



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA

SYMULACJA DYSKRETNĄ SYSTEMÓW ZŁOŻONYCH
PROJEKT ZALICZENIOWY

Stochastyczny model inteligentnego oświetlenia

*Małgorzata Barnach
Dominik Wróbel*

Prowadzący
mgr inż. Robert LUBAŚ

Kraków, 7 maja 2019

Spis treści

1 Słownik pojęć i symboli	3
2 Wstęp	4
2.1 Cechy i podział opraw oświetleniowych	4
2.2 Rodzaje żarówek	5
3 Model matematyczny oświetlenia	6
3.1 Oprawa oświetleniowa	6
3.1.1 Kąt emisji światła Ω	6
3.1.2 Moc świecenia Φ	7
3.1.3 Natężenie źródła światła I	7
3.2 Wielozadaniowy sensor	8
3.2.1 Kąt α z którego dociera największe natężenie światła	8
3.2.2 Dystans od oprawy oświetlenowej R	8
3.2.3 Natężenie oświetlenia E	8
4 Model matematyczny rozpraszania i absorpcji światła	9
4.1 Pochłanianie (absorpcja) światła	9
4.2 Rozpraszańcie światła	9
5 Działanie systemu intelligentnego oświetlenia	10
5.1 Przykład - Zapewnienie odpowiedniego naświetlenia dla biura	10
5.2 Wymagania stawiane oświetleniom pomieszczeń	10
6 Automaty komórkowe	12
6.1 Sąsiedztwo	12
6.2 Warunki brzegowe	13
7 Implementacja modelu w technologii CA	14
7.1 Siatka komórek α	14
7.2 Zbiór stanów komórek S	15
7.3 Skończony zbiór sąsiadów N	15
7.4 Funkcja przejścia f	16
7.4.1 Funkcja celu	17
7.4.2 Idea działania algorytmu	17
7.5 Warunki brzegowe i początkowe	18
8 Symulacja modelu oświetlenia	19
8.1 Przypadki testowe	19
8.1.1 Przypadek testowy 1	19
8.1.2 Wynik testu 1	20
8.1.3 Wnioski z testu 1	20
8.1.4 Przypadek testowy 2	21
8.1.5 Wynik testu 2	22
8.1.6 Wnioski z testu 2	22
8.1.7 Przypadek testowy 3	23
8.1.8 Wynik testu 3	24
8.1.9 Wnioski z testu 3	24

STOCHASTYCZNY MODEL INTELIGENTNEGO OŚWIETLENIA

8.1.10 Przypadek testowy 4	25
8.1.11 Wynik testu 4	26
8.1.12 Wnioski z testu 4	26
8.1.13 Przypadek testowy 5	27
8.1.14 Wynik testu 5	28
8.1.15 Wnioski z testu 5	28
8.1.16 Przypadek testowy 6 (absorpcja)	29
8.1.17 Wynik testu 6, charakterystyka liniowa, $k = 0,05$	30
8.1.18 Wynik testu 6, charakterystyka liniowa, $k = 0,2$	31
8.1.19 Wynik testu 6, charakterystyka eksponencjalna, $k = 0,2$	32
8.1.20 Wynik testu 6, charakterystyka eksponencjalna, $k = 0,2$	33
8.1.21 Wnioski z testu 6	33
9 Wnioski końcowe	34
10 Dodatek A - Implementacja aplikacji	35
10.1 Technologie	35
10.2 Wymagania sprzętowe	35
10.3 User Guide	35
10.3.1 Struktura plików	35
10.3.2 Uruchomienie aplikacji	35
10.3.3 Użytkowanie aplikacji	35
10.3.4 Przykład	36
10.4 Szczegółы implementacyjne	42
5 Literatura	46

1. Słownik pojęć i symboli

Oprawa oświetleniowa (źródło światła)

Odnosi się do punktowego źródła światła, które posiada parametry: moc świecenia, kąt emisji światła, a także wynikający z tych dwóch: natężenie światła.

Sensor (czujnik)

To wielozadaniowy czujnik dedykowany do zastosowań związanych z pomiarem światła. Mierzy parametry: natężenie oświetlenia, dystans do oprawy oświetleniowej, kąt z którego dociera największe natężenie światła.

Geometria modelu

Określa otoczenie w którym znajdują się sensory i oprawy oświetleniowe, ośrodek w którym rozchodzi się światło.

Kąt emisji światła Ω

Kąt bryłowy określający zakres rozchodzenia się światła z oprawy oświetleniowej.

Moc świecenia Φ

wielkość ta związana jest z ilością energii wysyłanej przez źródło światła. W modelu rozważana jest fotometria wizualna w której korzystamy z pojęcia strumienia świetlnego wyrażanego w lumenach. Przez moc świecenia rozumiany więc będzie strumień świetlny z fotometrii wizualnej.

Natężenie źródła światła I

To ilość energii emitowanej przez źródło w ciągu jednostki czasu w jednostkowy kąt bryłowy. Jednostką jest kandela.

Natężenie oświetlenia E (Iluminacja)

Ilość energii promienistej jako dociera do oświetlanej powierzchni wyrażana w luksach.

Odległość od oprawy oświetleniowej R

Odległość pomiędzy punktem reprezentującym wielozadaniowy sensor i punktem reprezentującym oprawę oświetleniową w linii prostej.

Kąt α z którego dociera największe natężenie światła do sensora

Kąt pomiędzy prostą prostopadłą do powierzchni na której umiejscowiony jest sensor i przechodzącą przez punkt reprezentujący sensor, a prostą pomiędzy sensorem i oprawą oświetleniową z której dociera największe natężenie światła.

Pochłanianie światła (absorpcja)

Własność geometrii modelu powodująca straty energii źródła światła przy przechodzeniu przez ośrodek materialny np. w wyniku przemiany na inne rodzaje energii (ciepło, jonizacja), opisana na podstawie prawa Lambert-Barea.

Rozpraszaanie światła

Własność geometrii modelu powodująca straty energii źródła światła przy przechodzeniu przez ośrodek materialny spowodowaną właściwościami ośrodka (np. gęstość ośrodka).

2. Wstęp

Oświetlenie jest w dzisiejszym świecie bardzo ważnym dobrem, często niedocenianym i bagatelizowanym. Odpowiednie oświetlenie może decydować w znacznym stopniu o naszym samopoczuciu i zdrowiu. Intensywność i odpowiednie rozmieszczenie lamp ulicznych ma wpływ na bezpieczeństwo na ulicach, a duże firmy zatrudniające dziesiątki pracowników stają się coraz bardziej świadome wpływu właściwej ilości promieni świetlnych na efektywność pracowników. W obecnych czasach, kiedy większość z nas pracuje, uczy się i spędza swoje dnie wewnętrz budynków, wymagających sztucznego oświetlenia, jego jakość i niezawodność stała się bardzo ważna dla naszego funkcjonowania.

W miarę rozwoju społeczeństwa coraz istotniejsze stało się funkcjonalne i precyzyjne sterowanie oświetleniem, pozwalające na dostosowywanie do zmieniających się warunków otoczenia i typowych zachowań użytkowników. Przy projektowaniu algorytmów sterujących oświetleniem trzeba brać również pod uwagę takie czynniki jak właściwy poziom natężenia światła, efektywność energetyczna i ekonomiczna systemu oraz łatwość obsługi.

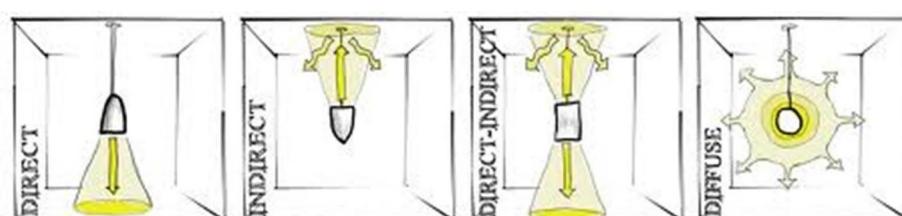
W niniejszym projekcie zbudowany zostanie stochastyczny model inteligentnego oświetlenia bazujący na modelu składającym się z opraw oświetleniowych oraz wielozadaniowych sensorów. W modelu tym uwzględnione zostaną geometrie posiadające różne charakterystyki rozpraszania i pochłaniania światła.

2.1. Cechy i podział opraw oświetleniowych

Oprawy oświetleniowe to urządzenie stanowiące podstawę do dostarczania światła odpowiedniego jakościowo i ilościowo do wnętrza danego pomieszczenia. Łączą jedno lub kilka źródeł światła z instalacją elektryczną. Odpowiadają za właściwy kierunek promieni, ich rozpraszanie lub skupianie, barwę oraz zabezpieczenie przed uszkodzeniem.

Mogą spełniać funkcję ozdobną lub techniczną. W pomieszczeniach służących jako miejsca pracy muszą spełniać określone normy, mieć właściwą konstrukcję i parametry techniczne. Wyróżniamy oprawy stojące lub wbudowane w sufit, meble, podłogę czy schody. Mogą stanowić lampy wiszące, żyrandole lub taśmy wyposażoną w diody LED. Wybór jest więc ogromny i zależy przede wszystkim od konkretnego przeznaczenia.

Ze względu na właściwości fotometryczne wyróżniamy oprawy do oświetlenia bezpośredniego, które stosowane są, gdy ma być ono skierowane w konkretne miejsce. Oprawy służące do oświetlenia pośredniego rozjaśniają pomieszczenie na zasadzie odbicia od ścian lub sufitu. Oświetlenie miesiane łączy w sobie obydwa wyżej wymienione rodzaje, a część światła skierowane jest w górę, część w dół.



