien wynosić 1:4 do 1:5.

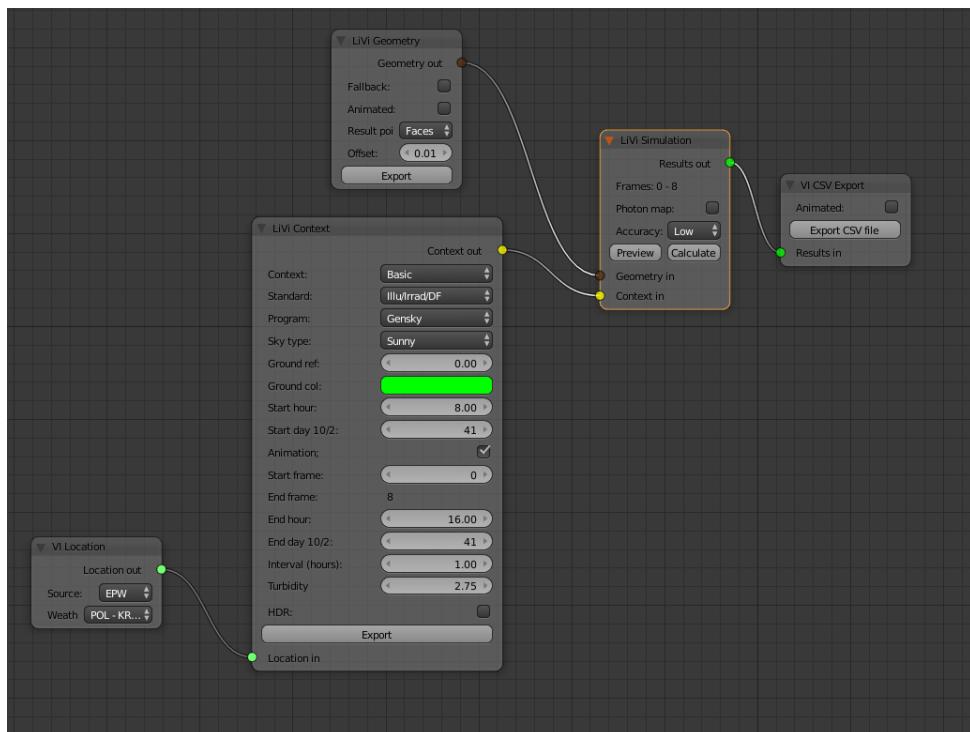
Natężenie oświetlenia w salach lekcyjnych musi wynosić 300 lx natomiast powinno być wysokie (500 lx) tam, gdzie wykonywane są głównie „zadania wzrokowe” – czytanie i pisanie ręczne. Preferowanym rodzajem źródeł światła do oświetlania pomieszczeń w szkole (klas, korytarzy, szatni) są świetłówki. W warunkach stałego rozmieszczenia ławek w klasach zalecane są świetłówki liniowe. Wykorzystywane są różne odmiany świetłówkowych opraw oświetleniowych - wbudowywane w sufit, nasufitowe i do podwieszania pod sufitem.

Uzwalniając konserwacje przy projektowaniu i instalacji systemów oświetlenia tak aby najdłużej eksploatować oprawy oświetleniowe przy zachowaniu właściwych parametrów światła stosuje się lampy LED.

3 Implementacja

3.1 Technologie i narzędzia

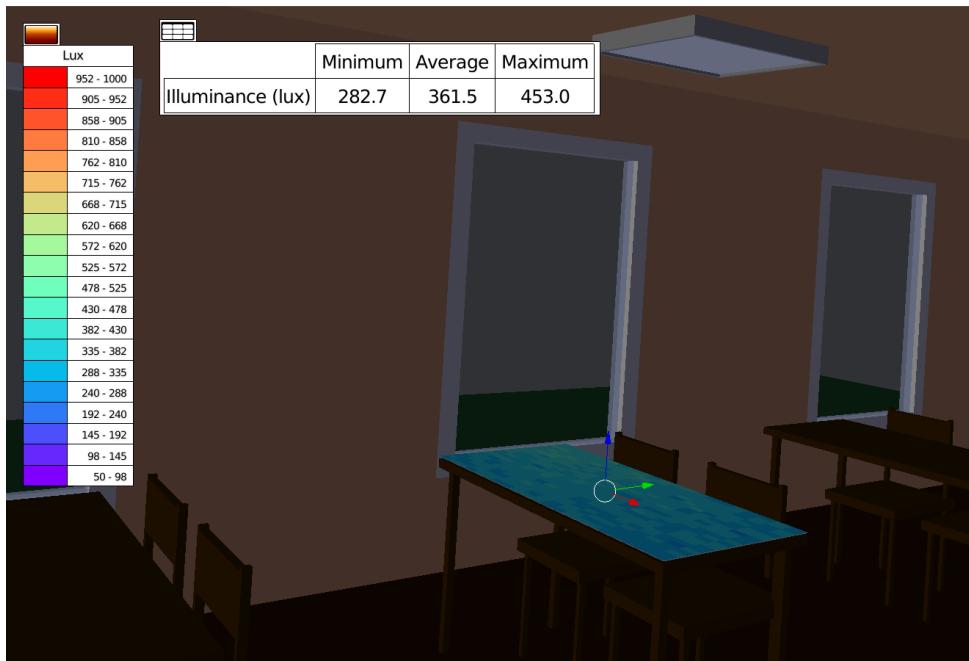
Do zamodelowania sali lekcyjnej jak i do wyrenderowania obrazów zostało użyty program *Blender*. Aby zobrazować natężenie światła w określonych miejsca, zbadać wpływ warunków pogodowych i ustawienia lamp wykorzystano rozszerzenie *VI-Suite*. Analiza oświetlenia została uzyskana poprzez dwa komponenty *VI-Suite*: *LiVi*, który spełnia funkcje pre/post-procesora pakietu do analizy oświetlenia - *Radiance* oraz *EnVi*, który zapewnia takie same możliwości dla programu do symulacji poboru energii (między innymi oświetlenia) - *EnergyPlus*.



