

# Symulacja natężenia światła

Paulina Stal, Patrycja Marchwica

## 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  $\phi$  padającego na powierzchnię i pola  $S$  tej powierzchni, przy  $S$  dążącym do zera:

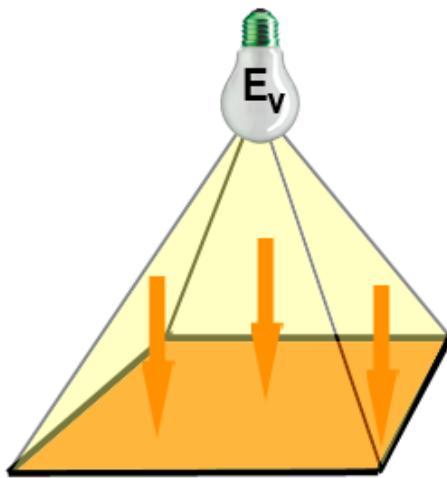
$$E_v = \frac{d\Phi_v}{dS}$$

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, przykre 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-chmurzenia 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.

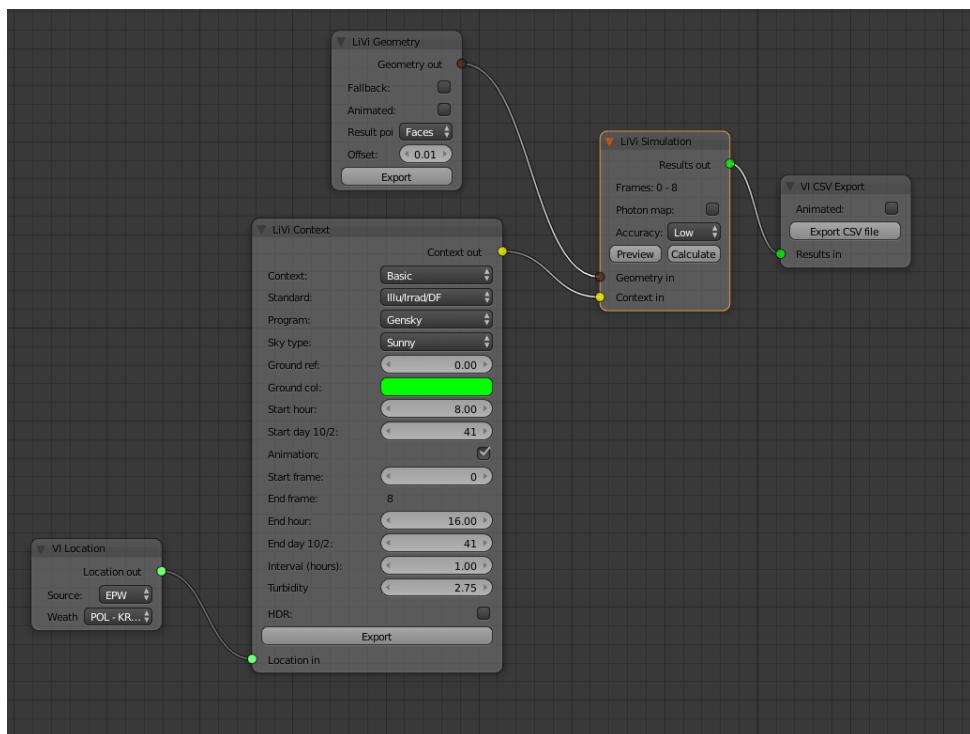
Natężenie oświetlenia w salach lekcyjnych musi wynosić 300 lx natomiast powinno być wysokie (500 lx) tam, gdzie wykonywane są głównie „zadania wzrokowe” – czytanie i pisanie ręczne. Preferowanym rodzajem źródeł światła do oświetlania pomieszczeń w szkole (klas, korytarzy, szatni) są świetłówki. W warunkach 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

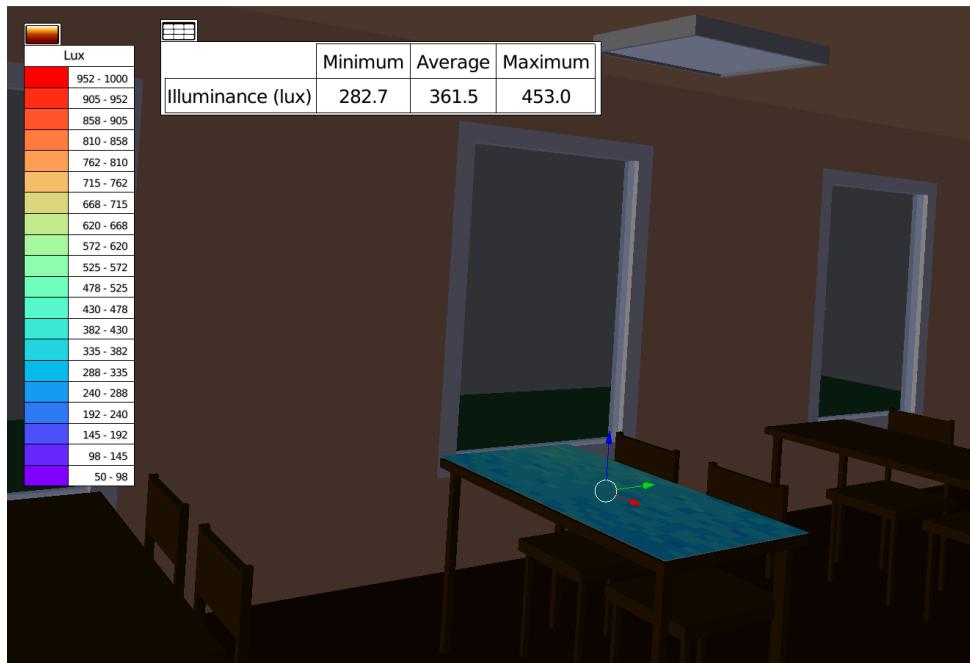
Do zamodelowania sali lekcyjnej jak i do wyrenderowania obrazów zostało użyty program *Blender*. Aby zobrazować natężenie światła w określonych miejsca, zbadać wpływ warunków pogodowych i ustawienia lamp wykorzystano rozszerzenie *VI-Suite*. Analiza oświetlenia została uzyskana poprzez dwa komponenty *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*.



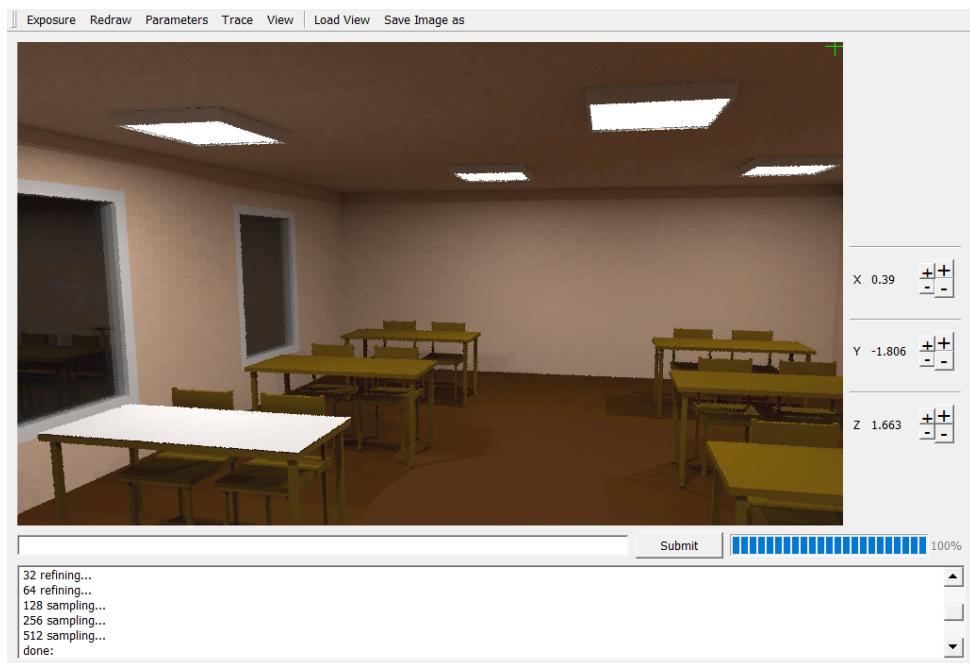
Rysunek 2: Node Editor

### 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 –  $0.68m$
  - Okna znajdują się od wschodniej i zachodniej strony pomieszczenia