Rysunek 1: Rodzaje opraw oświetleniowych

2.2. Rodzaje żarówek



Rysunek 2: Rodzaje żarówek

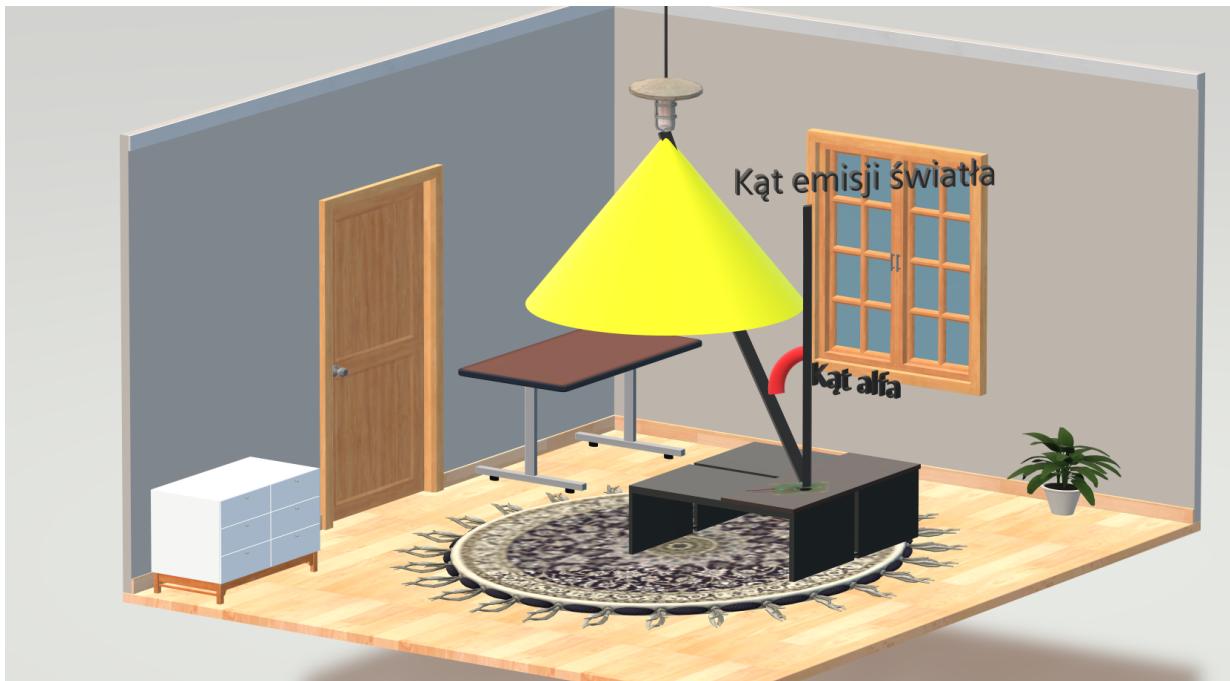
Podstawowym typem żarówki, wycofany już ze sprzedaży do użytku codziennego, jest żarówka wolframowa, inaczej nazywana lampą żarową. Jej wygląd jest znany każdemu - w szklanej bańce znajduje się drut żarnikowy, przez który przepływa prąd. Ma przede wszystkim wysokie koszty eksploatacyjne i większość pobieranej przez nią energii elektrycznej jest zamieniana na ciepło, co drastycznie obniża efektywność jej działania. Jej zakup jest dość tani, ale późniejsza eksploatacja powoduje ogromne straty. Obecnie można ją kupić jedynie jako źródło światła specjalnego przeznaczenia.

Żarówki halogenowe to żarówki zwykłe dodatkowo wypełnione gazem szlachetnym z halogenem. Mają nieco wyższą trwałość niż ich pierwowzory oraz zużywają około 30

Kolejnym rodzajem są świetłówki kompaktowe, które są de facto świetłówkami fluoresencyjnymi przeznaczonymi do użytku w tradycyjnych lampach. Wytwarzają znacznie więcej światła niż tradycyjne żarówki, ale mają wiele wad. Długo się nagrzewają, tracą jasność w trakcie eksploatacji oraz na szybkość ich niszczenia mają wpływ częste włączanie i wyłączanie. Do ich wytwarzania używana jest rtęć, czyli metal bardzo niebezpieczny dla zdrowia.

Najnowocześniejszy typ żarówek stanowią lampy LED. Ich działanie opiera się na diodach elektroluminescencyjnych. Są najbardziej energooszczędnymi źródłami dostępnymi na rynku. Są zdecydowanie trwalsze, mają wyższą sprawność oraz nie tracą tyle ciepła, co poprzednie typy. Możemy również uzyskać dowolną barwę światła oraz nie zawierają w swej konstrukcji metali szkodliwych. Wadą tego rozwiązania są wysokie koszty produkcji oraz wrażliwość na wysoką temperaturę otoczenia.

3. Model matematyczny oświetlenia



Rysunek 3: Przykładowe ustawienie oprawy oświetleniowej i sensora.

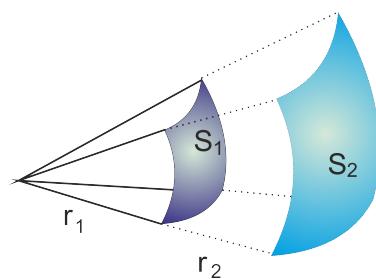
3.1. Oprawa oświetleniowa

Oprawa oświetleniowa ma następujące parametry:

- kąt emisji światła Ω
- natężenie źródła światła I
- moc świecenia Φ

3.1.1. Kąt emisji światła Ω

Jest to kąt bryłowy określający jak 'szeroko' świeci dane źródło światła.



Rysunek 4: Kąt bryłowy.

Kąt ten mierzy się jako stosunek:

$$\Omega = \frac{S_1}{r_1^2} = \frac{S_2}{r_2^2}$$

$$[sr] = \frac{[m^2]}{[m^2]}$$

Jednostką kąta emisji światła jest steradian. Na rysunku 3 zaznaczono kolorem żółtym przykładowy kąt emisji światła dla źródła światła znajdującego się w pokoju dziennym.

3.1.2. Moc świecenia Φ

Jest to parametr określający ilość energii wysyłanej przez źródło światła. Intuicyjnie można rozumieć ten parametr jako odpowiadający za intensywność świecenia źródła.

$$\Phi = I \cdot \Omega$$

$$[lm] = [cd] \cdot [sr]$$

Jednostką mocy świecenia jest lumen, 1 lumen to strumień świetlny wysyłany przez źródło światła o natężeniu $1cd$ w kąt bryłowy $1sr$.

3.1.3. Natężenie źródła światła I

To ilość energii emitowanej przez źródło światła w ciągu jednostki czasu w kąt bryłowy równy $1sr$.

$$I = \frac{\Phi}{\Omega}$$

$$[cd] = \frac{[lm]}{[sr]}$$

Jednostką natężenia źródła światła jest kandela.

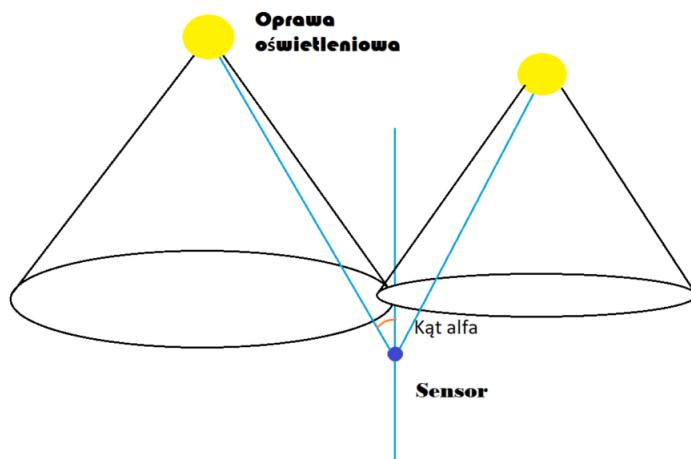
3.2. Wielozadaniowy sensor

Wielozadaniowy sensor mierzy parametry

- kąt z którego pada największe natężenie oświetlenia α
- dystans od oprawy oświetleniowej R
- natężenie oświetlenia E

3.2.1. Kąt α z którego dociera największe natężenie światła

Jest to kąt płaski pomiędzy prostą prostopadłą do powierzchni na które pada światło, a prostą łączącą czujnik i oprawę oświetleniową z której dociera największe natężenie.



Rysunek 5: Kąt α

Na rysunku 3 zaznaczono kolorem czerwonym przykładowy kąt alfa.

3.2.2. Dystans od oprawy oświetleniowej R

Jest to dystans pomiędzy sensorem a oprawą oświetleniową.

3.2.3. Natężenie oświetlenia E

To ilość energii promienistej, która dociera do oświetlanej powierzchni (czujnika).

$$E = \frac{I}{R^2} \cos \alpha$$

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

Dla prostopadłego kąta padania światła:

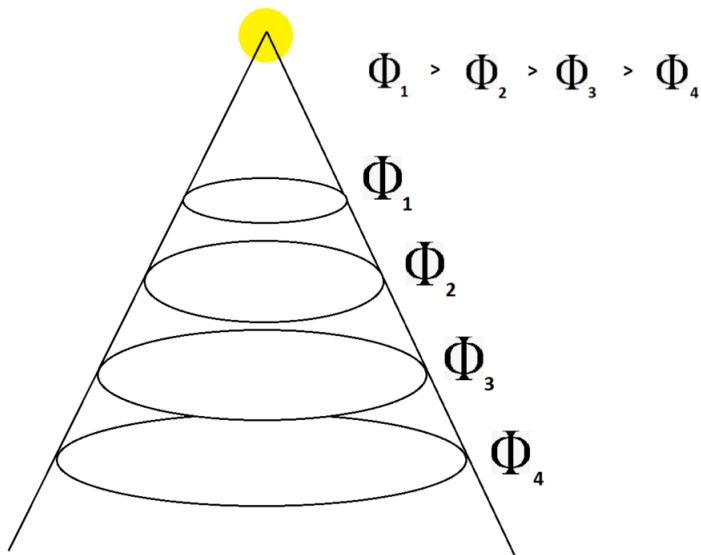
$$E = \frac{I}{R^2}$$

Jednostką natężenia oświetlenia jest luks. Luks jest natężeniem oświetlenia danej powierzchni, gdy na $1m^2$ tej powierzchni pada prostopadły strumień światła równy jednemu lumenowi.