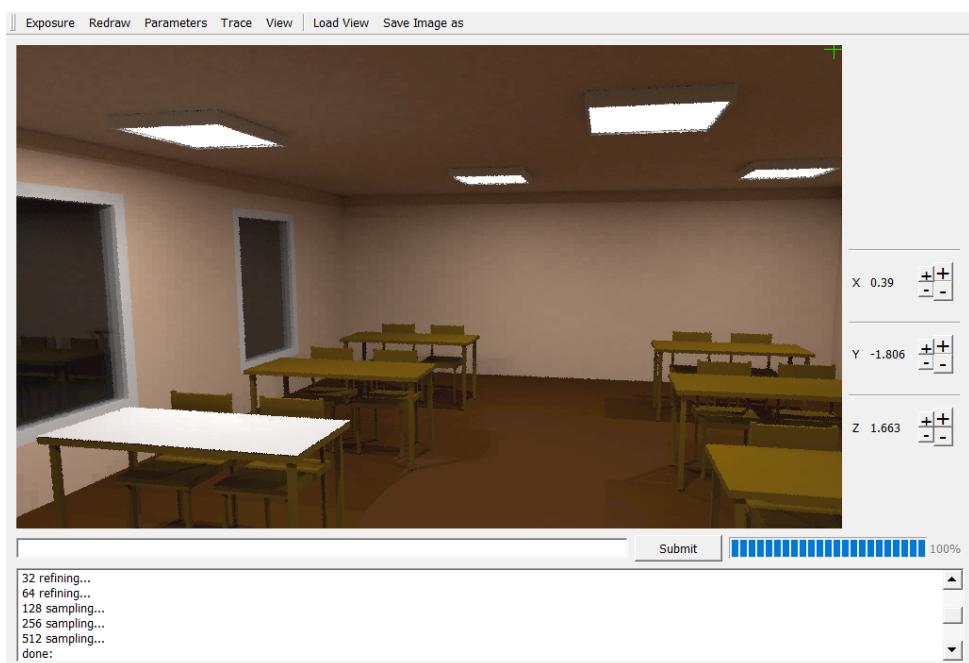
Rysunek 2: Node Editor

3.2 Parametry modelu

- Model sali lekcyjnej
 - Wymiary modelu sali lekcyjnej – $6m \times 10m \times 2.5m$
 - Pole powierzchni podłogi – $60m^2$
 - Wymiary ławek – $500mm \times 1300mm \times 40mm$
 - Wysokość ławek ($640mm$) i krzeseł ($38mm$) dostosowana do wzrostu ucznia – $133 - 159cm$
- Okna
 - Stosunek powierzchni okien do powierzchni podłogi – $1 : 5$
 - Wymiary okien – $1m \times 1.5m \times 0.12m$
 - Odległość pomiędzy oknami – $1.15m$
 - Odległość okna od podłogi – $0.68m$



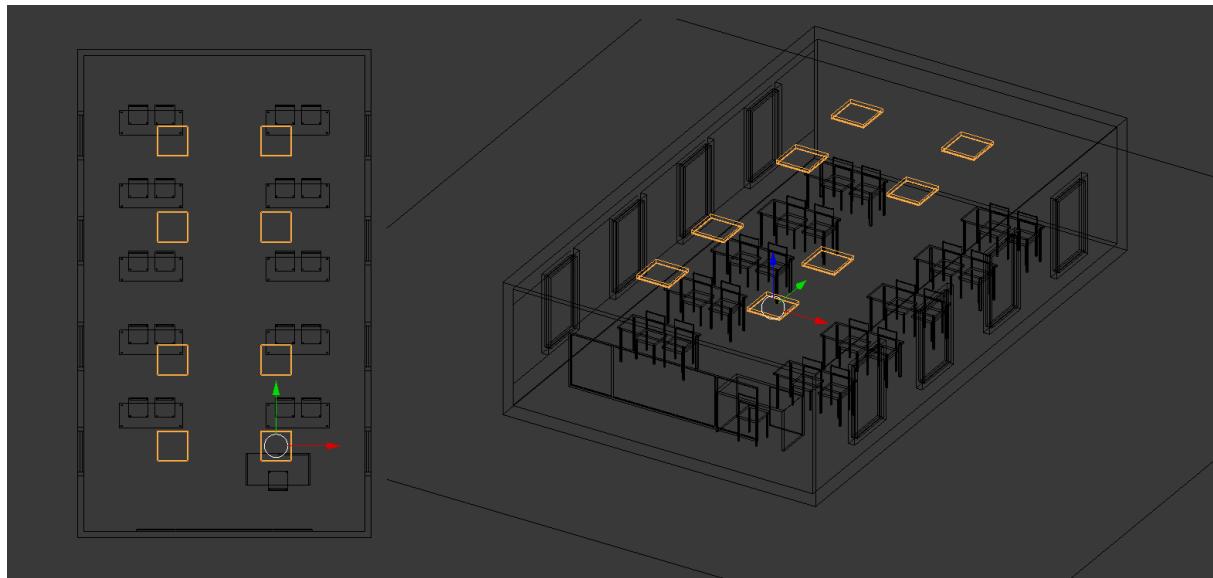
Rysunek 3: Wyniki otrzymane w wyniku symulacji



Rysunek 4: Podgląd przeprowadzanej symulacji

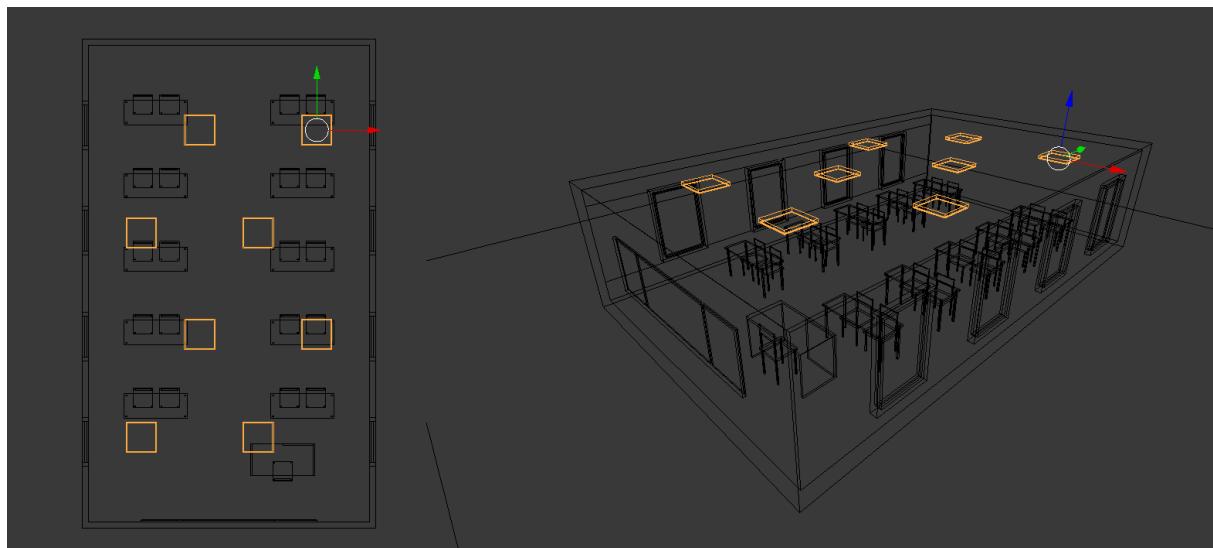
- Okna znajdują się od wschodniej i zachodniej strony pomieszczenia
- Oświetlenie
 - Typ oświetlenia – Oświetlenie LED natynkowe
 - Wymiary opraw oświetleniowych – $620mm \times 620mm \times 66mm$
 - Temperatura barwowa – $4000K$
 - Rozmieszczenie opraw oświetleniowych 1 (Rysunek 5):
 - * 8 lamp – w dwóch rzędach po 4 wzduż sali lekcyjnej
 - * Odległość pomiędzy oprawami – $1.13m$

- * Odległość pomiędzy oprawą a oknami – 1.48m
- * Odległość pomiędzy oprawą a ścianami północną i południową – 1.43m