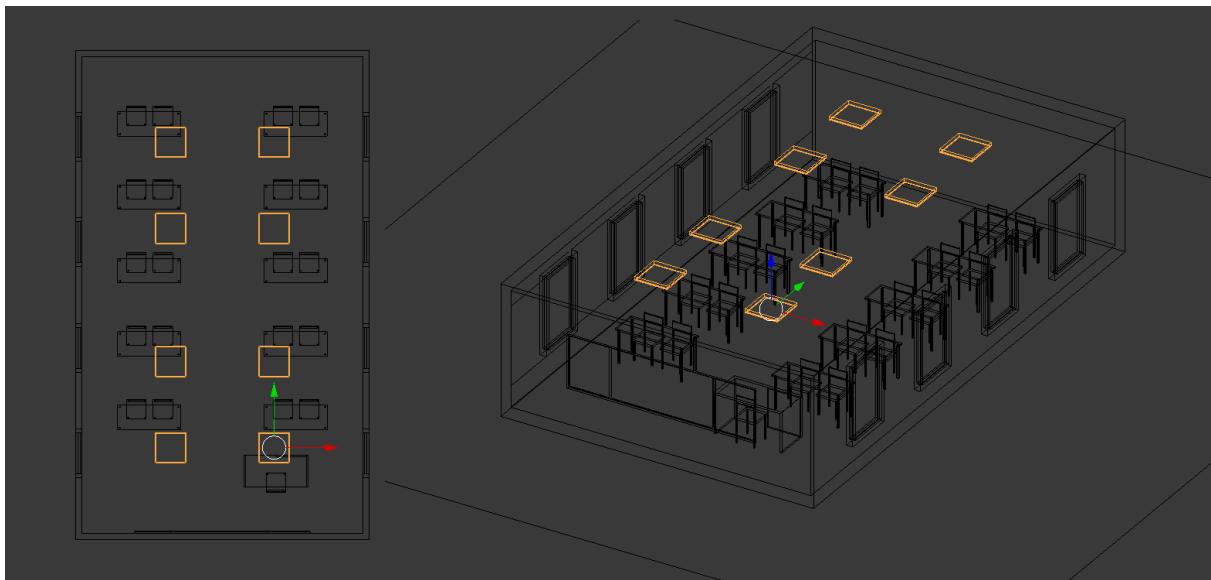
Rysunek 3: Wyniki otrzymane w wyniku symulacji



Rysunek 4: Podgląd przeprowadzanej symulacji

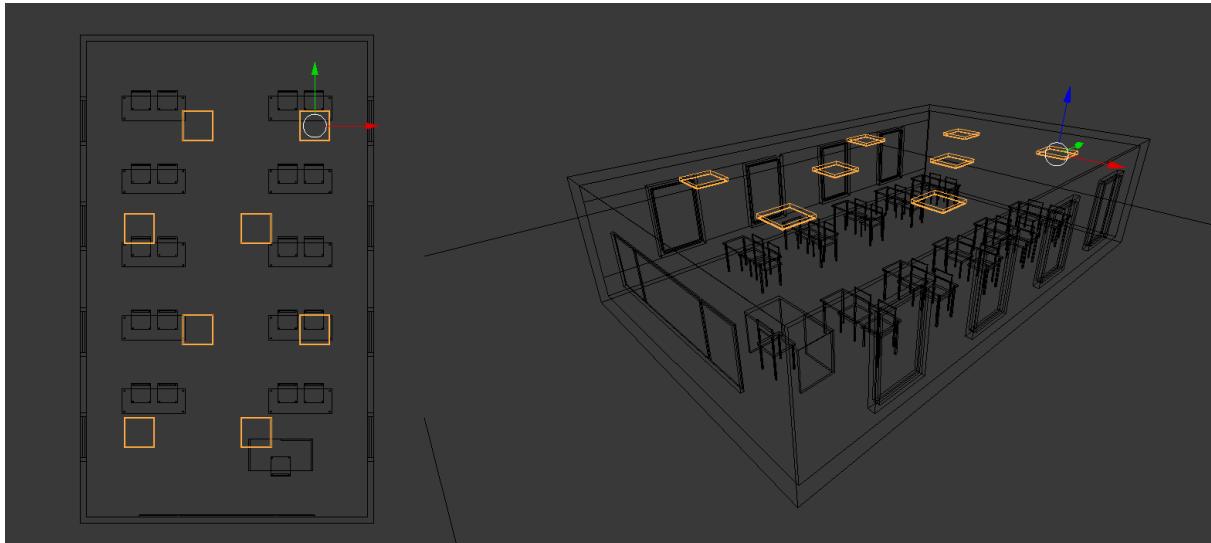
- Oświetlenie

- 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 wzdułż 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 „szachownicę”
  - \* 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 –  $1.45m$

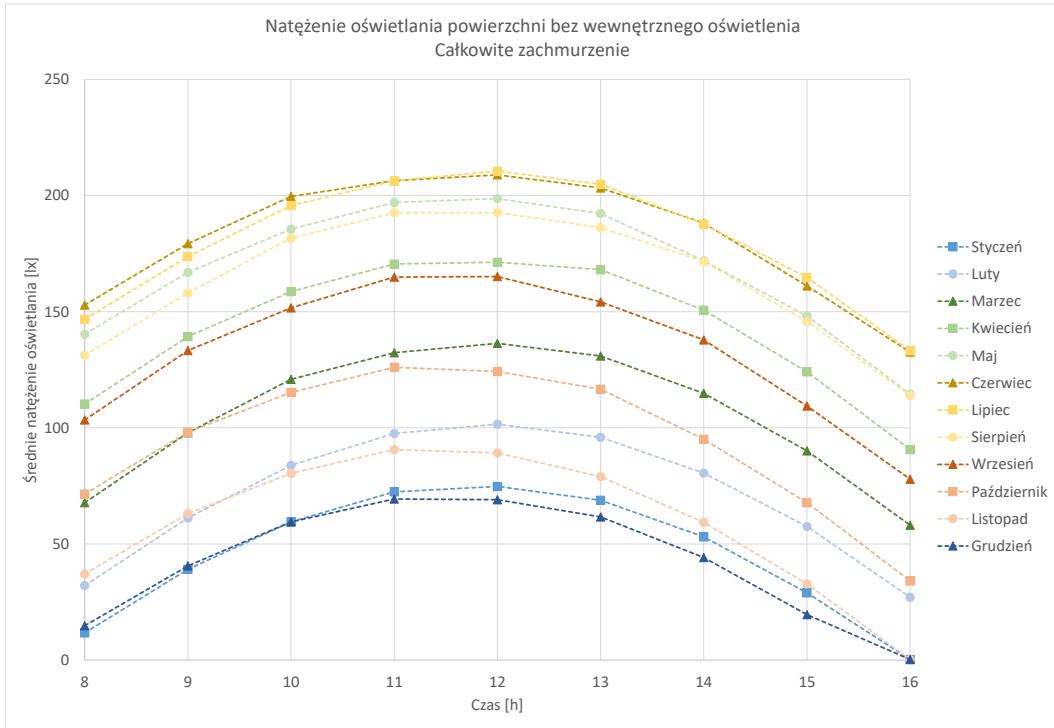


Rysunek 6: Konfiguracja opraw oświetleniowych nr 2 - „szachownica”