4. Model matematyczny rozpraszania i absorpcji światła

4.1. Pochłanianie (absorpcja) światła

Absorpcją światła, czyli pochłanianiem, nazywamy straty energii strumienia światła występujące przy przechodzeniu tego strumienia przez ośrodek materialny. Straty strumienia światlnego w substancji są wynikiem przemiany energii strumienia światlnego w różne rodzaje energii wewnętrznej substancji (np. ciepło, jonizacja).



Rysunek 6: Absorpcja światła

Prawo absorpcji opisuje prawo Lambert-Berra.

$$\Phi_l = \Phi_0 \cdot e^{-kR}$$

k to współczynnik zależny od ośrodka, a R odległość jaką pokonało światło.

4.2. Rozpraszanie światła

Osłabienie strumienia światła spowodowane rozpraszaniem (ośrodki mątne) opisane jest zależnością eksponentyczną, podobnie jak absorpcja. Jednak dla ciał przeźroczystych, rozproszenie można zaniedbać.

5. Działanie systemu inteligentnego oświetlenia

5.1. Przykład - Zapewnienie odpowiedniego naświetlenia dla biura

Na Rysunku 7 przedstawiono przykład zastosowania inteligentnego systemu oświetlenia. W tym wypadku badaną powierzchnią jest biuro. Zadaniem systemu jest utrzymywanie światła dla wszystkich biurek pracowników na poziomie, który jest odpowiedni dla pracy biurowej, przy wykorzystaniu dwóch źródeł światła.

Żółte sfery symbolizują punktowe źródła światła, a różowe prostopadłościany to czujniki światła. Zmiany położenia źródeł światła mają wpływ na jakość oświetlenia dostarczanego do czujników, czyli bezpośrednio na wartości wielkości mierzonych przez czujniki.

Problem stanowi takie dobranie ustawienia źródeł światła aby każde z biurek otrzymało odpowiednią do pracy moc świecenia.



Rysunek 7: Przykład systemu oświetlenia dla powierzchni biurowej.

Żółte sfery - ramy oświetleniowe,

Różowe prostokąty - czujniki

5.2. Wymagania stawiane oświetleniom pomieszczeń

Według art. 207 § 2 Kodeksu pracy jego obowiązkiem jest ochrona zdrowia i życia pracowników poprzez zapewnienie im bezpiecznych i higienicznych warunków pracy dzięki właściwemu wykorzystaniu osiągnięć nauki i techniki. Z kolei w § 26. rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy zawarty jest wymóg, by w pomieszczeniach pracy zapewnione było oświetlenie elektryczne o parametrach zgodnych z Polskimi Normami:

- **PN-EN 12665:2008 Światło i oświetlenie** – Podstawowe terminy oraz kryteria określania wymagań dotyczących oświetlenia.

- **PN-EN 12464-1:2011 Światło i oświetlenie** – Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach

Polska Norma wprowadza określenie płaszczyzny pracy oraz zakresu otoczenia. Płaszczyzna pracy określana również jako płaszczyzna robocza to wirtualna powierzchnia, na której będzie wykonywana praca. Wysokość takiej płaszczyzny w biurach jest przyjmowana na wysokość biurka, czyli $h = 0,85$ m. Zakres otoczenia to pole bezpośredniego otoczenia.

Normy określają m.in. **wymagany minimalny poziom natężenia oświetlenia** dla stanowisk. Dane zawarte w normie *PN-EN 12464-1* przedstawione są poniżej:

- 700 lx – stanowiska biurowe, gdzie wykonywane są prace projektowe, np. związane z kreśleнием technicznym
- 500 lx – obsługiwanie klawiatury, pisanie ręczne, czytanie, przetwarzanie danych, pokoje spotkań, stanowiska komputerowe i sale konferencyjne,
- 300 lx – recepcja, segregowanie dokumentów, kopiowanie,
- 200 lx – magazyny i archiwa.

Źródło:

<https://wutech.com.pl/jakie-powinno-byc-oswietlenie-w-pracy-biurowej/>

6. Automaty komórkowe

Automat komórkowy to obiekt składający się z określonego rozmiaru dyskretnej siatki. Każda jej komórka ma określony stan, wybrany spośród zbioru możliwych stanów. Tworzony jest zbiór reguł lokalnych, które definiują zachowanie się komórek. Ewolucja zależy od poprzedniego stanu danej komórki i jej sąsiadów. Kluczowym jest tutaj fakt, że wszystkie komórki muszą mieć takie same parametry, również liczbę sąsiadów.

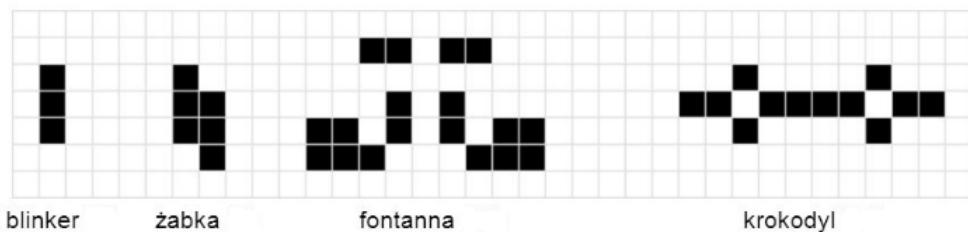
W pozycji [12] automat komórkowy określa się formalnie jako czwórkę:

$$A \equiv (\alpha, S, N, f)$$

- α - regularna, uporządkowana siatka złożona z jednakowych komórek c
- S - skończony zbiór stanów, jaki może przyjąć komórka
- N - skończony zbiór sąsiadów
- f - funkcja przejścia definiująca reguły ewolucji automatu
- Dla pełności opisu podaje się warunki brzegowe i początkowe

Twórcą automatów komórkowych jest John von Neumann. Jego celem było stworzenie maszyny, która potrafiłaby powielać swoją budowę i przekazywać dalej swoje cechy. W oparciu o maszynę Turinga stworzył pięć modeli samo-replikujących się automatów, ale ich realizacja była zbyt zaawansowana na tamte czasy, czyli lata czterdzieste i pięćdziesiąte ubiegłego wieku.

Następnie Edgar Frank Codd zainteresował się pomysłem Neumanna i zaprojektował automat, który mógł obliczyć wszystkie funkcje i się rozmnażać, a lata później posłużył do skonstruowania bardzo znanej *Gry w życie*.



Rysunek 8: Struktury oscylatorowe występujące w *Grze w życie*

6.1. Sąsiedztwo

Zachowanie komórek w automatach komórkowych zależy od stanu sąsiadów w poprzedniej iteracji. Występują następujące rodzaje sąsiedztwa.

Sąsiedztwo von Neumanna Mamy z nim do czynienia, gdy występują cztere sąsiedzi każdej komórki, określani analogicznie do kierunków świata - N, S, E, W.

Sąsiedztwo Moore'a Występuje gdy uwzględniamy również pośrednie kierunki świata, czyli NW, NE, SE, SW. Komórki mają wtedy ośmio sąsiadów.

Sąsiedztwo Margolusa

W tych automatach reguły opierają się na podziale całej przestrzeni na zbiory czterech kwadratowych bloków, których stany zmieniają się jednocześnie w zakresie 1, 0. W kolejnym kroku następuje zmiana komórek tworzących bloki, zostają przesunięte o jeden w prawo i w dół.

6.2. Warunki brzegowe

Są one istotne w miejscach, gdzie komórka fizycznie nie posiada tyle sąsiadów ile powinna, czyli wzdłuż linii brzegowej szachownicy lub na jej rogach. Wyróżniamy:

Periodyczne

Definiują one zamkniętą siatkę w taki sposób, że symulując poruszającą się cząstkę po dojściu do krawędzi pojawi się ona z drugiej strony. Komórka na brzegu siatki ma więc za sąsiada komórkę znajdującą się równolegle po drugiej stronie pola.

Zamknięte pochłaniające

Brzegi siatki wypełnione są z góry ustaloną wartością, która poprzez funkcję przejścia ustala wpływ na zachowanie automatu. Przesuwający się po siatce element po wyjściu z naszego rozważanego pola przestaje dla symulacji istnieć.

Zamknięte odbijające

Warunki brzegowe na krawędzi siatki tworzą barierę, od której symulowane cząstki się odbijają.

Automaty są stosowane obecnie w symulacjach komputerowych oraz wielu problemach nauki i techniki. Do przykładów automatów komórkowych należą gra w życie, mrówka Langtona, turmy i wireworld.

7. Implementacja modelu w technologii CA

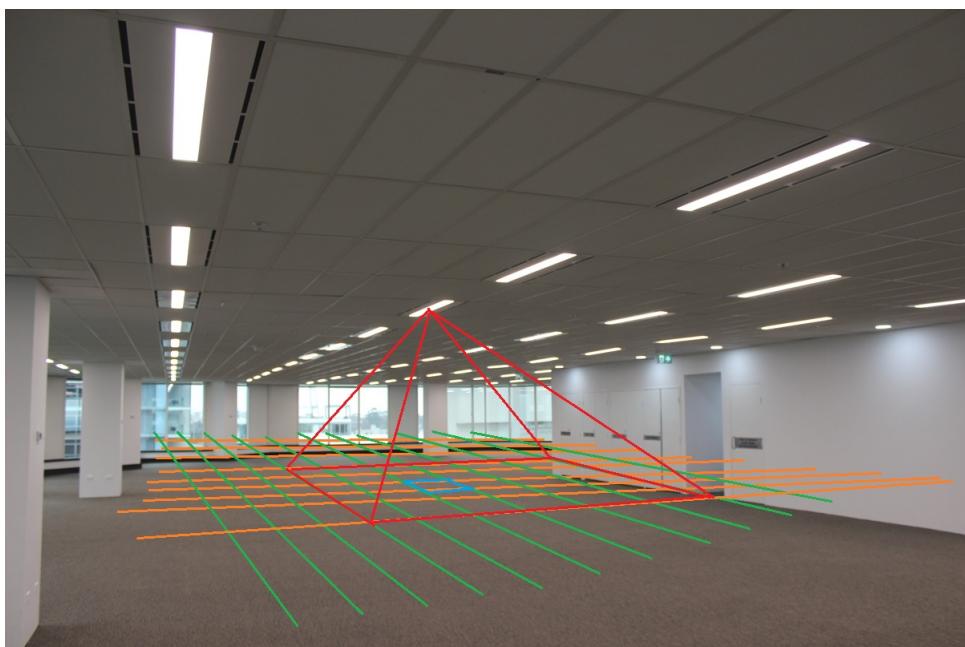
7.1. Siatka komórek α

W projekcie rozważane jest oświetlenie w którym wszystkie źródła światła znajdują się na jednym poziomie, który można sparametryzować. Przykład takiego oświetlenia pokazano na Rysunku 9. Sensory również znajdują się na jednej ustalonej wysokości, zapewnienie właściwego oświetlenia na tej wysokości będzie implikować poprawne oświetlenie dla punktów położonych wyżej.