Rysunek 5: Konfiguracja opraw oświetleniowych nr 1

- Rozmieszczenie opraw oświetleniowych 2 (Rysunek 6):
 - * 8 lamp – w „szachownice”
 - * Odległość pomiędzy oprawami – 1.80m
 - * Odległość pomiędzy oprawą a oknami – 0.75m i 1.95m
 - * Odległość pomiędzy oprawami wzdłuż sali lekcyjnej oraz oprawami a ścianami północną i południową – 1.45m

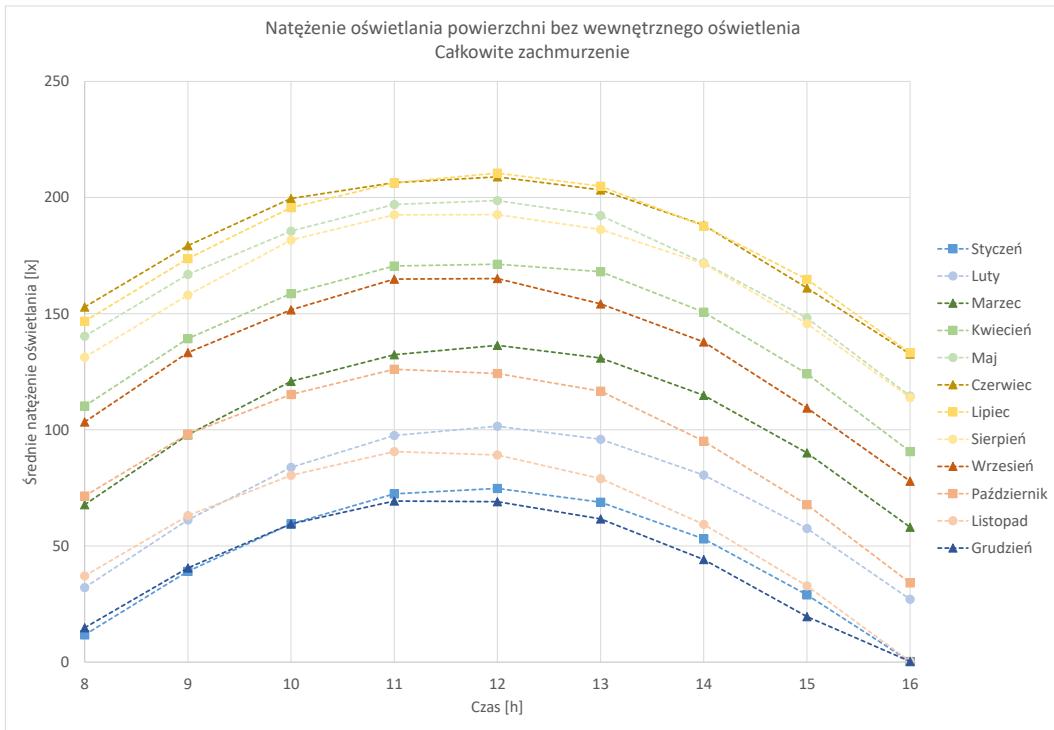


Rysunek 6: Konfiguracja opraw oświetleniowych nr 2 - „szachownica”

- Parametry Vi-Suite
 - Lokalizacja – Kraków – dane zawarte w pliku EnergyPlus weather pobranym z [11]
 - Pomiar natężenia oświetlenia co 1h pomiędzy 8.00 a 16.00

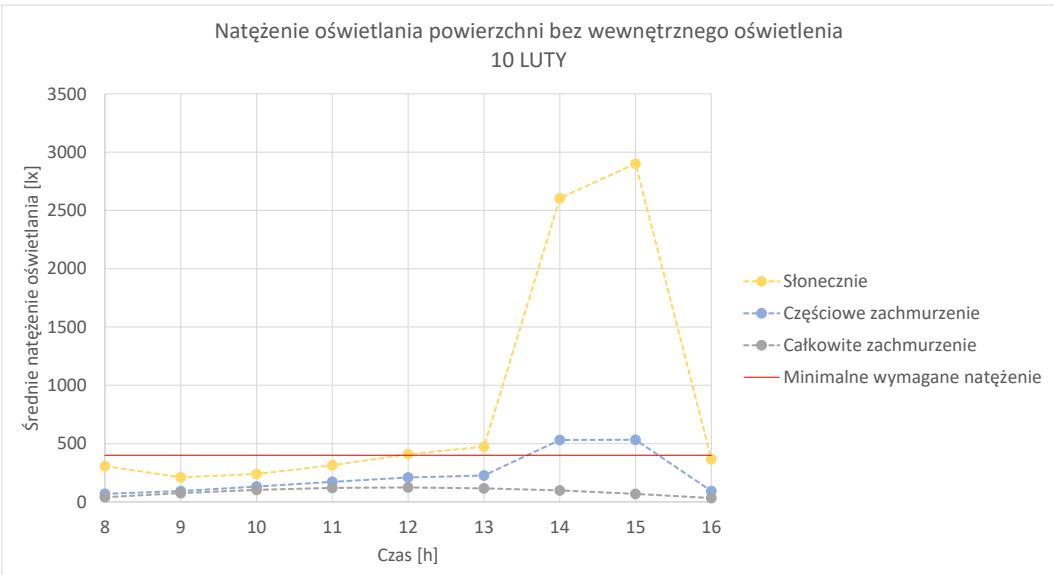
4 Rezultaty

4.1 Symulacja dla całego roku bez oświetlenia



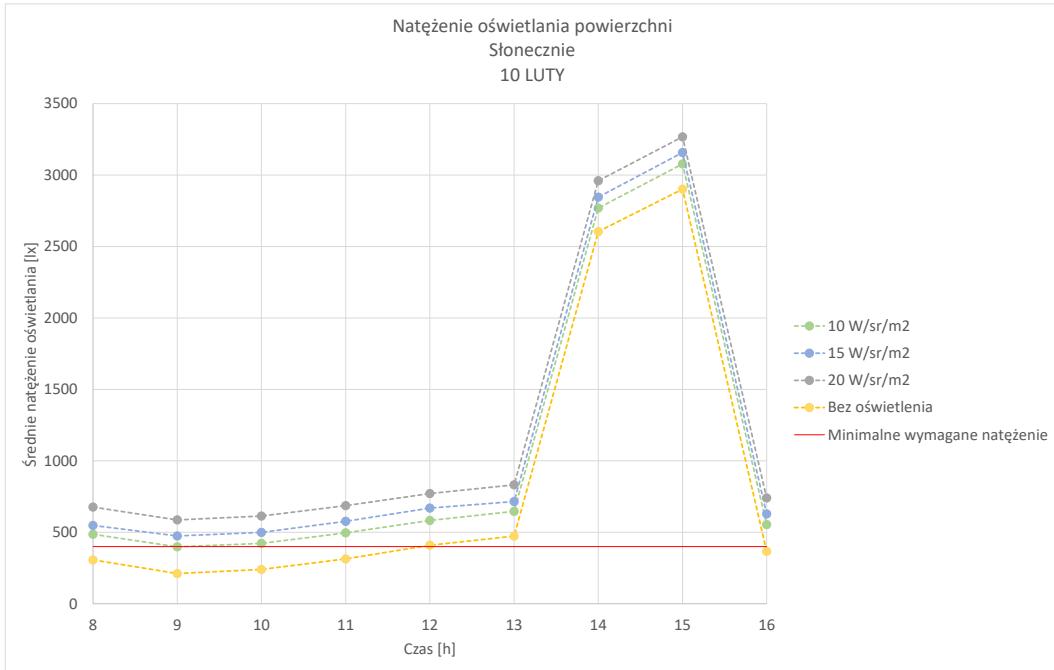
Rysunek 7: Natężenie oświetlania powierzchni biurka w sali lekcyjnej bez włączonego oświetlenia dla wszystkich miesięcy