- 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

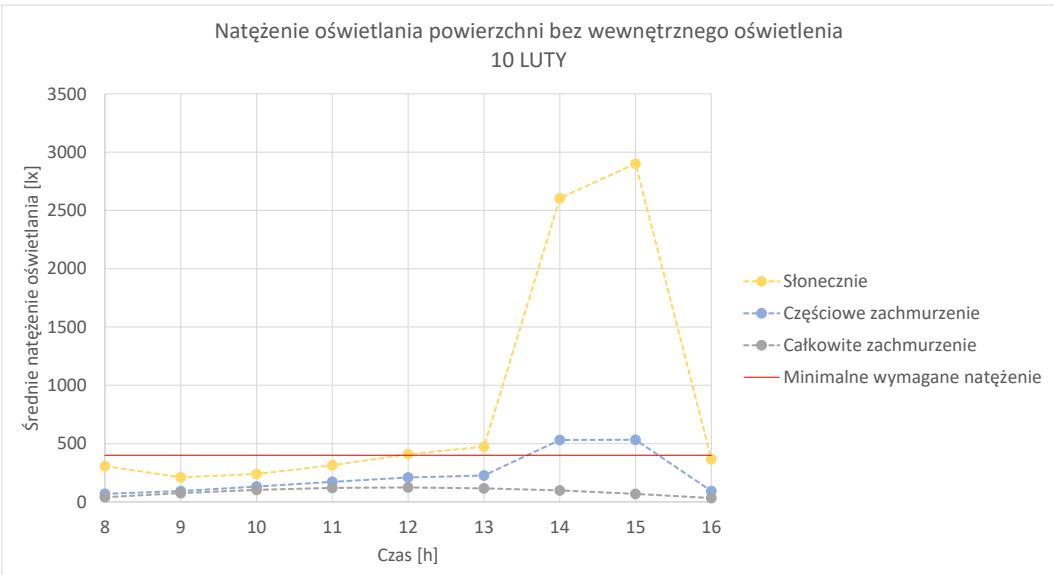
## 4 Rezultaty

### 4.1 Symulacja dla całego roku bez oświetlenia



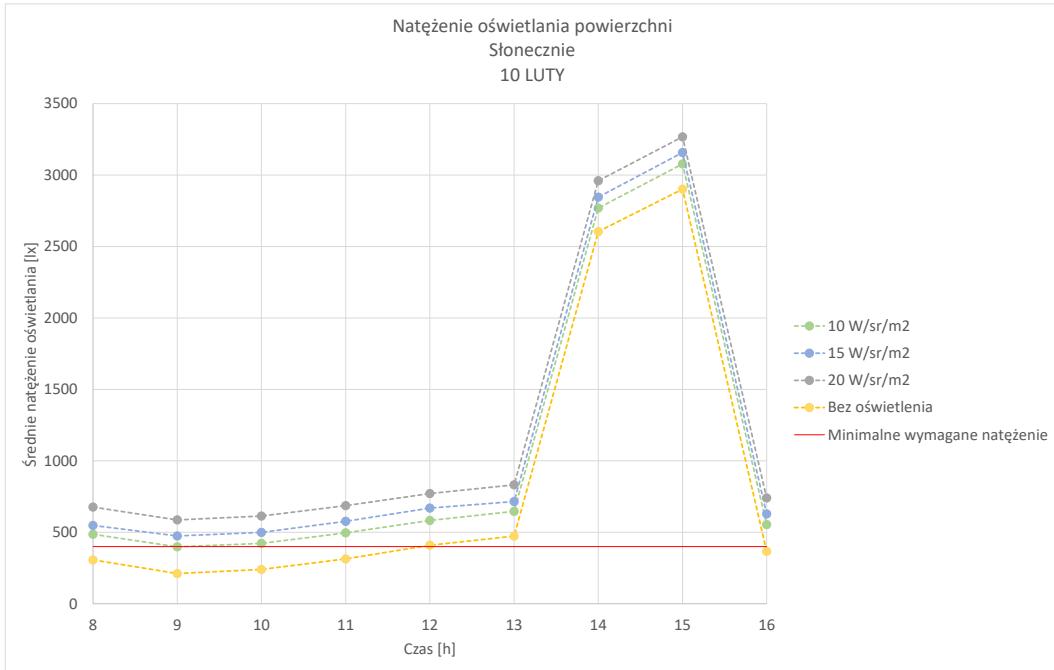
Rysunek 7: Natężenie oświetlania powierzchni biurka w sali lekcyjnej bez włączonego oświetlenia dla wszystkich miesięcy

### 4.2 Brak oświetlenia

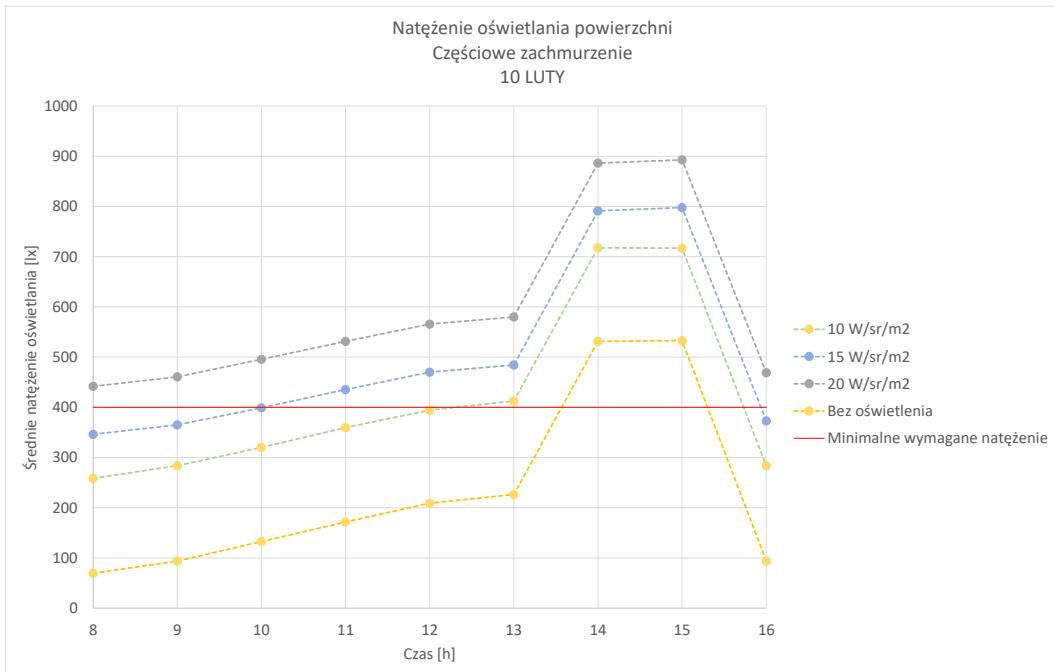


Rysunek 8: Natężenie oświetlania powierzchni biurka w sali lekcyjnej bez włączonego oświetlenia dla różnych warunków pogodowych