Rysunek 9: Rozważane w projekcie oświetlenie znajduje się na jednym poziomie.

W celu uproszczenia rozważyć, w projekcie zakłada się, że kąt emisji światła ma kształt ostrosłupa o podstawie czworokątnej. Siatkę stanowić będą kwadraty o parametryzowalnej długości krawędzi, które znajdują się będą na poziomie sensorów. Schematycznie przedstawiono to na Rysunku 10.



Rysunek 10: Schematyczne przedstawienie siatki rozważanej w projekcie.
Komórkę oznaczono kolorem niebieskim.
Kąt emisji kolorem czerwonym.

7.2. Zbiór stanów komórek S

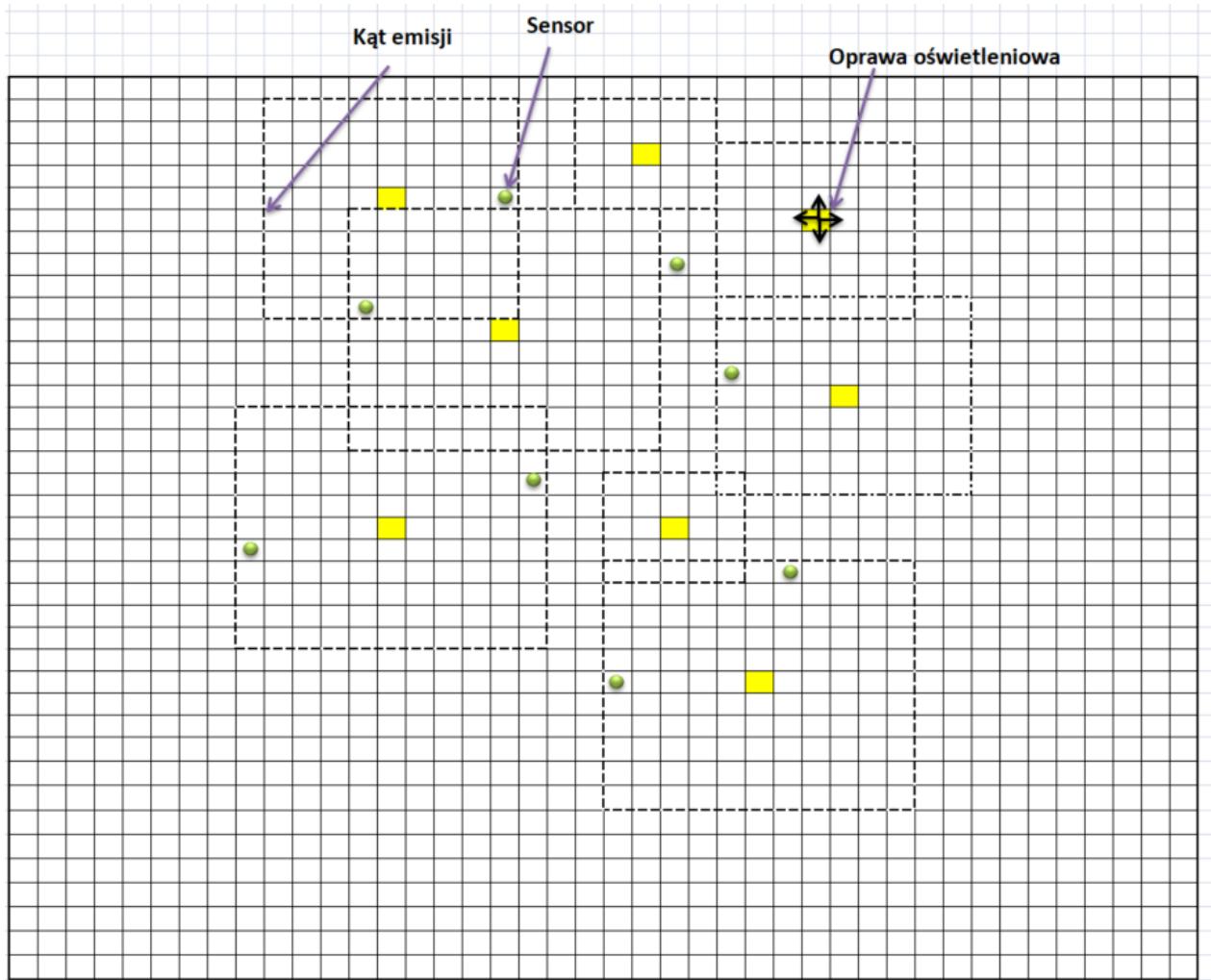
W modelu przyjmujemy założenie, że komórka może przyjmować dwa stany.

1. Aktywna - zawiera świecącą oprawę oświetleniową
2. Nieaktywna - nie zawiera świecącej oprawy oświetleniowej

Schematycznie pokazano to na Rysunku 11. Kolorem żółtym zaznaczone są komórki 'aktywne' (posiadające świecącą oprawę oświetleniową). Kolorem zielonym na tym samym rysunku zaznaczono sensory, nie stanowią one jednak stanu komórek. Zakłada się, że sensory znajdują się w określonych z góry miejscach. W realnych sytuacjach mamy bowiem do czynienia częściej z dopasowaniem oświetlenia do konkretnych warunków w pomieszczeniu (np. dopasowanie oświetlenia do biurek pracowników) raczej niż z dopasowaniem pomieszczenia do oświetlenia.

7.3. Skończony zbiór sąsiadów N

W modelu przyjęto założenie, że każda aktywna komórka ma 4 sąsiadów (sąsiedztwo Moore'a). Schematycznie przedstawiono to na Rysunku 11, gdzie aktywna komórka oznacona fioletową strzałką wskazuje czterech możliwych sąsiadów.



Rysunek 11: Siatka automatu komórkowego dla modelu oświetlenia.

7.4. Funkcja przejścia f

W automacie komórkowym symulującym oświetlenie trudno określić naturalne zachowanie światła. W realnych sytuacjach nie mamy możliwości umieszczenia w pomieszczeniu źródeł światła jak w przykładowej siatce w celu gaszenia i zaświecenia ich naprzemiennie. Proces taki nie jest więc rzeczą naturalną, którą można opisać na podstawie obserwacji zachodzących procesów.

Taki charakter modelu pozwala na zastosowanie pewnej losowości, która pozwoli zbadać dużą liczbę przypadków z których będzie możliwa wybranie najkorzystniejszy. Pamiętać także należy, że w modelu dąży się do osiągnięcia wymaganego natężenia oświetlenia dla każdego z sensorów.

W związku z powyższym w projekcie opracowano algorytm, który zawiera elementy prawdopodobieństwa, a jednocześnie ma na celu zapewnienie odpowiedniego natężenia światła dla każdego z sensorów. Algorytm ten stanowi funkcję przejścia.

7.4.1. Funkcja celu

Algorytm ten bazuje na funkcji celu, która uwzględnia liczbę luxów, która konieczna jest do osiągnięcia żądanego natężenia dla sensora.

$$f = \sum_{i=1}^n \begin{cases} E_{\text{required}} - E_i, & E_i < E_{\text{required}} \\ 0, & E_i \geq E_{\text{required}} \end{cases} \rightarrow \min.$$

E_i - natężenie mierzone przez i-ty sensor

E_{required} - minimalne natężenie wymagane dla każdego sensora

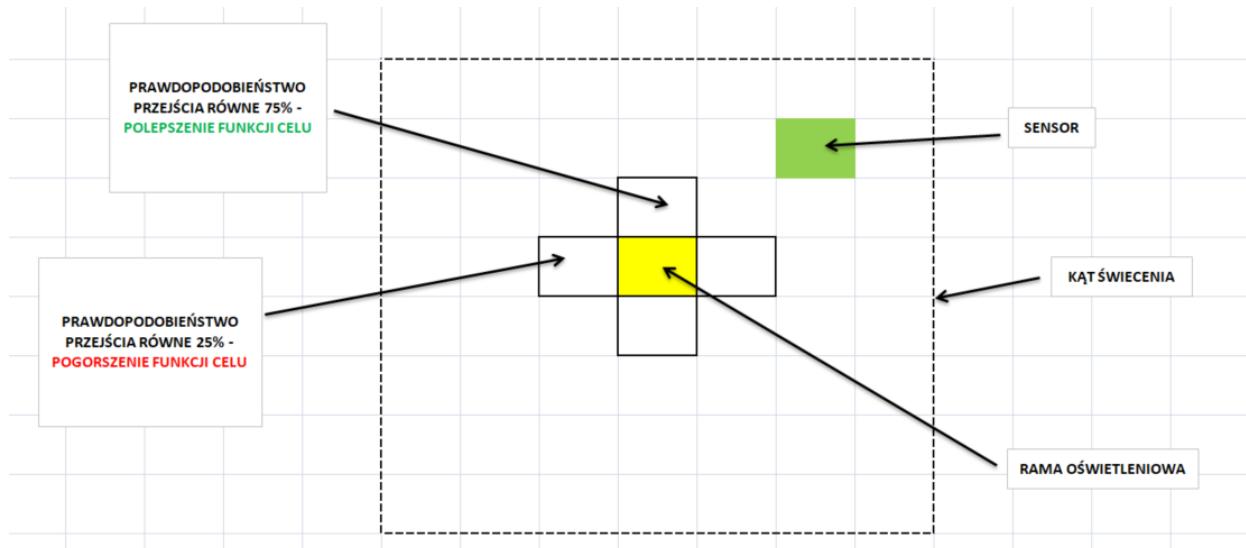
Wartości tej funkcji celu stanowią sumaryczną wartość natążeń brakujących do osiągnięcia wartości minimalnej dla wszystkich sensorów. Jeżeli dany sensor mierzy natężenie większe od wymaganego, to jego przyczynek do funkcji jest równy 0.