4.2 Brak oświetlenia

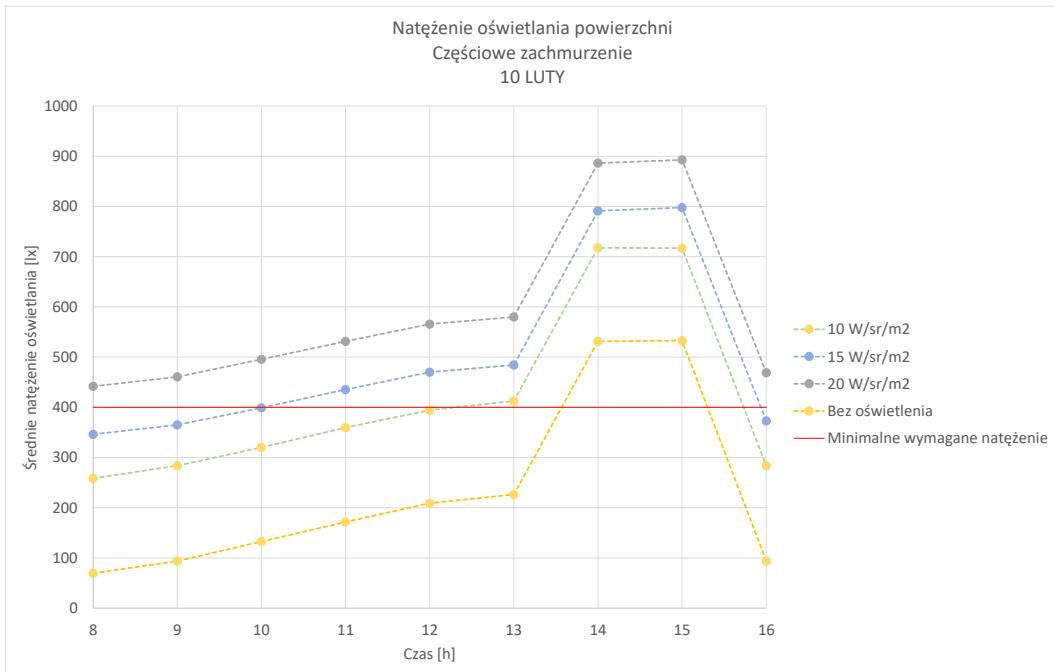


Rysunek 8: Natężenie oświetlania powierzchni biurka w sali lekcyjnej bez włączonego oświetlenia dla różnych warunków pogodowych

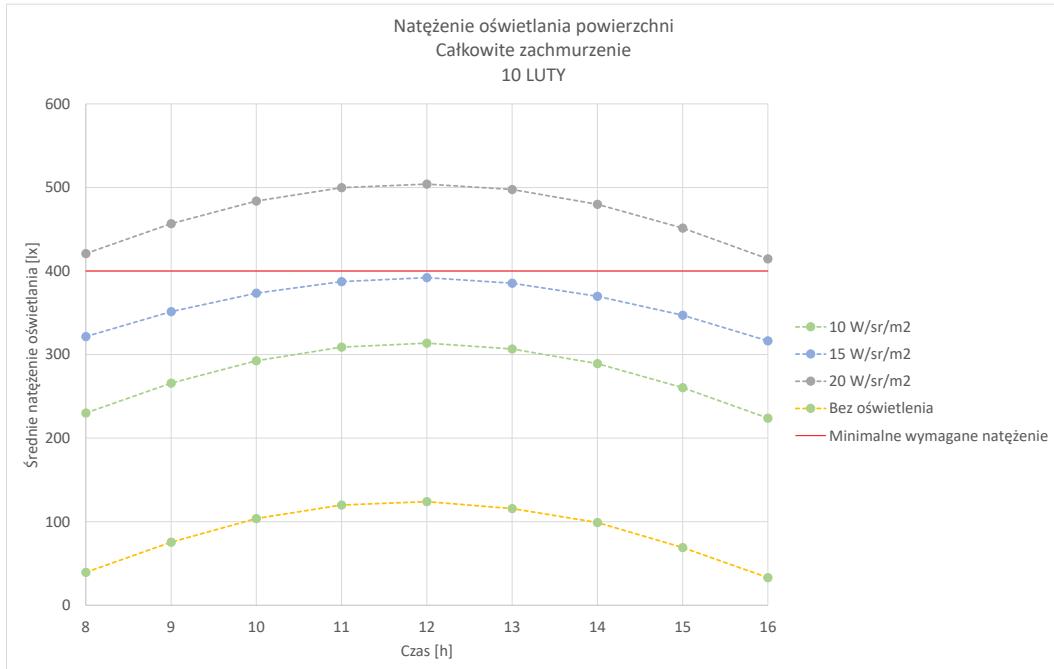
4.3 Konfiguracja opraw oświetleniowych 1



Rysunek 9: Natężenie oświetlania powierzchni biurka w sali lekcyjnej w słoneczny dzień przy włączonym oświetleniu dla konfiguracji opraw oświetleniowych nr 1 i różnej wartości radiancji