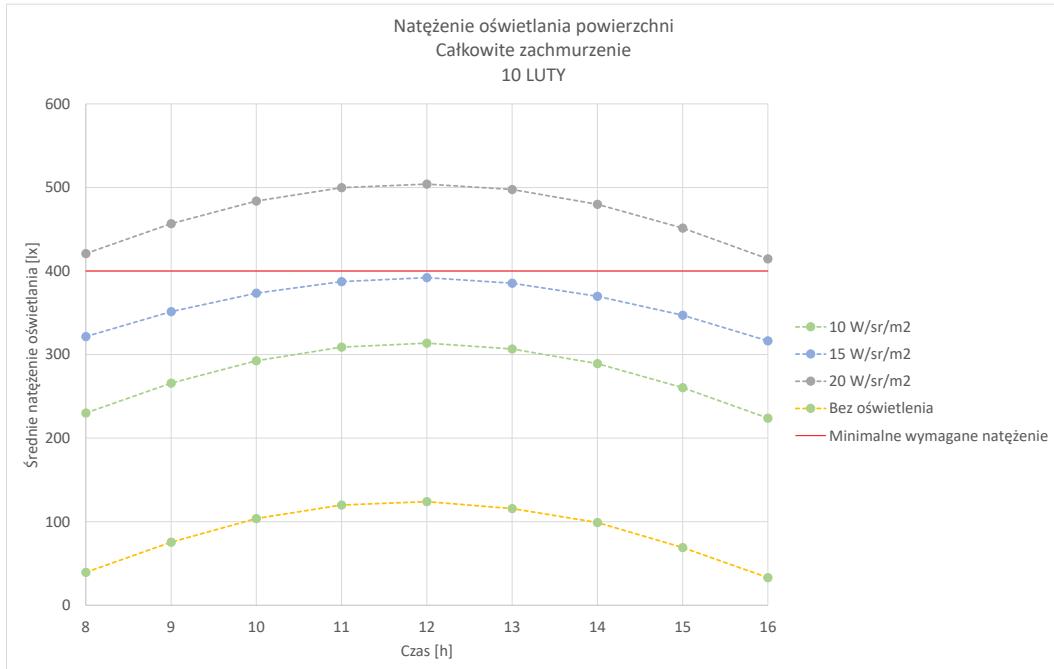
### 4.3 Konfiguracja opraw oświetleniowych 1



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

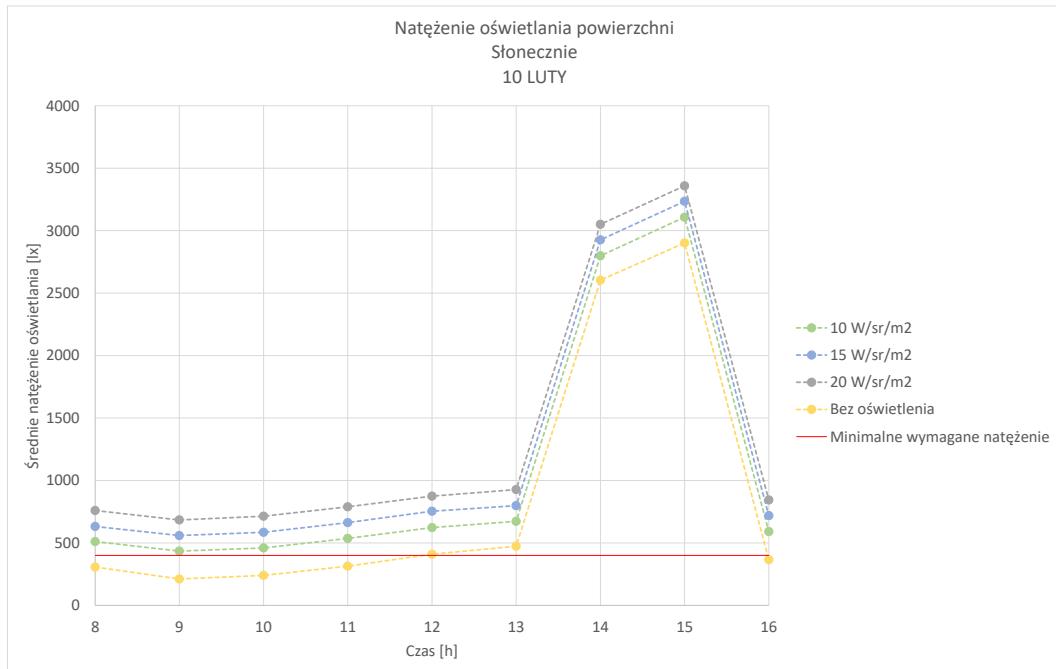


Rysunek 10: Natężenie oświetlania powierzchni biurka w sali lekcyjnej przy częściowym zachmurzeniu oraz włączonym oświetleniu dla konfiguracji opraw oświetleniowych nr 1 i różnej wartości radiancji

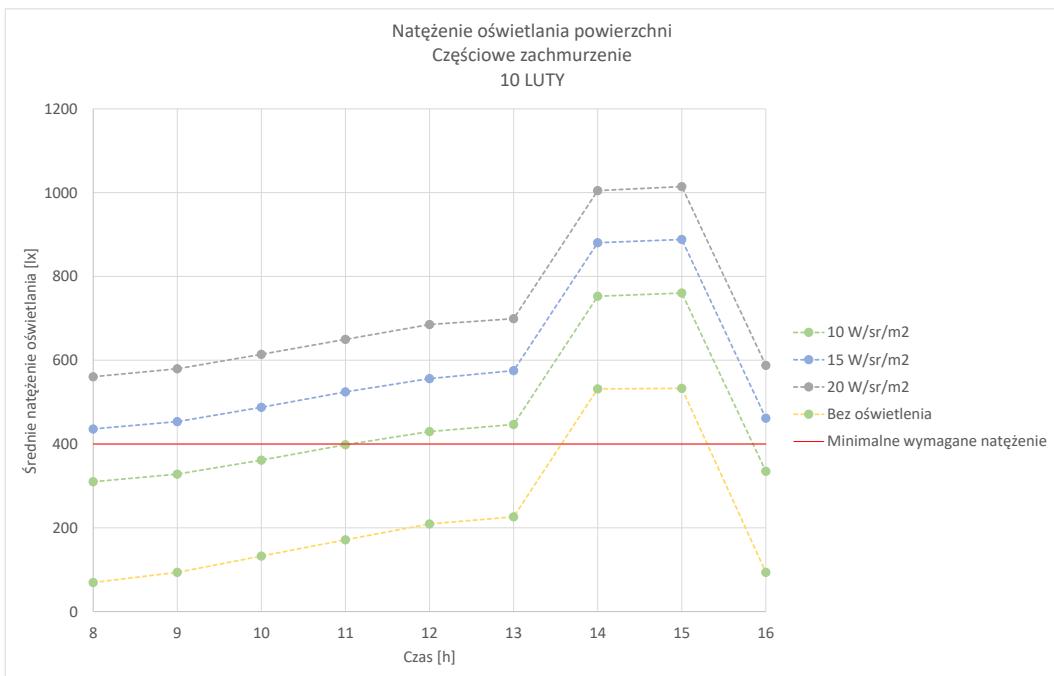


Rysunek 11: Natężenie oświetlania powierzchni biurka w sali lekcyjnej przy całkowitym zachmurzeniu oraz włączonym oświetleniu dla konfiguracji opraw oświetleniowych nr 1 i różnej wartości radiancji