7.4.2. Idea działania algorytmu

Algorytm w pierwszej kolejności losuje dowolną aktywną komórkę automatu, a następnie oblicza aktualną wartość funkcji celu. W kolejnych krokach badana jest wartość funkcji celu, która nastąpi przy wykorzystaniu danego przejścia (północ, południe, wschód, zachód). Losowane jest jedno z przejść i obliczana jest wartość którą miałaby funkcja celu w wypadku wykonania tego przejścia. Na podstawie tej wartości, przypisywane jest prawdopodobieństwo przejścia:

- 25% - jeśli przejście spowoduje pogorszenie wartości funkcji celu (czyli jej większą wartość)
- 50% - jeśli przejście nie spowoduje zmiany wartości funkcji celu
- 75% - jeśli przejście spowoduje poprawę wartości funkcji celu (czyli jej mniejszą wartość)

Jeśli przejście się wykona, to losowane jest kolejne światło i procedura się powtarza, jeśli nie, losowany jest inny kierunek. Działanie algorytmu przedstawiono schematycznie na Rysunku 12.



Rysunek 12: Schematyczne przedstawienie działania algorytmu przejścia.

7.5. Warunki brzegowe i początkowe

W modelu ze względu na aspekty praktyczne przyjęto dla siatki warunki brzegowe odbijające. Warunki początkowe wybierane są dowolnie, światła powinny być usytuowane w pewnej odległości od siebie tak jak ma to miejsce w praktyce.

8. Symulacja modelu oświetlenia

8.1. Przypadki testowe

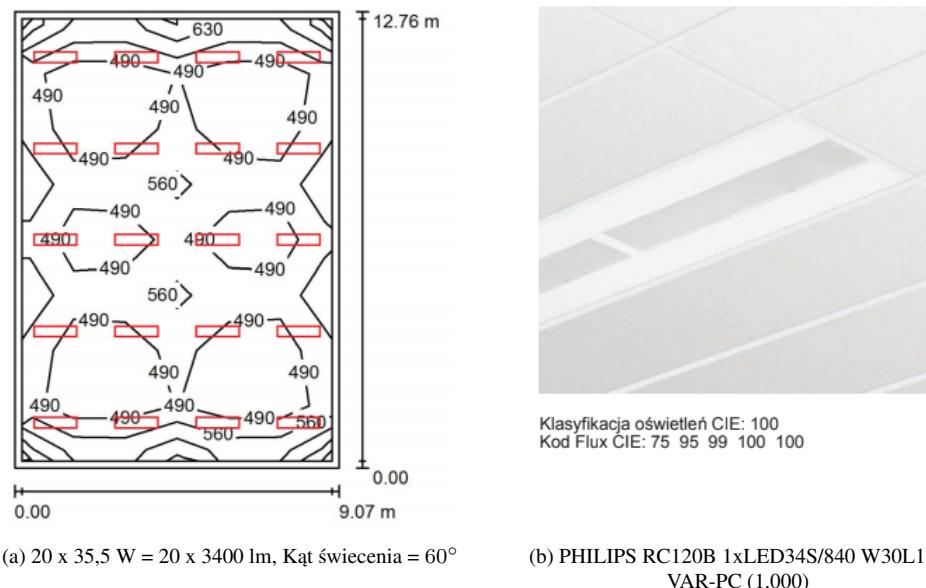
Do celów porównawczych wykorzystaliśmy dane udostępnione w Przykładowym projekcie oświetlenia [9] wykonanym przez firmę GRODNO S.A. Wyniki uzyskane w tym projekcie przytaczamy poniżej. Wszystkie oprawy oświetleniowe są zamontowane na wysokości 2,5 m, a powierzchnia pracy znajduje się na wysokości 0,85 m.

W każdym z poniższych przypadków testowych przyjęto w symulacji, że dystans pomiędzy sensorem a oprawą oświetleniową to $2,5m - 0,85m = 1,65m$.

Jako minimalny wymagany poziom natężenia światła przyjęto 500 luksów. W tabelach wynikowych, wiersze oznaczone czerwonym kolorem oznaczają sensory pokazujące niedostateczną wartość natężenia światła.

8.1.1. Przypadek testowy 1

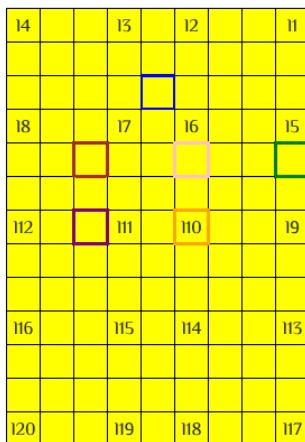
1. W pierwszym wariantie wykorzystano 20 opraw oświetleniowych z wmontowanymi żarówkami typu LED. Każda oprawa ma moc 35,5 W.



Rysunek 13: Przypadek testowy 1

Powierzchnia	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]
Płaszczyzna pracy	502	322	636
Podłoga	440	211	520
Sufit	84	57	93
Ściany	155	67	236

8.1.2. Wynik testu 1



Rysunek 14: Rozmieszczenie sensorów i świateł.

Id	X	Y	Color	Intensity [lx]	Angle [deg]	Distance [m]
1	4	2	brown	329.45	40.6	2.17
2	6	2	purple	417.96	31.22	1.93
3	6	5	orange	571.48	0	1.65
4	4	5	pink	417.96	31.22	1.93
5	4	8	green	417.96	31.22	1.93
6	2	4	blue	658.91	40.6	2.17

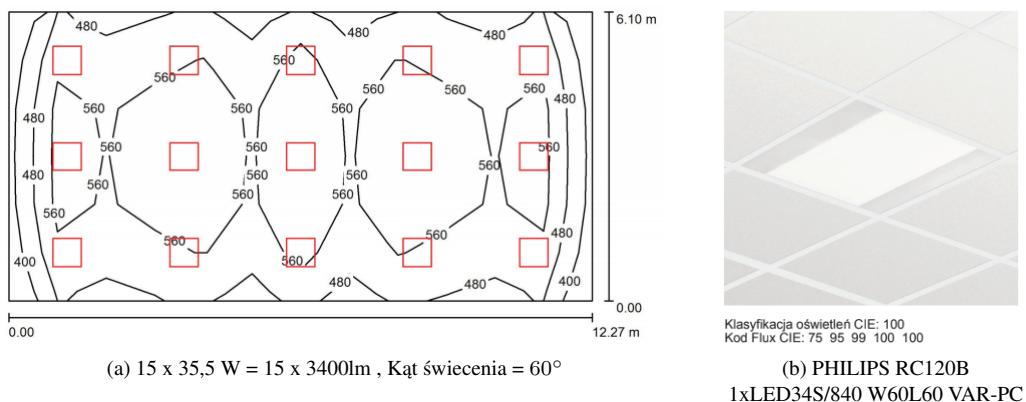
Rysunek 15: Dane z sensorów.

8.1.3. Wnioski z testu 1

- Zastosowane ramy oświetleniowe pozwalają na pokrycie całej powierzchni zakresem kątów świecenia świateł.
- Dane w większości przypadków zbliżone są do danych z projektu referencyjnego.
- Największe natężenie uzyskano dla sensora niebieskiego, w tym miejscu nakładają się kąty świecenia dwóch ram oświetleniowych, co powoduje znaczny wzrost natężenia.
- Nie we wszystkich przypadkach udało uzyskać się wymagane 500 lx, szczególnie narażone na brak odpowiedniego natężenia są miejsca w których sensor poddawany jest działaniu tylko jednego światła

8.1.4. Przypadek testowy 2

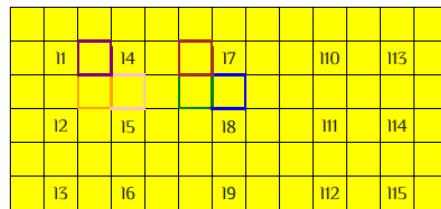
2. W drugim wariantie wykorzystano 15 opraw również o mocy 35,5 W.



Rysunek 16: Przypadek testowy 2

Powierzchnia	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]
Płaszczyzna pracy	542	357	750
Podłoga	482	255	607
Sufit	93	65	112
Ściany	180	72	315

8.1.5. Wynik testu 2



Rysunek 17: Rozmieszczenie sensorów i światel.

Id	X	Y	Color	Intensity [lx]	Angle [deg]	Distance [m]
1	1	5	brown	417.96	31.22	1.93
2	1	2	purple	835.92	31.22	1.93
3	2	2	orange	1317.82	40.6	2.17
4	2	3	pink	835.92	31.22	1.93
5	2	5	green	658.51	40.6	2.17
6	2	6	blue	835.92	31.22	1.93

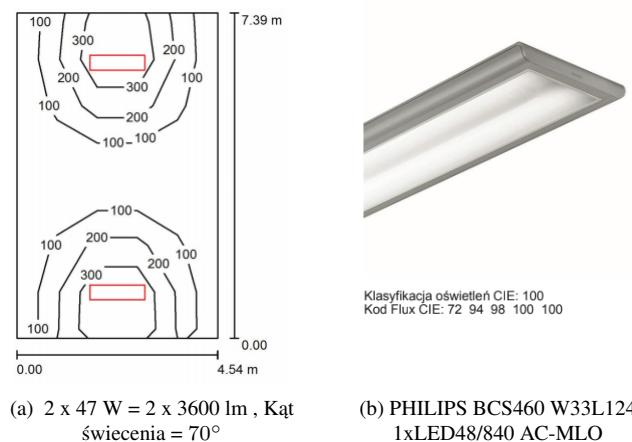
Rysunek 18: Dane z sensorów.