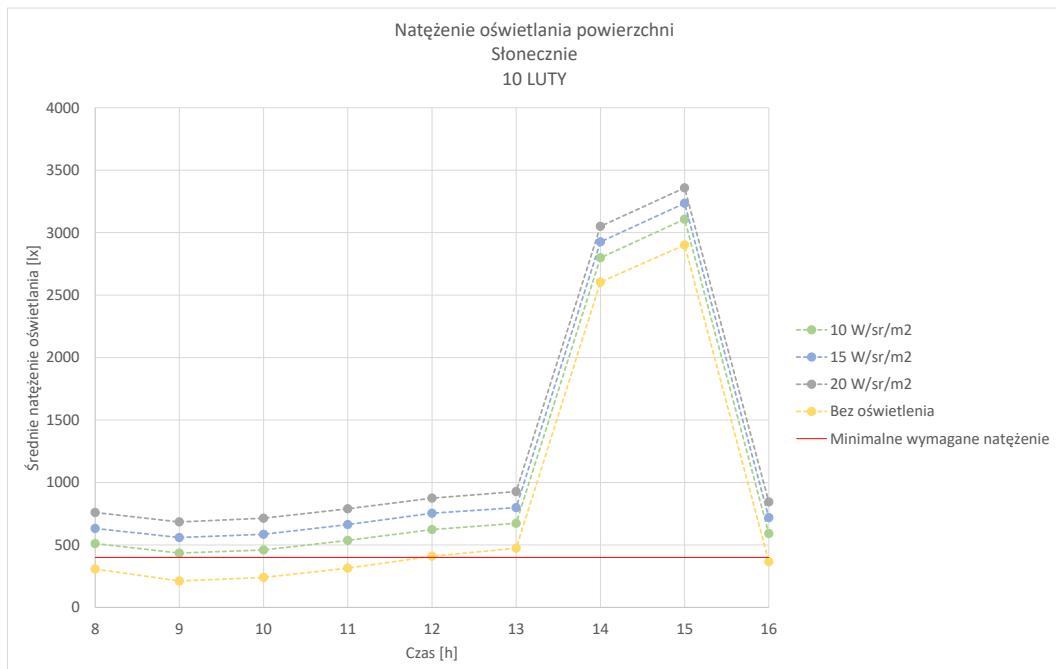


Rysunek 10: Natężenie oświetlania powierzchni biurka w sali lekcyjnej przy częściowym zachmurzeniu oraz włączonym oświetleniu dla konfiguracji opraw oświetleniowych nr 1 i różnej wartości radiancji

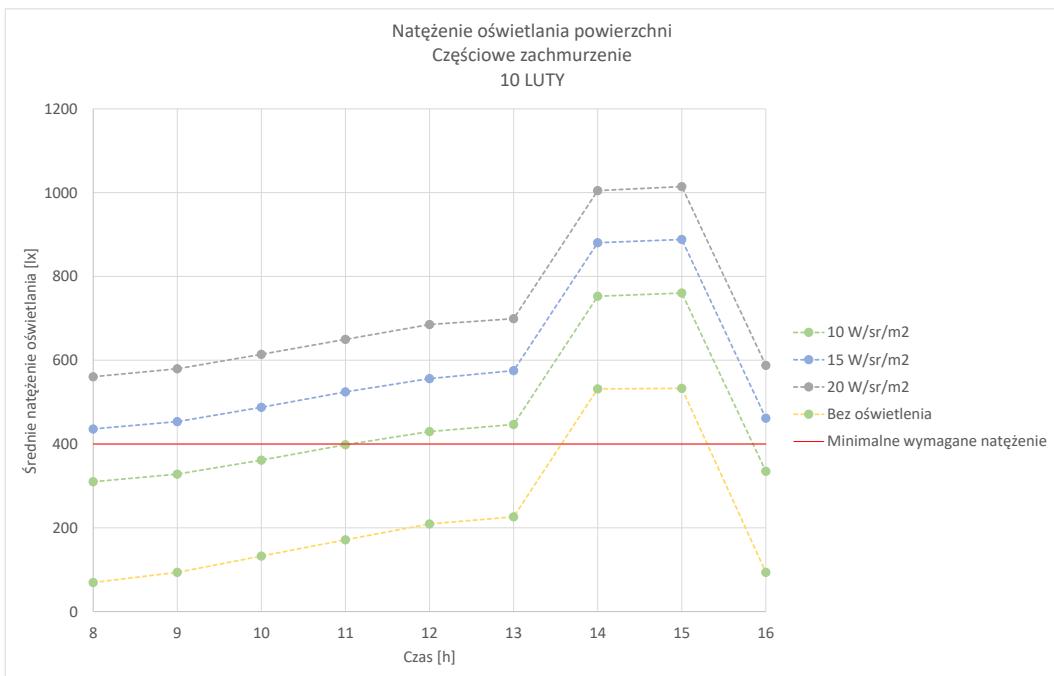


Rysunek 11: Natężenie oświetlania powierzchni biurka w sali lekcyjnej przy całkowitym zachmurzeniu oraz włączonym oświetleniu dla konfiguracji opraw oświetleniowych nr 1 i różnej wartości radiancji

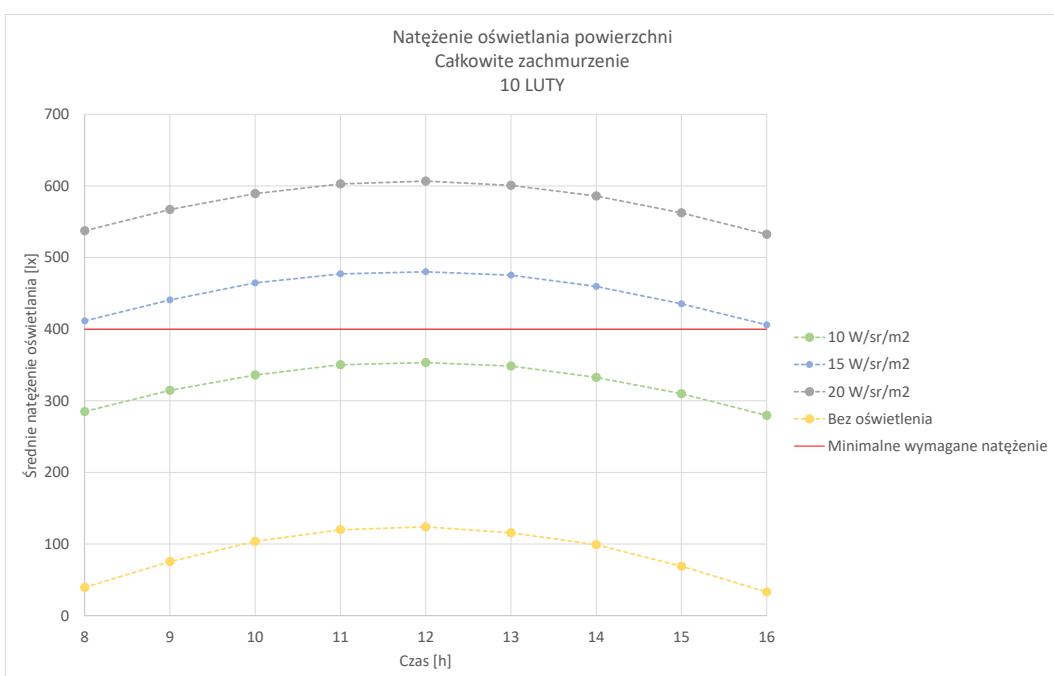
4.4 Konfiguracja opraw oświetleniowych 2



Rysunek 12: Natężenie oświetlania powierzchni biurka w sali lekcyjnej w słoneczny dzień przy włączonym oświetleniu dla konfiguracji opraw oświetleniowych nr 2 i różnej wartości radiancji