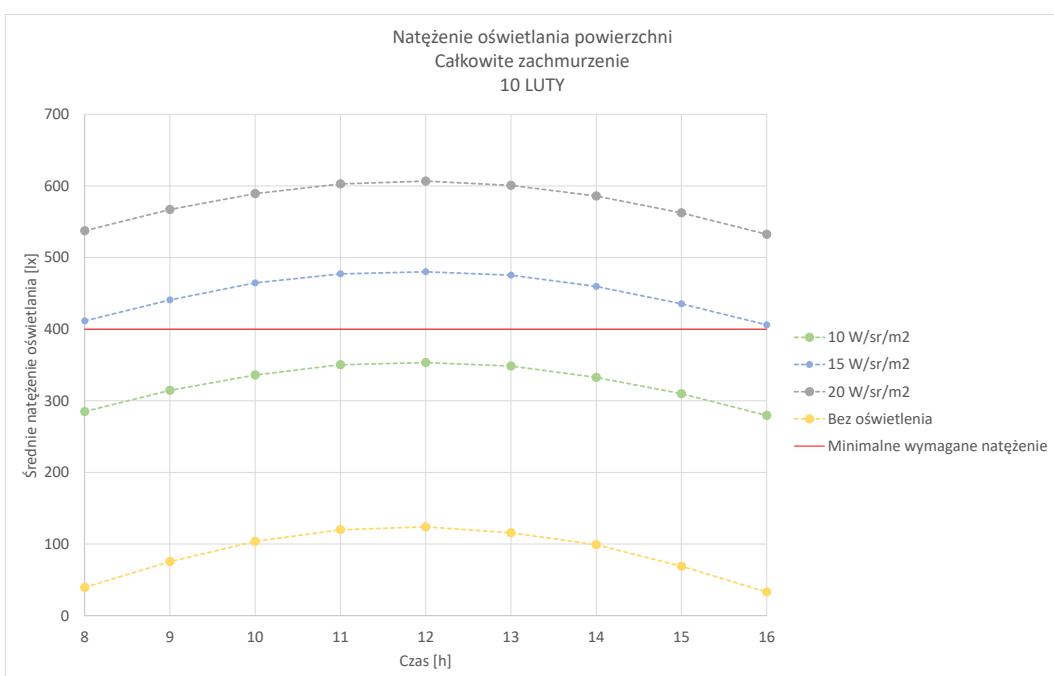
#### 4.4 Konfiguracja opraw oświetleniowych 2



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

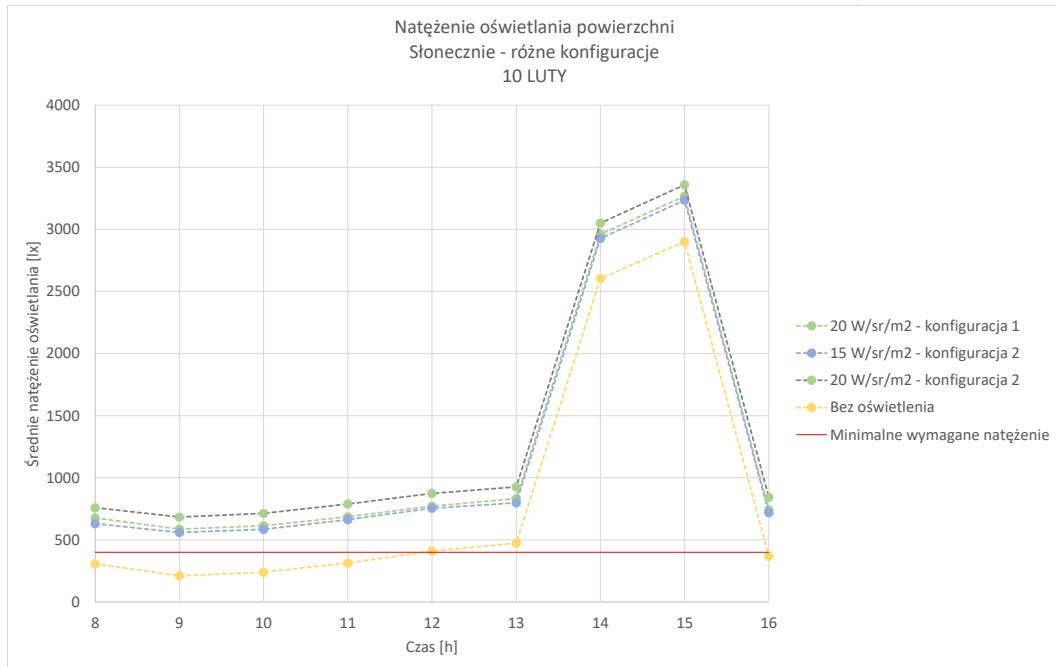


Rysunek 13: Natężenie oświetlania powierzchni biurka w sali lekcyjnej przy częściowym zachmurzeniu oraz włączonym oświetleniu dla konfiguracji opraw oświetleniowych nr 2 i różnej wartości radiancji

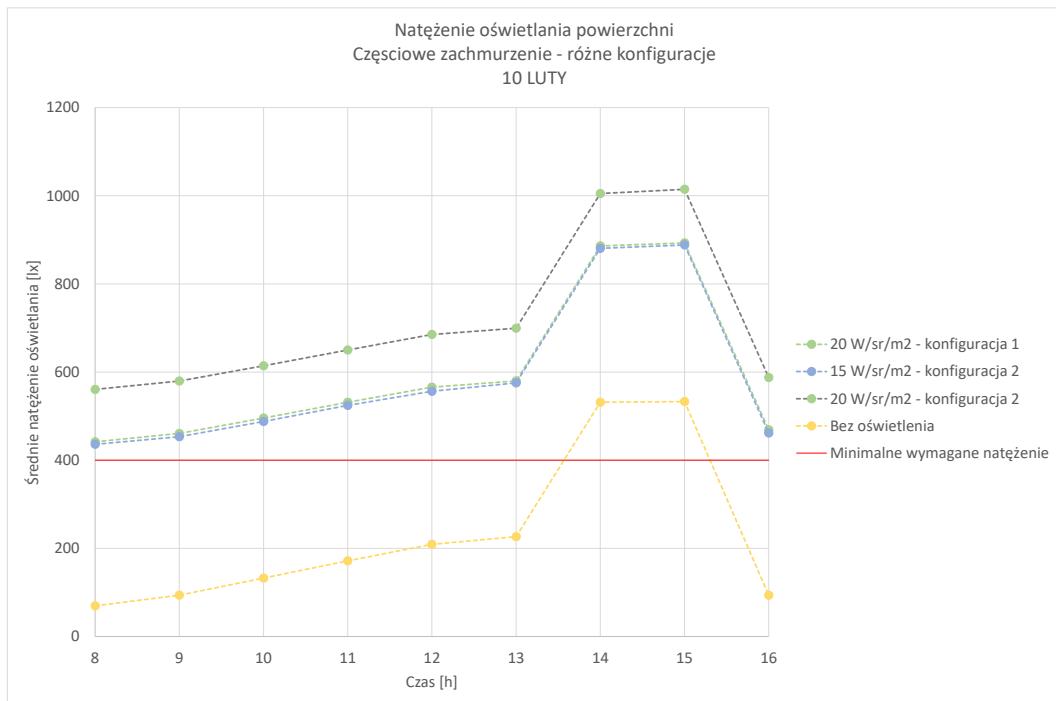


Rysunek 14: Natężenie oświetlania powierzchni biurka w sali lekcyjnej przy całkowitym zachmurzeniu oraz włączonym oświetleniu dla konfiguracji opraw oświetleniowych nr 2 i różnej wartości radiancji