8.1.6. Wnioski z testu 2

- W tym teście dane znacznie odbiegają od tych uzyskanych w projekcie referencyjnym, większość sensorów pokazuje natężenie o wiele większe, powodem takiego zachowania jest trudność w dokładnym zamodelowaniu geometrii pomieszczenia w którym lampy znajdują się 'na przecięciu kratek' modelu.
- Wyniki pokazują, że szczególnie ważne miejsca w biurze (jak np. biurka, stoły) powinny znajdować się pod działaniem kilku opraw oświetleniowych, ponieważ zastosowaniu jednej w większości przypadków okaże się niewystarczające.

8.1.7. Przypadek testowy 3

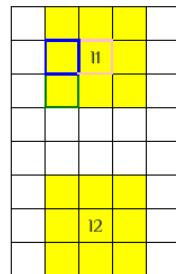
3. W trzecim wariantie wykorzystano 2 oprawy oświetleniowe o mocy 47 W każda.



Rysunek 19: Przypadek testowy 3

Powierzchnia	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]
Płaszczyzna pracy	165	23	498
Podłoga	138	37	281
Sufit	25	19	36
Ściany	52	21	209

8.1.8. Wynik testu 3



Rysunek 20: Rozmieszczenie sensorów i światel.

Id	X	Y	Color	Intensity [lx]	Angle [deg]	Distance [m]
1	1	1	blue	442.54	31.22	1.93
2	2	1	green	348.83	40.6	2.17
3	1	2	pink	605.1	0	1.65

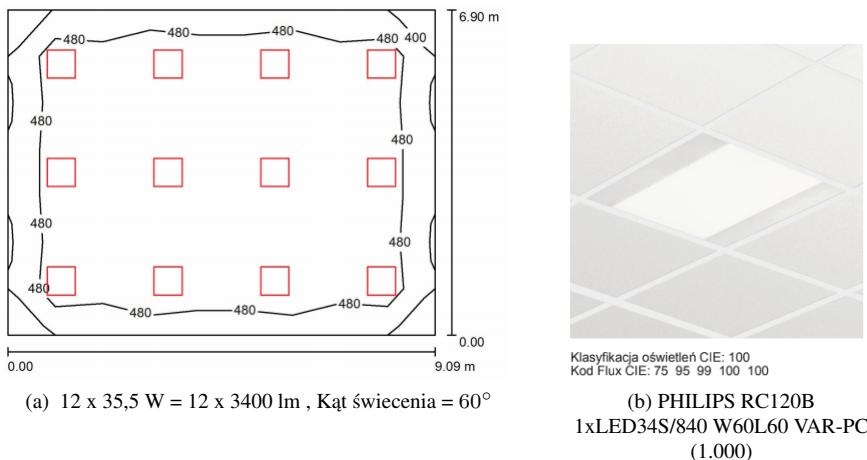
Rysunek 21: Dane z sensorów.

8.1.9. Wnioski z testu 3

- W tym teście udało się uzyskać dane zbliżone do projektu referencyjnego, jak widać zastosowanie jednej lampy powoduje spadek natężenie równy około 100 lux na zmianę w kierunku poziomym o 1 metr
- Takie rozmieszczenie lamp sprawdziło by się w pomieszczeniu na szlaku komunikacyjnym, ale tylko w wypadku dodatkowego naturalnego źródła światła (np. okno).
- Jedynym położeniem gdzie udało uzyskać się wystarczające natężenie jest pozycja pod lampą, która nie jest korzystna dla pracy biurowej ze względu na położenia (np. rzucanie cienia na biurko przed osobą siedzącą).

8.1.10. Przypadek testowy 4

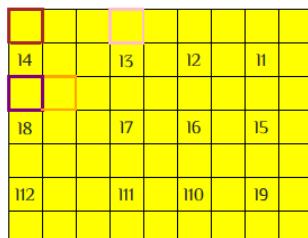
4. W czwartym wariantie wykorzystano 12 opraw 35,5 W każda.



Rysunek 22: Przypadek testowy 4

Powierzchnia	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]
Płaszczyzna pracy	518	370	748
Podłoga	458	232	569
Sufit	87	59	97
Ściany	167	70	264

8.1.11. Wynik testu 4



Rysunek 23: Rozmieszczenie sensorów i świateł.

Id	X	Y	Color	Intensity [lx]	Angle [deg]	Distance [m]
1	0	0	brown	417.96	31.22	1.93
2	2	0	purple	835.92	31.22	1.93
3	2	1	orange	658.91	40.6	2.17
4	0	3	pink	417.96	31.22	1.93

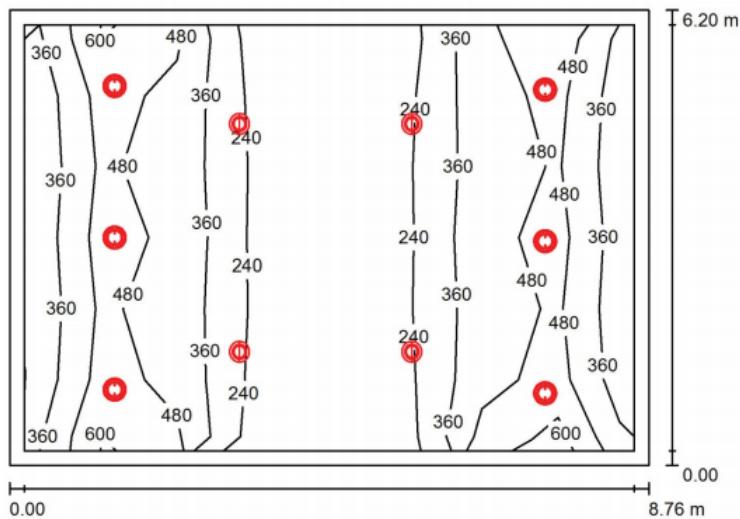
Rysunek 24: Dane z sensorów.

8.1.12. Wnioski z testu 4

- W tym przypadku niektóre z sensorów pokazują dane bardo zbliżone do danych z projektu referencyjnego. Wyznaczone przez model maksimum jest nieznacznie większe od danych z projektu.
- Pomieszczenie takie jest odpowiednio przystosowane do pracy (większość sensorów osiąga minimalną wymaganą wartość natężenia), jednak miejsca pracy musiały zostać dostosowane do oświetlenia w taki sposób aby ustalone były w najbardziej korzystnych położeniach.
- Rozbieżności w modelu i projekcie referencyjnym wynikać mogą z trudności dokładnego za-modelowania geometrii przedstawionej w omawianym przypadku (kwadratowa komórka).

8.1.13. Przypadek testowy 5

5. W piątym wariantie wykorzystano 4 oprawy o mocy 35 W i 6 opraw o mocy 46 W.



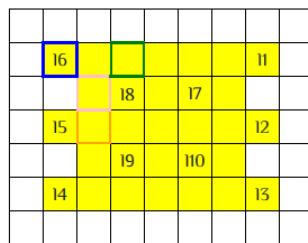
Rysunek 25: Piąty wariant - $4 \times 35 \text{ W} = 4 \times 1860 \text{ lm}$ (BCS490), Kąt świecenia = 60° i
 $6 \times 46 \text{ W} = 6 \times 2700 \text{ lm}$ (BPK561), Kąt świecenia = 30°



Rysunek 26: Przypadek testowy 5

Powierzchnia	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]
Płaszczyzna pracy	366	172	730
Podłoga	346	56	1069
Sufit	50	38	58
Ściany	62	36	244

8.1.14. Wynik testu 5



Rysunek 27: Rozmieszczenie sensorów i światel.

Id	X	Y	Color	Intensity [lx]	Angle [deg]	Distance [m]
1	1	1	blue	2100.92	0	1.65
2	1	3	green	228.65	31.22	1.93
3	2	2	pink	228.65	31.22	1.93
4	3	2	orange	560.46	40.6	2.17

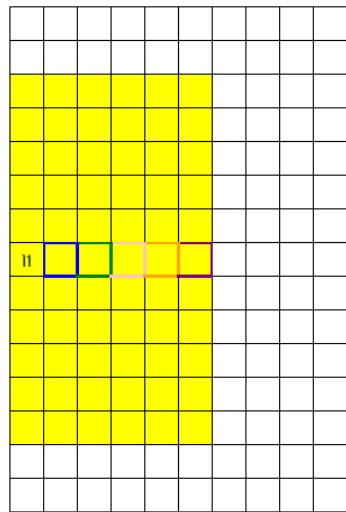
Rysunek 28: Dane z sensorów.

8.1.15. Wnioski z testu 5

- W tym przypadku uzyskano bardzo zbliżone dane do wartości dla sensorów zbliżonych do 4 źródeł światła o dużym kącie świecenia. Wartości te znajdują się w przedziale 200-400 lx
- Dane zbliżone do źródeł i mniejszym kącie świecenia, ale o dużej mocy są mniej dokładne. Głównym problemem jest implementacja w modelu zjawiska odbicia światła, które w przypadku źródeł o małym kącie świecenia, a dużej mocy odgrywa ważną rolę.

8.1.16. Przypadek testowy 6 (absorpcja)

6. W tym wariantie zbadane zostały różne charakterystyki absorpcji światła oraz ich wpływ na wartości mierzone przez czujniki.



(a) Oprawa oświetleniowa o mocy równej 2700 lm.