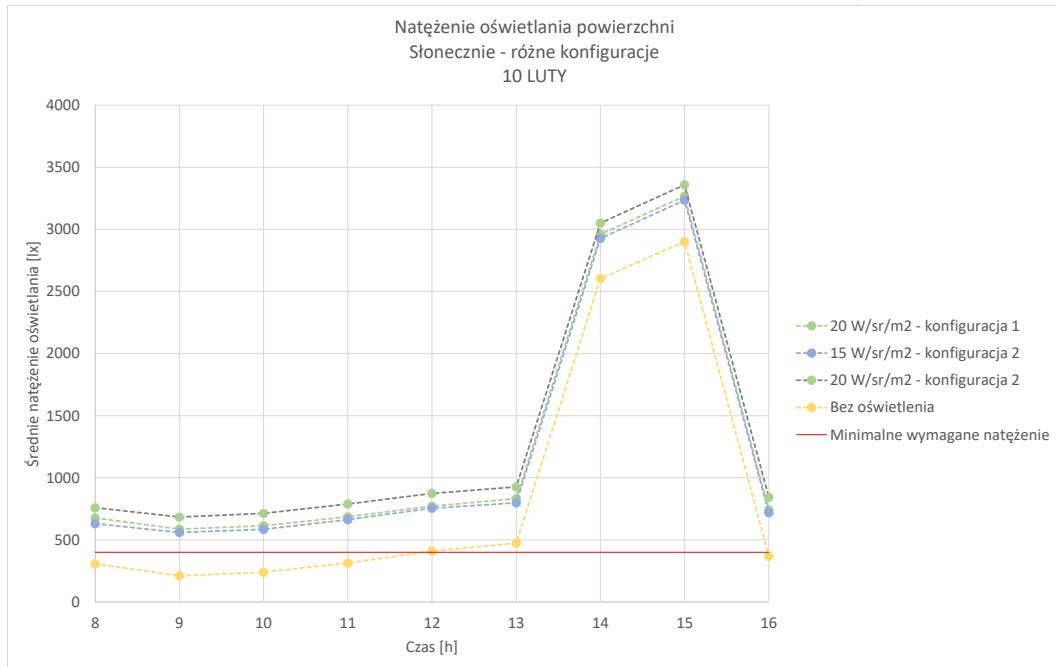


Rysunek 13: Natężenie oświetlania powierzchni biurka w sali lekcyjnej przy częściowym zachmurzeniu oraz włączonym oświetleniu dla konfiguracji opraw oświetleniowych nr 2 i różnej wartości radiancji

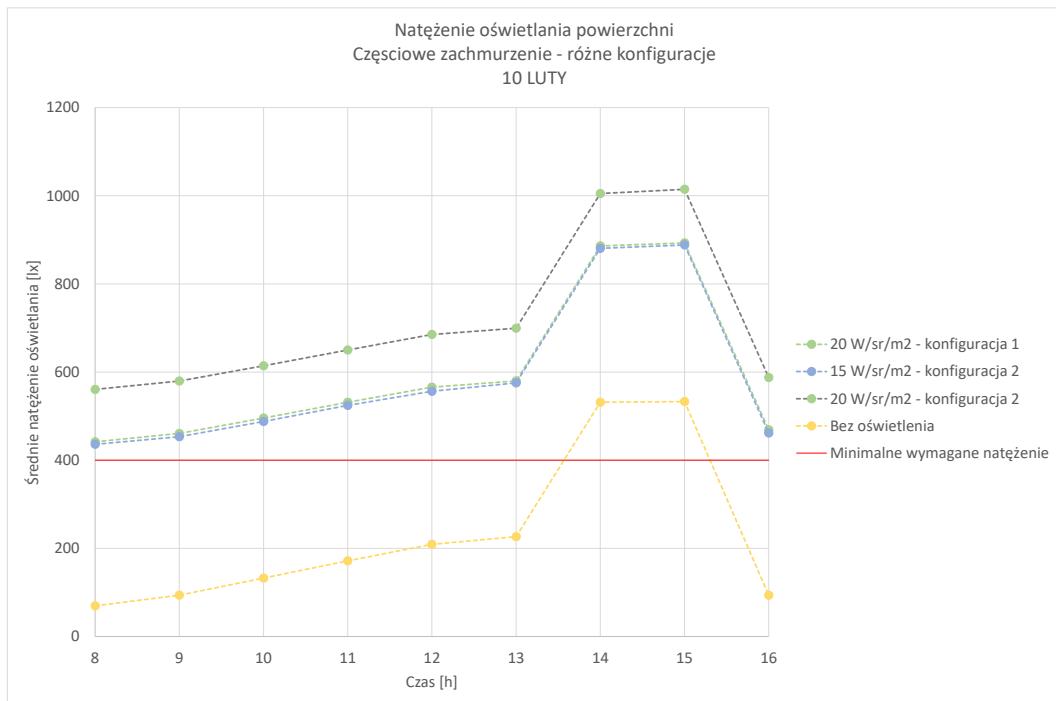


Rysunek 14: Natężenie oświetlania powierzchni biurka w sali lekcyjnej przy całkowitym zachmurzeniu oraz włączonym oświetleniu dla konfiguracji opraw oświetleniowych nr 2 i różnej wartości radiancji