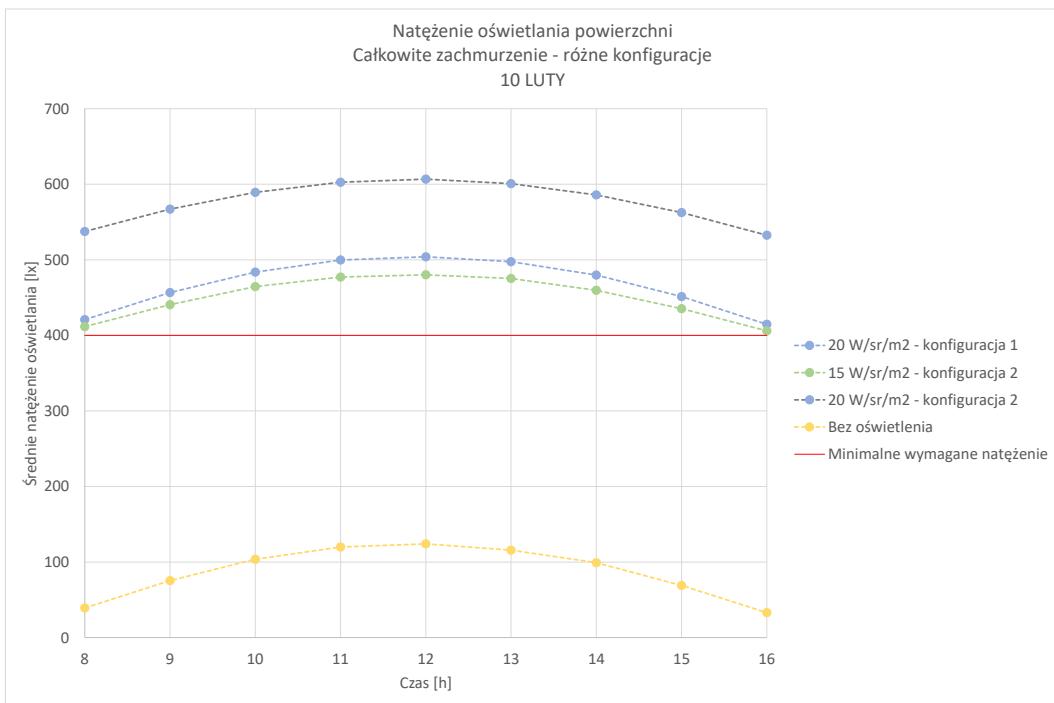
## 4.5 Zestawienie wybranych wyników



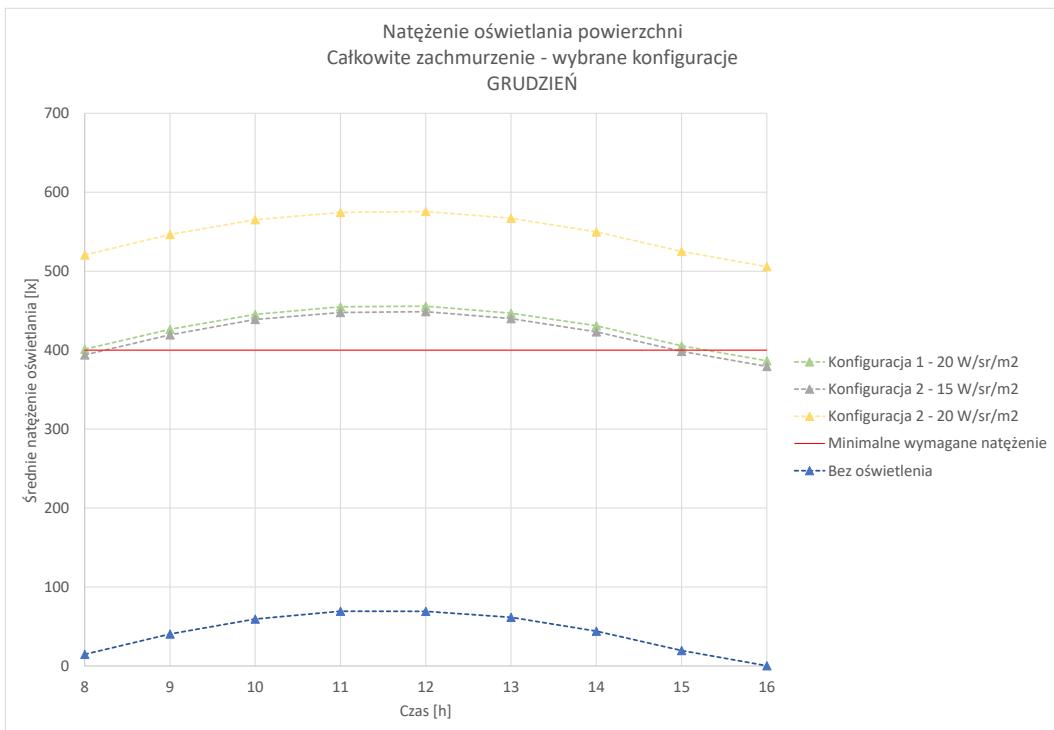
Rysunek 15: Natężenie oświetlania powierzchni biurka w sali lekcyjnej w słoneczny dzień dla wybranych konfiguracji opraw oświetleniowych i wartości radiancji