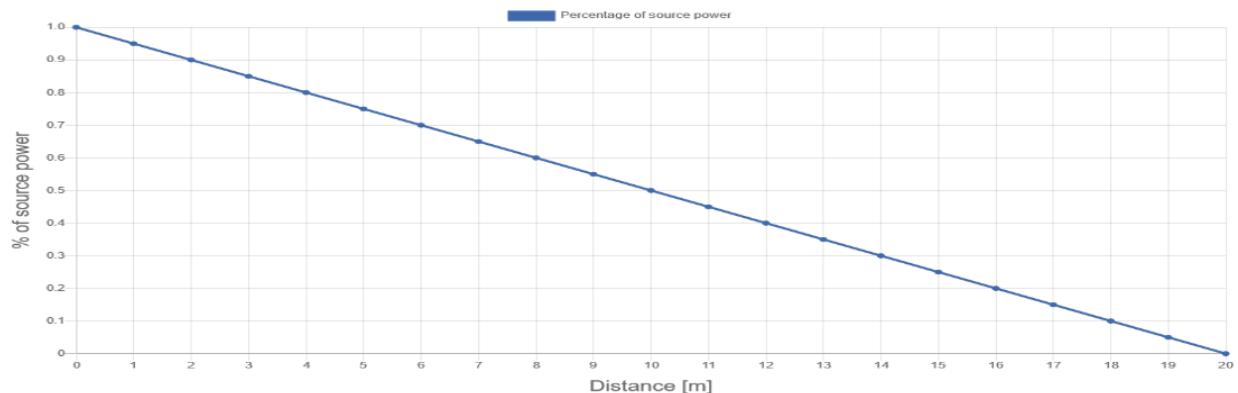
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	100	100	100	100	100	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(b) Światło dzienne równe 100 lx,
absorpcja dotyczy każdego z czujników.

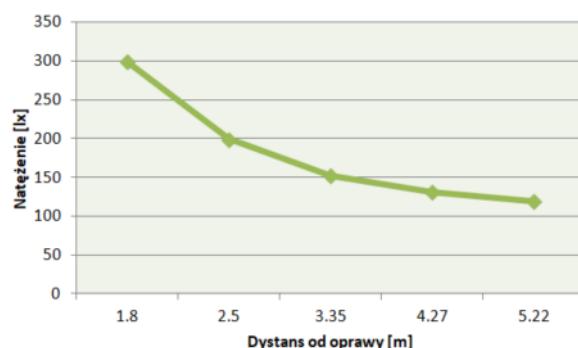
Rysunek 29: Przypadek testowy 6

8.1.17. Wynik testu 6, charakterystyka liniowa, k = 0,05

Charakterystyka liniowa $\Phi(end) = (1 - kR)\Phi(start)$



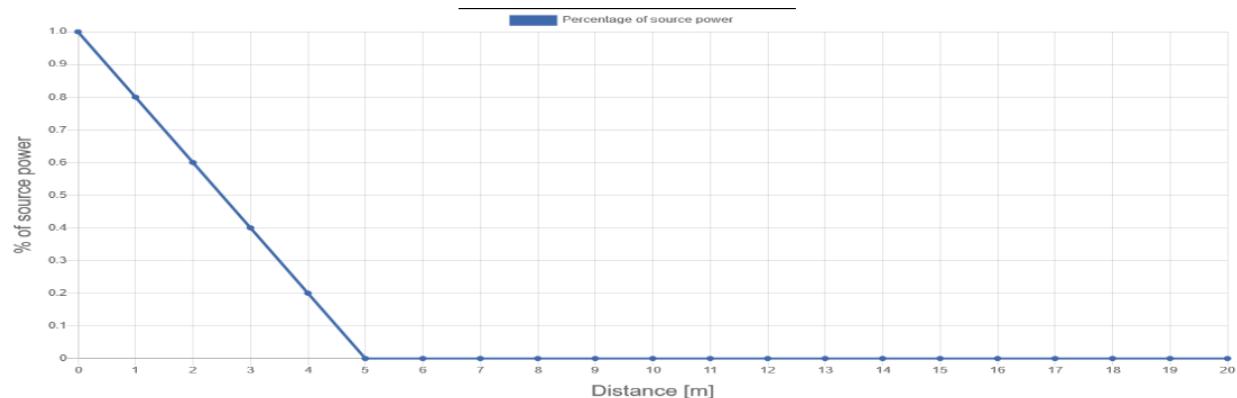
Rysunek 30: Charakterystyka pochłaniania światła.



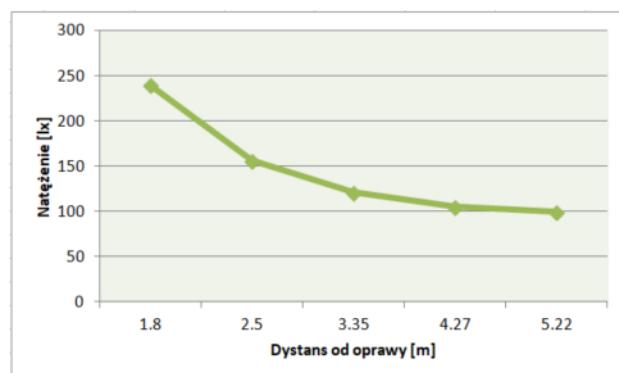
Rysunek 31: Dane z sensorów.

8.1.18. Wynik testu 6, charakterystyka liniowa, $k = 0,2$

Charakterystyka liniowa $\Phi(end) = (1 - kR)\Phi(start)$



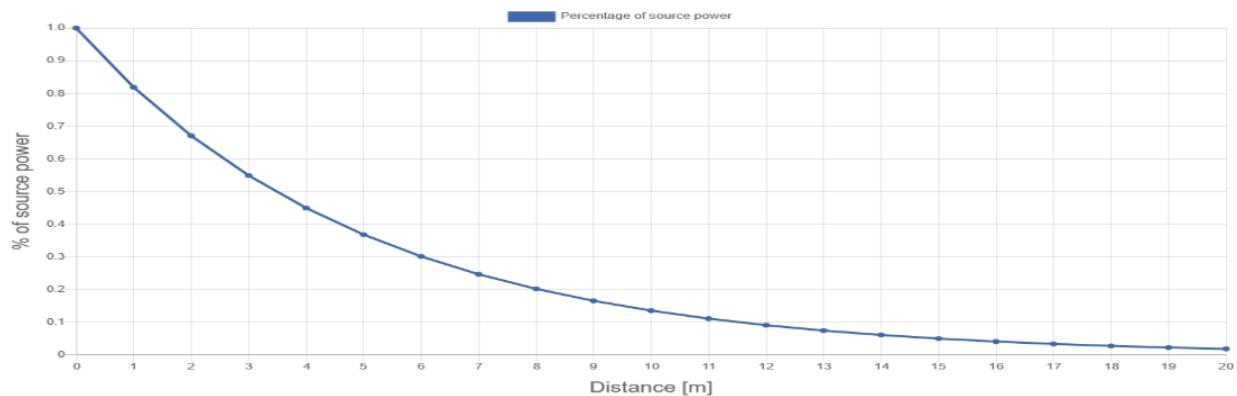
Rysunek 32: Charakterystyka pochłaniania światła.



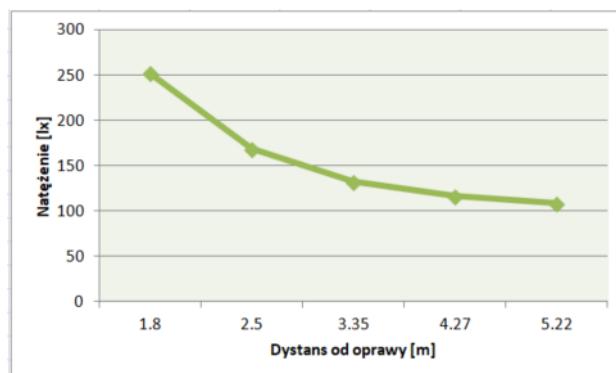
Rysunek 33: Dane z sensorów.

8.1.19. Wynik testu 6, charakterystyka eksponencjalna, k = 0,2

Charakterystyka liniowa $\Phi(end) = e^{-kR}\Phi(start)$



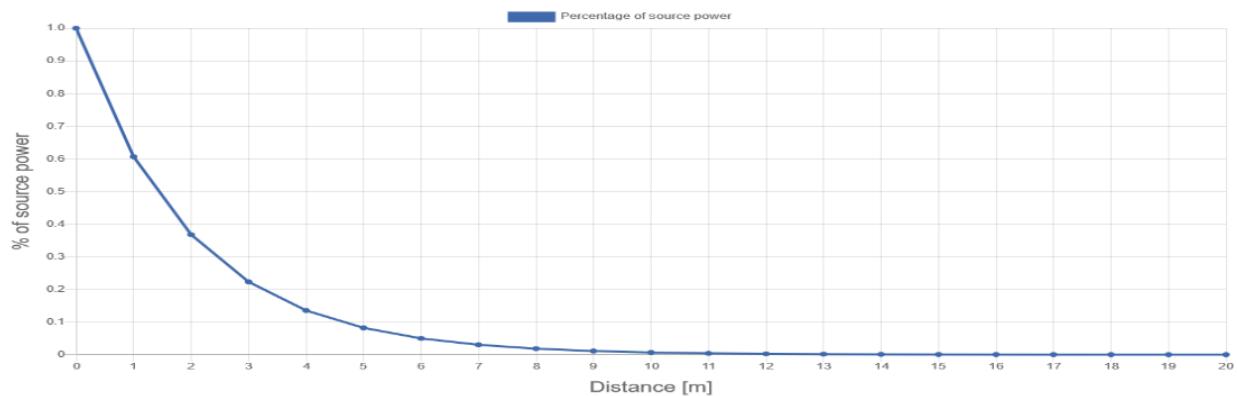
Rysunek 34: Charakterystyka pochłaniania światła.



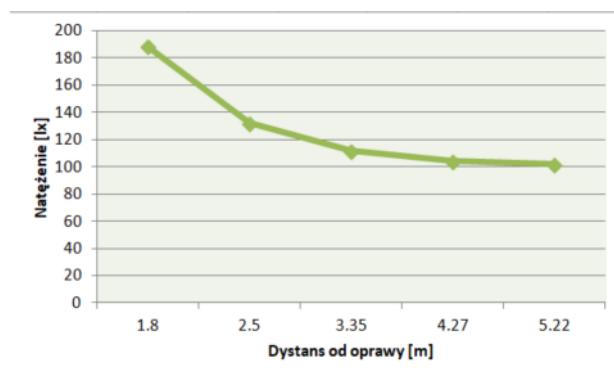
Rysunek 35: Dane z sensorów.

8.1.20. Wynik testu 6, charakterystyka eksponencjalna, k = 0,2

Charakterystyka liniowa $\Phi(end) = e^{-kR}\Phi(start)$



Rysunek 36: Charakterystyka pochłaniania światła.