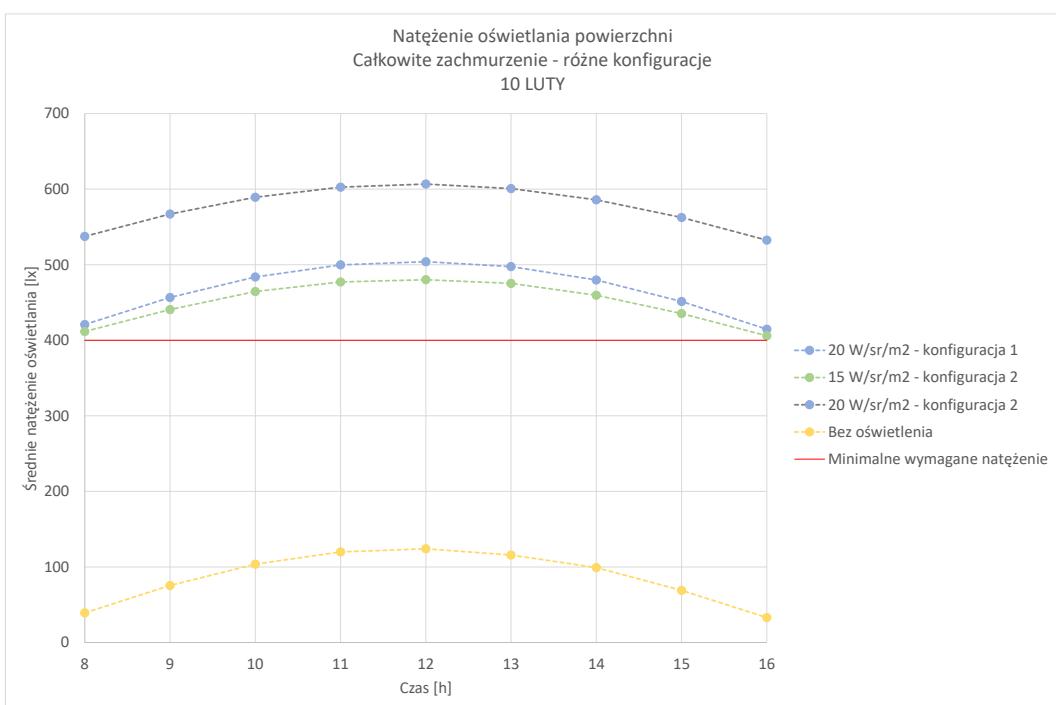
4.5 Zestawienie wybranych wyników



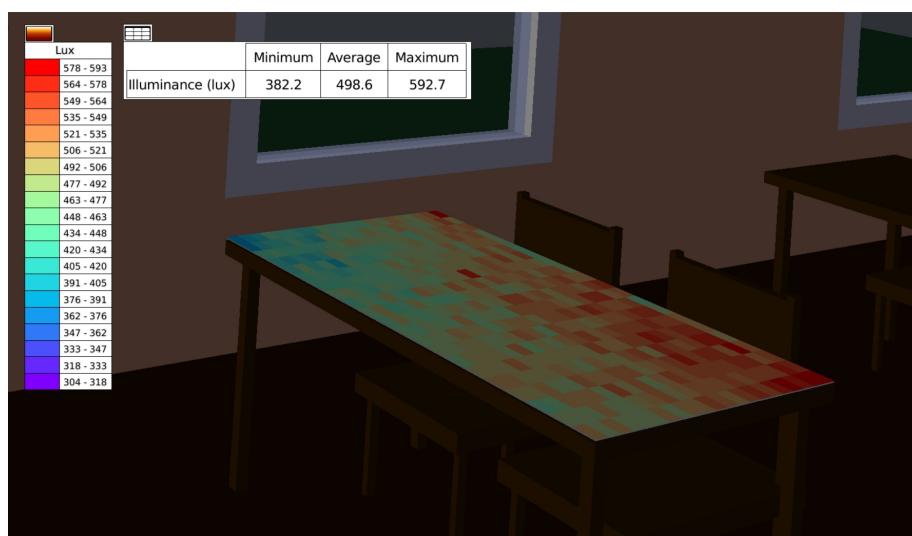
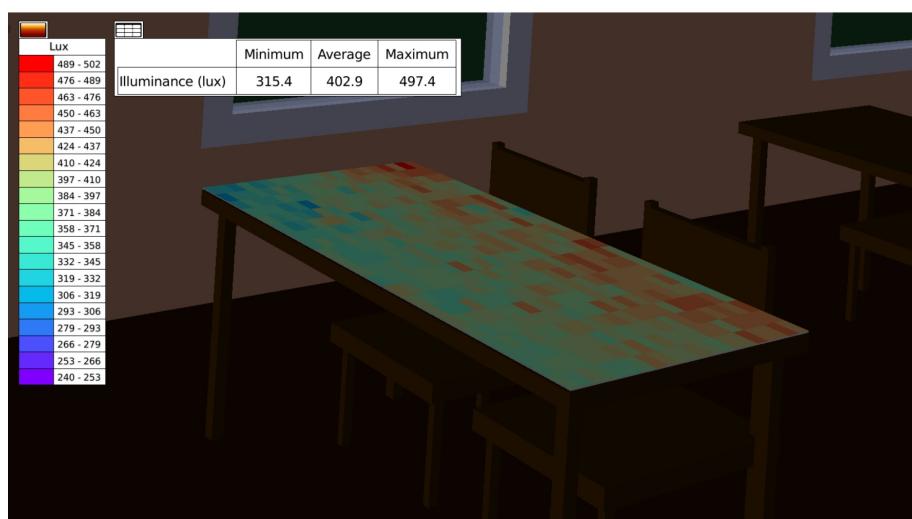
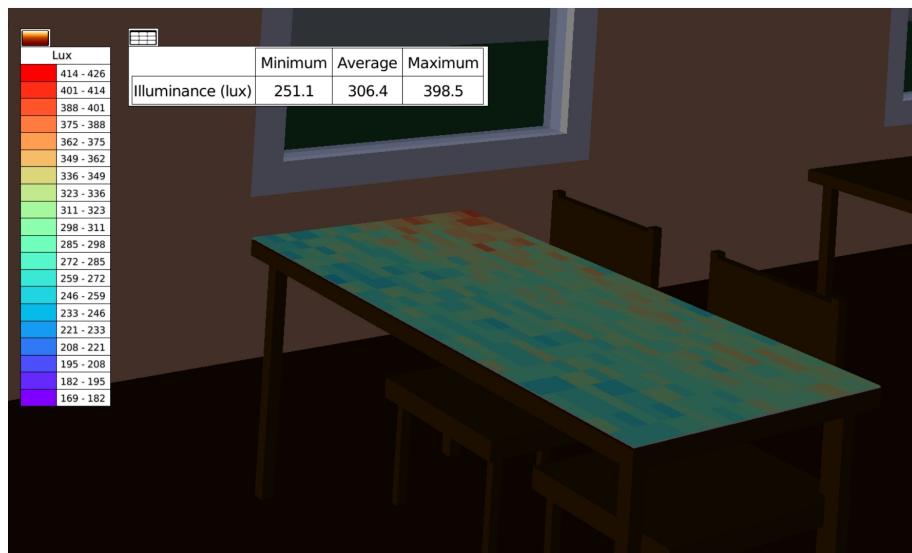
Rysunek 15: Natężenie oświetlania powierzchni biurka w sali lekcyjnej w słoneczny dzień dla wybranych konfiguracji opraw oświetleniowych i wartości radiancji