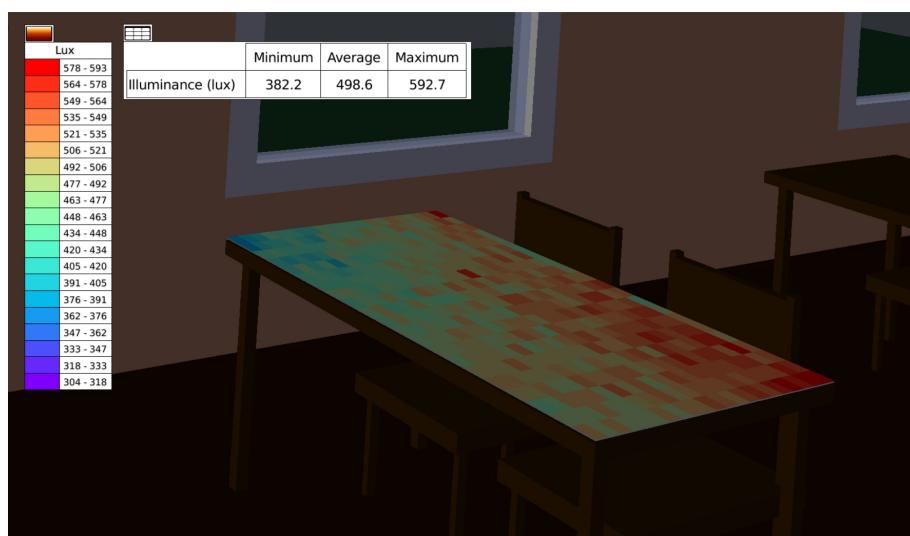
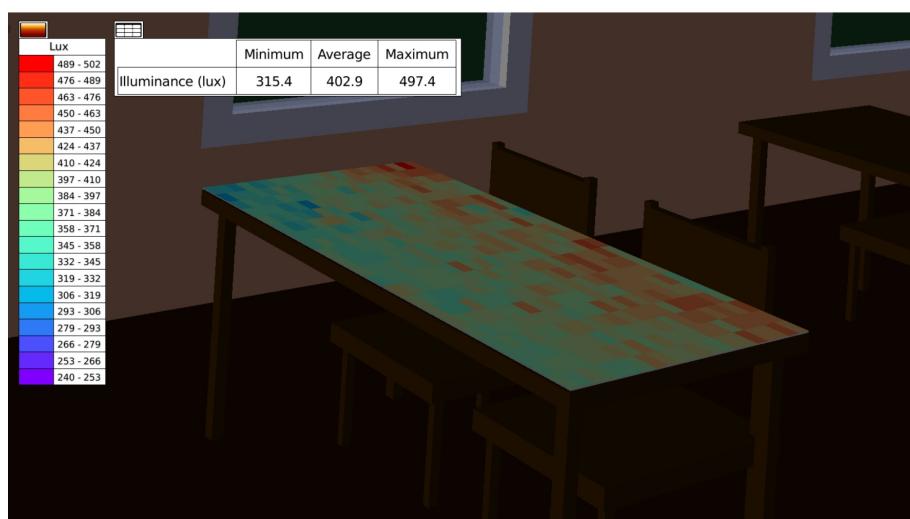
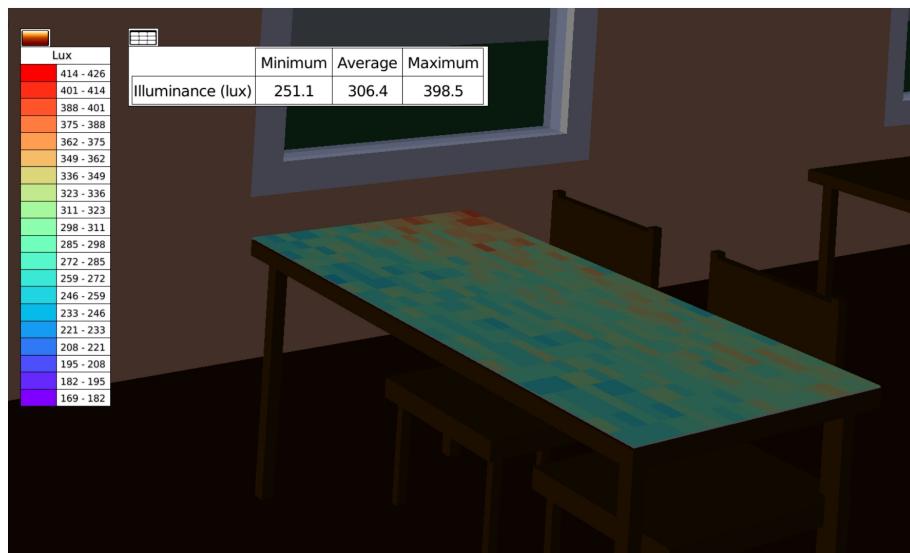
Rysunek 16: Natężenie oświetlania powierzchni biurka w sali lekcyjnej przy częściowym zachmurzeniu oraz włączonym oświetleniu dla wybranych konfiguracji opraw oświetleniowych i różnej wartości radiancji



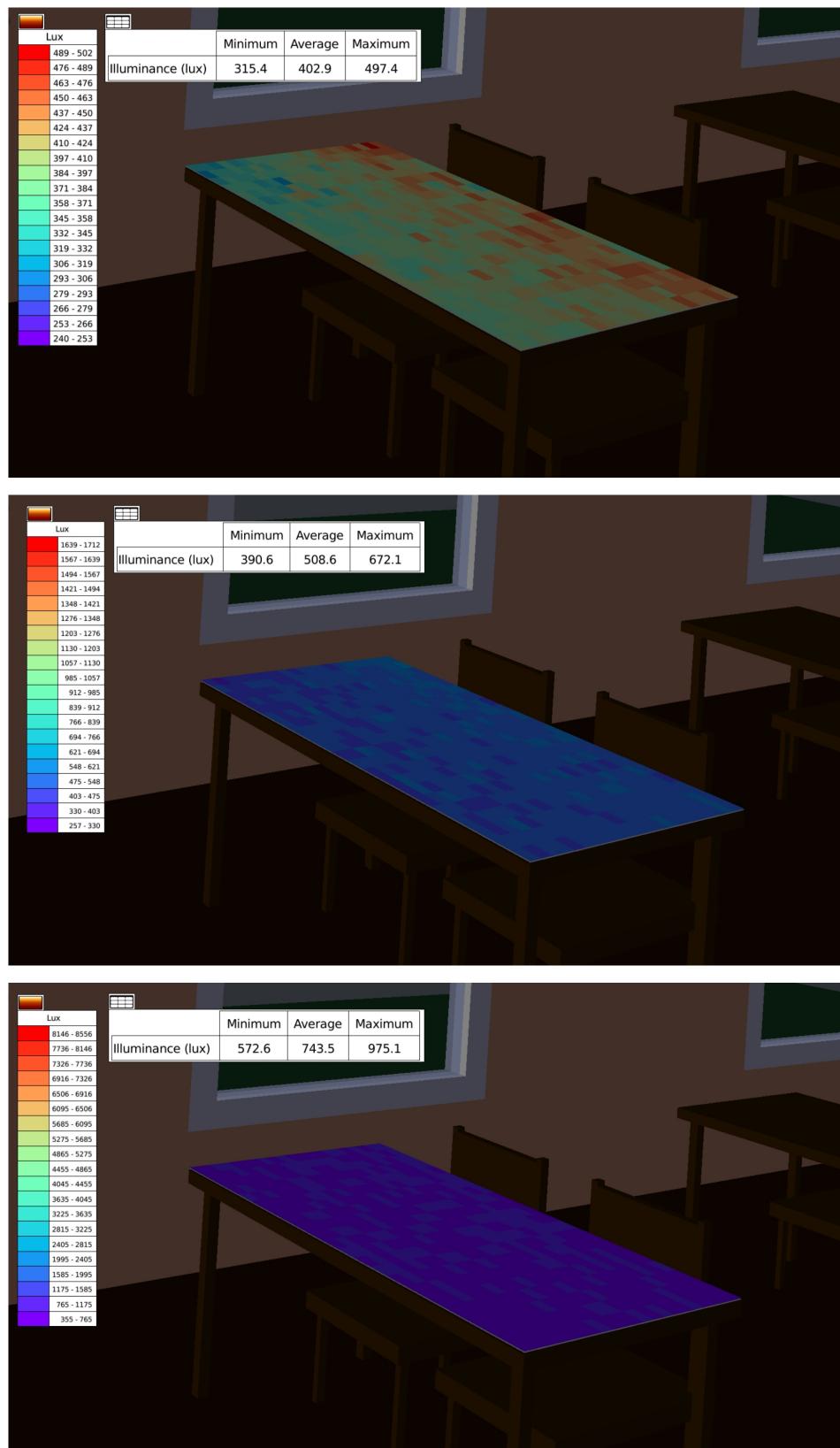
Rysunek 17: Natężenie oświetlania powierzchni biurka w sali lekcyjnej przy całkowitym zachmurzeniu oraz włączonym oświetleniu dla wybranych konfiguracji opraw oświetleniowych i różnej wartości radiancji



Rysunek 18: Natężenie oświetlania powierzchni biurka w sali lekcyjnej przy całkowitym zachmurzeniu w grudniu oraz włączonym oświetleniu dla wybranych konfiguracji opraw oświetleniowych i różnej wartości radiancji



Rysunek 19: Wpływ zmiany natężenia lamp przy całkowitym zachmurzeniu dla miesiąca luty - godzina 13:00



Rysunek 20: Wpływ zmiany warunków pogodowych przy stałym natężeniu dla miesiąca luty - godzina 13:00

## 5 Podsumowanie

### 5.1 Dla wybranego miesiąca - luty

Bez oświetlenia									
Słonecznie									
Godzina	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Śr. wartość natężenia oświetlenia [lux]	307	211	240	314	409	473	2604	2901	367
Częściowe zachmurzenie									
Godzina	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Śr. wartość natężenia oświetlenia [lux]	69	94	132	171	209	226	531	533	94
Całkowite zachmurzenie									
Godzina	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Śr. wartość natężenia oświetlenia [lux]	39	75	104	120	124	116	99	69	33

Tablica 1: Natężenie oświetlenia powierzchni biurka dla miesiąca luty bez sztucznego oświetlenia

W przypadku braku sztucznego oświetlenia, niezależnie od panujących warunków naturalnych, światło słoneczne nie jest wystarczające by zapewnić dobre oświetlenie spełniające wymagane normy 400 lx.