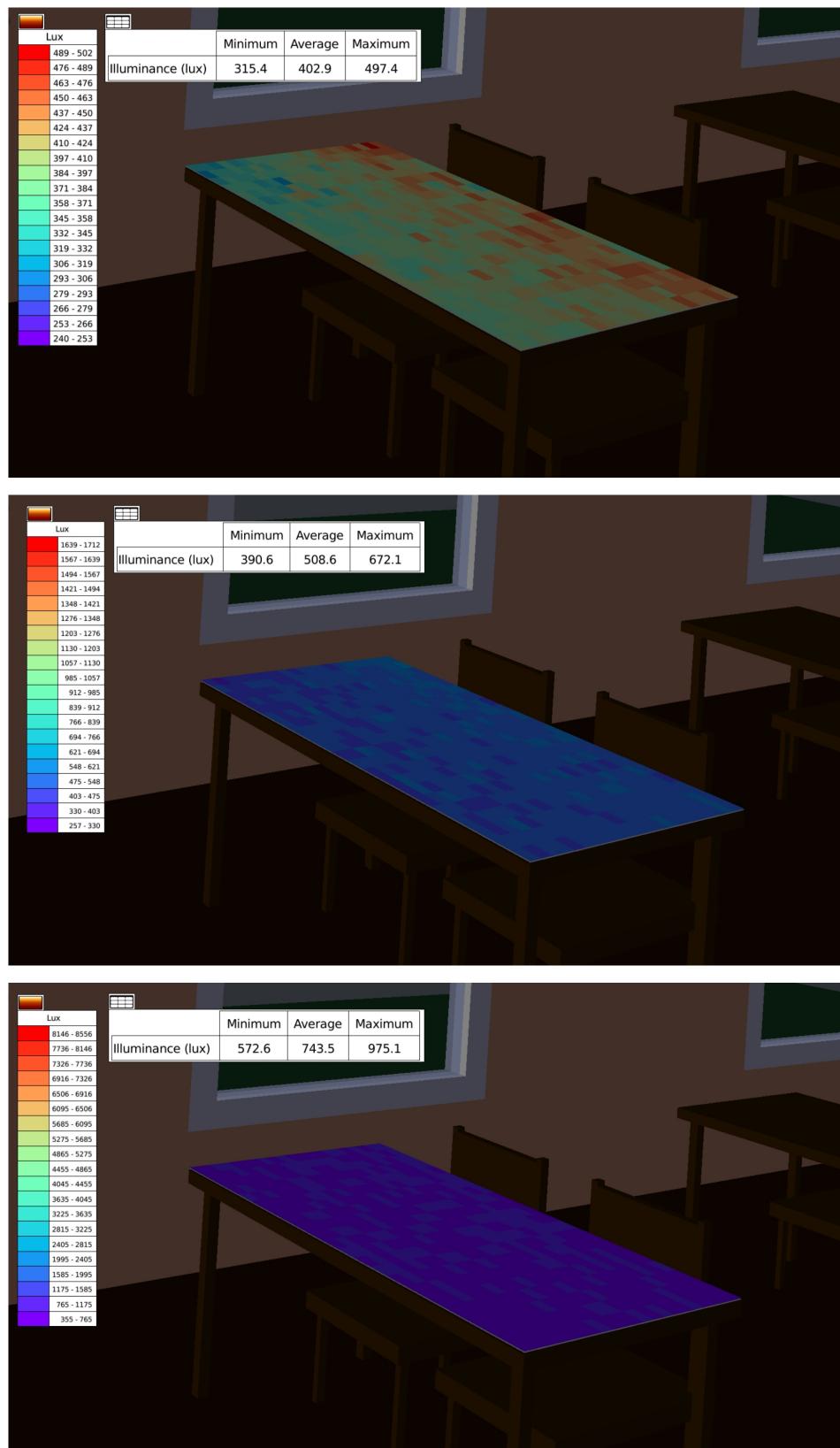
Rysunek 16: Natężenie oświetlania powierzchni biurka w sali lekcyjnej przy częściowym zachmurzeniu oraz włączonym oświetleniu dla wybranych konfiguracji opraw oświetleniowych i różnej wartości radiancji



Rysunek 17: Natężenie oświetlania powierzchni biurka w sali lekcyjnej przy całkowitym zachmurzeniu oraz włączonym oświetleniu dla wybranych konfiguracji opraw oświetleniowych i różnej wartości radiancji



Rysunek 18: Wpływ zmiany natężenia lamp przy całkowitym zachmurzeniu dla miesiąca luty - godzina 13:00



Rysunek 19: Wpływ zmiany warunków pogodowych przy stałym natężeniu dla miesiąca luty - godzina 13:00

5 Podsumowanie

| Bez oświetlenia | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| Słonecznie | | | | | | | | | |
| Godzina | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| | 10 Luty | | | | | | | | |
| Średnie natężenie oświetlenia [lux] | 307 | 211 | 240 | 314 | 409 | 473 | 2604 | 2901 | 367 |
| | 10 Marzec | | | | | | | | |
| Średnie natężenie oświetlenia [lux] | 367 | 447 | 597 | 753 | 828 | 855 | 856 | 828 | 1007 |
| Częściowe zachmurzenie | | | | | | | | | |
| Godzina | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| | 10 Luty | | | | | | | | |
| Średnie natężenie oświetlenia [lux] | 69 | 94 | 132 | 171 | 209 | 226 | 531 | 533 | 94 |
| | 10 Marzec | | | | | | | | |
| Średnie natężenie oświetlenia [lux] | 186 | 190 | 200 | 221 | 253 | 321 | 408 | 474 | 488 |
| Całkowite zachmurzenie | | | | | | | | | |
| Godzina | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| | 10 Luty | | | | | | | | |
| Średnie natężenie oświetlenia [lux] | 39 | 75 | 104 | 120 | 124 | 116 | 99 | 69 | 33 |
| | 10 Marzec | | | | | | | | |
| Średnie natężenie oświetlenia [lux] | 182 | 213 | 239 | 248 | 252 | 242 | 223 | 192 | 157 |

6 Plan działania

1. Wykonanie modelu sali lekcyjnej przy użyciu programu *Blender* ✓
2. Wykonanie modelu natynkowej oprawy oświetleniowej zgodnej ze specyfikacją, przy użyciu programu *Blender* ✓
3. Wstępny dobór konfiguracji opraw oświetleniowych ✓
4. Nadanie parametrów/materiałów Vi-Suite obiektom biorącym udział w sumlacji ✓
5. Sporządzenie schematu w Node Edytorze ✓
6. Dobór parametrów przeprowadzanych symulacji ✓
7. Przeprowadzenie symulacji przy użyciu pakietu *VI-Suite* i zewnętrznej aplikacji *Radiance* dla różnych konfiguracji wybranych parametrów:
8. Zbiorcze zestawienie i analiza otrzymanych wyników
9. Porównanie rezultatów z rzeczywistymi badaniami
10. Wnioski i podsumowanie

7 Przegląd literatury

Literatura

- [1] D.Heim, A. Kujawski, *Rozkład natężenia oświetlenia dziennego dla prostych struktur zabudowy*

- [2] K. Błażejczyk et al., *Seasonal and regional differences in lighting conditions and their influence on melatonin secretion*, Quaestiones Geographicae, 33(3), 2014, 17–25
- [3] M. Ayoub, *A review on light transport algorithms and simulation tools to model day-lighting inside buildings*, Solar Energy, 198, 2020, 623–642
- [4] L. Bellia, F. Fragliasso, *Automated daylight-linked control systems performance with illuminance sensors for side-lit offices in the Mediterranean area*, Automation in Construction, 100 , 2019, 145–162
- [5] R. Southall, F. Biljecki, *The VI-Suite: a set of environmental analysis tools with geospatial data applications*, Open Geospatial Data, Software and Standards, 2017, 2–23
- [6] *Recommended Light Levels (Illuminance) for Outdoor and Indoor Venues*
- [7] V. Logar, Z. Kristl, I. Skrjanc, *Using a fuzzy black-box model to estimate the indoor illuminance in buildings*, Energy and Buildings, 70, 2014, 343–351
- [8] Jerzy Wójcik Architekt IARP, Szkoły podstawowe,szkoły średnie. Technologia obiektów", 28.10.2014
- [9] <http://www.instalacjebudowlane.pl/9490-29-12421-oswietlenie-led-w-szkolach-normy-i-rozwiazania-praktyczne.html>
- [10] Dr Ryan Southall, School of Art, Design & Media - University of Brighton, Simulations and Visualisations with the VI-Suite - For VI-Suite Version 0.4
- [11] <https://energyplus.net/weather>
- [12] https://pl.wikipedia.org/wiki/Natezenie_oswietlenia
- [13] http://cmf.p.lodz.pl/iowczarek/materialy/fotometria/natenie_owietlenia
- [14] <https://bezel.com.pl/2018/08/01/wymagania-oswietleniowe/>