Konfiguracja opraw oświetleniowych 1									
Słonecznie									
Godzina	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10 W/sr/m <sup>2</sup>									
Śr. wartość natężenie oświetlenia [lux]	486	398	422	496	583	646	2769	3078	554
15 W/sr/m <sup>2</sup>									
Śr. wartość natężenia oświetlenia [lux]	548	475	499	577	669	716	2846	3158	629
20 W/sr/m <sup>2</sup>									
Śr. wartość natężenia oświetlenia [lux]	677	587	614	686	771	832	2961	3267	741
Częściowe zachmurzenie									
Godzina	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10 W/sr/m <sup>2</sup>									
Śr. wartość natężenia oświetlenia [lux]	259	284	320	360	394	413	718	717	284
15 W/sr/m <sup>2</sup>									
Śr. wartość natężenia oświetlenia [lux]	346	365	399	435	470	484	791	798	373
20 W/sr/m <sup>2</sup>									
Śr. wartość natężenia oświetlenia [lux]	442	461	495	531	566	580	886	893	469
Całkowite zachmurzenie									
Godzina	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10 W/sr/m <sup>2</sup>									
Śr. wartość natężenia oświetlenia [lux]	230	266	293	309	314	307	289	260	224
15 W/sr/m <sup>2</sup>									
Śr. wartość natężenia oświetlenia [lux]	322	351	373	387	392	385	370	347	316
20 W/sr/m <sup>2</sup>									
Śr. wartość natężenia oświetlenia [lux]	421	457	484	500	504	497	480	451	415

Tablica 2: Natężenie oświetlenia powierzchni biurka dla miesiąca luty dla konfiguracji opraw oświetleniowych 1

Dla pierwszej konfiguracji opraw oświetleniowych w sytuacji, gdy warunki są najbardziej korzystne lampa  $15 \text{ W/sr}/m^2$  wydaje się być wystarczająca jednak, dla nieco pogorszonych warunków pogodowych, nie spełnia ona norm. Należałoby zatem wybrać oświetlenie wynoszące  $20 \text{ W/sr}/m^2$  dla takiego ustawienia.

Konfiguracja opraw oświetleniowych 2										
Słonecznie										
Godzina	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
$10 \text{ W/sr}/m^2$										
Śr. wartość natężenia oświetlenia [lux]	511	435	460	536	623	673	2799	3108	591	
$15 \text{ W/sr}/m^2$										
Śr. wartość natężenia oświetlenia [lux]	631	559	585	663	754	798	2926	3235	719	
$20 \text{ W/sr}/m^2$										
Śr. wartość natężenia oświetlenia [lux]	759	684	713	789	874	927	3051	3359	843	
Częściowe zachmurzenie										
Godzina	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
$10 \text{ W/sr}/m^2$										
Śr. wartość natężenia oświetlenia [lux]	310	328	362	398	430	447	753	760	335	
$15 \text{ W/sr}/m^2$										
Śr. wartość natężenia oświetlenia [lux]	436	453	488	524	556	575	881	888	462	
$20 \text{ W/sr}/m^2$										
Śr. wartość natężenia oświetlenia [lux]	561	579	614	650	685	699	1005	1015	588	
Całkowite zachmurzenie										
Godzina	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
$10 \text{ W/sr}/m^2$										
Śr. wartość natężenia oświetlenia [lux]	285	315	336	350	353	348	333	310	280	
$15 \text{ W/sr}/m^2$										
Śr. wartość natężenia oświetlenia [lux]	412	441	465	477	480	475	460	435	406	
$20 \text{ W/sr}/m^2$										
Śr. wartość natężenia oświetlenia [lux]	537	567	589	603	607	601	586	563	533	

Tablica 3: Natężenie oświetlenia powierzchni biurka dla miesiąca luty dla konfiguracji opraw oświetleniowych 2

W ostatnim przypadku, gdzie została użyta druga konfiguracja opraw, wybranie lamp  $20 \text{ W/sr}/m^2$  pozwoli nam na uzyskanie oświetlenia spełniającego normy lecz z przyczyn ekonomicznych korzystniej byłoby wybrać lampy o nieco słabszej mocy  $15 \text{ W/sr}/m^2$ , które również dobrze mogą zapewnić tak samo dobre warunki do pracy.

## 5.2 Dla całego roku

Po przeprowadzeniu symulacji dla całego roku, gdzie nie zostało użyte żadne dodatkowe naświetlenie pomieszczenia poza naturalnym, możemy zaobserwować brak spełnienia norm dla każdego miesiąca. Doświadczenie zostało wykonane dla całkowitego zachmurzenia nieba kiedy to warunki pogodowe są najmniej korzystne. Dla cieplejszych dni oświetlenie osiąga co najwyżej 211 lx - co wciąż jest dwa razy mniejsze od wymaganych regulacji. W przypadku zaś chłodniejszych miesięcy wynosi blisko 0 lx. Niestosowanie żadnego dodatkowego źródła światła przez cały rok nie jest możliwe.

	Godzina								
	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Śr. wartość natężenia oświetlenia [lux]								
Styczeń	12	39	60	72	75	69	53	29	0
Luty	32	61	84	98	102	96	81	58	27
Marzec	68	98	121	132	136	131	115	90	58
Kwiecień	110	139	159	171	171	168	151	124	91
Maj	140	167	186	197	199	192	172	148	115
Czerwiec	153	179	200	206	209	203	188	161	133
Lipiec	147	174	196	206	211	205	188	165	133
Sierpień	131	158	182	193	193	186	172	146	114
Wrzesień	103	133	152	165	165	154	138	109	78
Październik	72	98	115	126	124	117	95	68	34
Listopad	37	63	80	91	89	79	59	33	0
Grudzień	15	41	59	69	69	62	44	20	0

Tablica 4: Natężenie oświetlenia powierzchni biurka dla całego roku bez sztucznego oświetlenia przy całkowitym zachmurzeniu

## 6 Wnioski

W powyższej pracy została przeprowadzona analiza oświetlenia sali lekcyjnej. Otrzymane wyniki zostały zobrazowane w formie graficznej w postaci wykresów. Przedstawione rezultaty pozwalają stwierdzić, że zarówno warunki pogodowe, rozkład lamp jak i ich natężenie mają istotny wpływ na natężenie oświetlenia. Przeprowadzone analizy pokazują jak istotną rolę pełni dobre oświetlenie w salach lekcyjnych. Jeśli jest tylko taka możliwość naturalne oświetlenie jest bardziej preferowane często jednak nie jest ono wystarczające.

## 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 obieków", 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](https://pl.wikipedia.org/wiki/Natezenie_oswietlenia)
- [13] [http://cmf.p.lodz.pl/iowczarek/materiały/fotometria/natenie\\_owietlenia](http://cmf.p.lodz.pl/iowczarek/materiały/fotometria/natenie_owietlenia)
- [14] <https://bezel.com.pl/2018/08/01/wymagania-oswietleniowe/>