Rysunek 37: Dane z sensorów.

8.1.21. Wnioski z testu 6

- Eksperyment ten pokazał, że poza samymi parametrami opraw oświetleniowych duże znaczenie mają również badane środowisko w którym rozchodzi się światło oraz naturalne światło dzienne. Uwzględnienie w symulacji tych dwóch czynników daje bardzo odmienne wyniki od symulacji uwzględniającej tylko parametry lamp i odległość.

9. Wnioski końcowe

W projekcie tym podjęto próbę rozwiązania problemu symulacji oświetlenia w celu zapewnienia właściwej wartości natężenia światła. Projekt pokazał złożoność problemu uwzględniając różne parametry oraz rozmieszczenie opraw oświetleniowych, a także różne charakterystyki pochłaniania światła.

Częścią projektu było stworzenie symulacji, która umożliwia z pewną dokładnością dobieranie opraw oświetleniowych dla przestrzeni, które wymagają zapewnienia odpowiedniego natężenia światła. Uzyskane w symulacji dane zostały porównane z danymi rzeczywistymi, porównanie to wskazuje na przyzwoitą dokładność działania stworzonej symulacji.

10. Dodatek A - Implementacja aplikacji

10.1. Technologie

Model został zaimplementowany jako aplikacja webowa z wykorzystaniem technologii HTML, CSS, JavaScript oraz bibliotek Bootstrap 4, Chart.js. Podejście takie umożliwia łatwe użytkowanie aplikacji oraz duże możliwości względem wizualizacji.

10.2. Wymagania sprzętowe

- Działanie aplikacji wymaga dostępu do internetu, aplikacja uruchamiana jest lokalnie, jednak przy jej uruchamianiu automatycznie pobierane są biblioteki (m.in. Bootstrap oraz Chart.js)
- Aplikacja najlepiej współpracuje z przeglądarką Mozilla Firefox

10.3. User Guide

10.3.1. Struktura plików

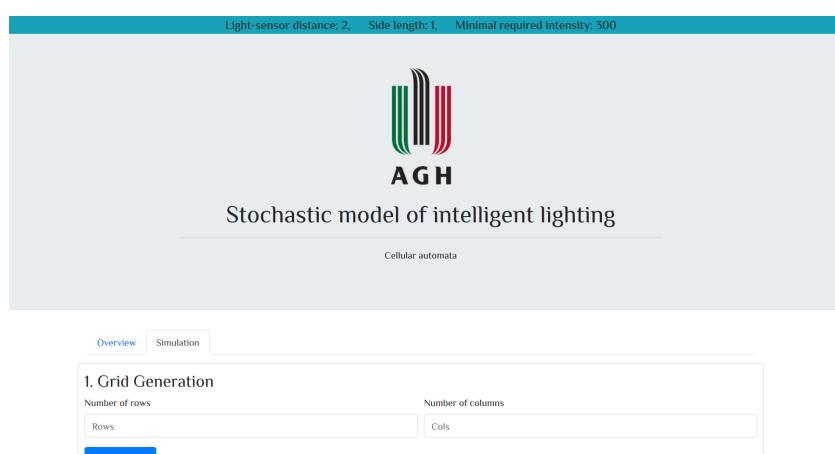
Aplikacja znajduje się w folderze IntelligentLighting, folder ten zawiera pliki html, css, javascript oraz obrazy użyte w aplikacji (logo agh).

10.3.2. Uruchomienie aplikacji

Aplikację uruchamia się poprzez dwukrotne kliknięcie w plik simulation.html. Plik ten znajduje się w lokalizacji: *IntelligentLighting -> html -> simulation.html*. Dwukrotne kliknięcie w plik powinno uruchomić przeglądarkę z aplikacją. Jeśli dwukrotne kliknięcie nie spowoduje otwarcia okna przeglądarki, należy kliknąć prawym klawiszem myszy na plik i otworzyć go przy pomocy przeglądarki.

10.3.3. Użycie aplikacji

Prawidłowe uruchomienie aplikacji powinno skutkować takim widokiem w przeglądarce:



Rysunek 38: Ekran startowy aplikacji

10.3.4. Przykład

Użytkowanie aplikacji zostanie omówione na przykładzie.

1. Grid generation

W pierwszej kolejności generowana jest siatka dla automatu komórkowego, specyfikujemy liczbę wierszy oraz kolumn jako liczbę całkowitą i naciskamy przycisk Generate Grid. Po naciśnięciu przycisku siatka jest widoczna pod formularzem numer 4 (Add light).

1. Grid Generation

Number of rows: 10

Number of columns: 8

Generate grid

Rysunek 39: Generacja siatki CA

2. Ustawienie ogólnych parametrów

Następnie ustawiamy parametry dla modelu:

- Light-Sensor distance - dystans pomiędzy wysokością lampy a wysokością blatu biurka w linii prostej - Liczba rzeczywista, przecinek należy zapisać jako kropka
- Cell side length - długość boku komórki automatu, liczba całkowita, jednostką jest domyślnie metr
- Min. required intensity - minimalna wymagana liczba luxów, którą powinien odbierać sensor, liczba całkowita

Po wpisaniu parametrów należy nacisnąć przycisk Set, zapisuje on ustalone wartości, są one widoczne na niebieskim pasku przyklejonym pod adresem strony.

Light-sensor distance: 1.65 Side length: 1 Minimal required intensity: 500

2. General params

Light-Sensor distance [m]: 1.65

Cell side lenght [m]: 1

Min. required intensity [lx]: 500

Set

Rysunek 40: Poprawne uzupełnienie ogólnych parametrów modelu

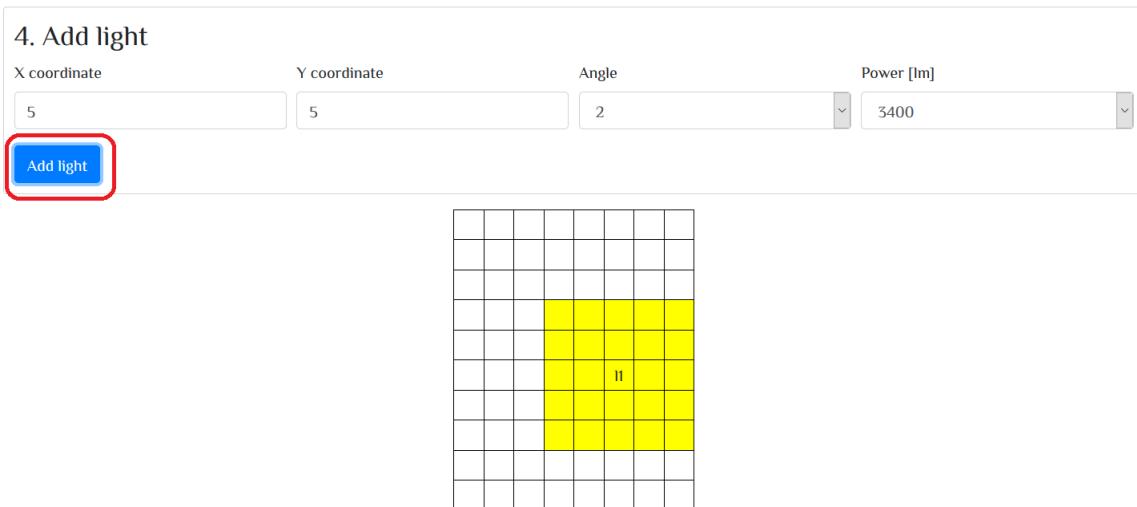
3. Add light

Następnie możemy przejść do ustawiania na siatce sensorów lub światła. Często lepiej najpierw ustawić światła dlatego najpierw zostanie omówiony formularz numer 4 (Add light).

W formularzu wpisujemy współrzędne X i Y jako liczby całkowite oznaczające położenie światła na siatce. Współrzędne są liczne na siatce od lewego górnego rogu, pierwsza kratka ma współrzędną X = 0 oraz Y = 0. Angle wybiera się z listy, parametr ten odpowiada kątowi świecenia, wybiera się ile kratek wokół źródła ma pokrywać światło. Ostatni parametr to moc świecenia światła wybierana

z listy.

Po wybraniu parametrów naciska się przycisk Add light, który dodaje światło na siatkę, a także w tabeli List of lights (niżej na stronie).



Rysunek 41: Dodanie światła na siatkę automatu

Strzałki w tabeli ze światłami pozwalają zmieniać położenie światła na siatce automatu komórkowego.

4. List of lights

Id	X	Y	Angle	Power [lm]	Up	Down	Left	Right
1	5	5	2	3400				

Rysunek 42: Lista dodanych świateł w tabeli

4. Add sensor

Następnie na siatce umieszczamy sensory. Sensorów nie można jednak przemieszczać za pomocą strzałek tak jak światło dlatego ich położenie należy dobrze przemyśleć - nie można ich ruszyć na siatce po dodaniu.

Podobnie jak dla świateł wybieramy najpierw współrzędne, a następnie kolor z listy. Kolor powinien być inny dla każdego sensora. Sensory zostały zaimplementowane jako kolorowe ramki na komórkach ze względu na to aby możliwe było zamodelowanie obecności sensora i lampy w tych samych współrzędnych.

Po wypełnieniu formularza naciskamy przycisk Add sensor.

3. Add sensor

X coordinate 3	Y coordinate 5	Color blue
Add sensor		

4. Add light

X coordinate 5	Y coordinate 5	Angle 2	Power [lm] 3400
Add light			

Rysunek 43: Dodawanie sensora na siatkę.

Dodany sensor widoczny jest w tabelce z sensorami. Jest to najważniejsza tabela w programie, ponieważ w niej wyświetlane jest natężenie jakie dociera do sensora w luxach, odległość od źródła światła o największym przyczynku do tego natężenie w metrach oraz kąt pomiędzy tą lampą a sensorem w stopniach.

Add light						
Start Cellular Automata !	Stop Cellular Automata !					
3. List of sensors						
Id	X	Y	Color	Intensity [lx]	Angle [deg]	Distance [m]
1	3	5	blue	405.55	0	1.65

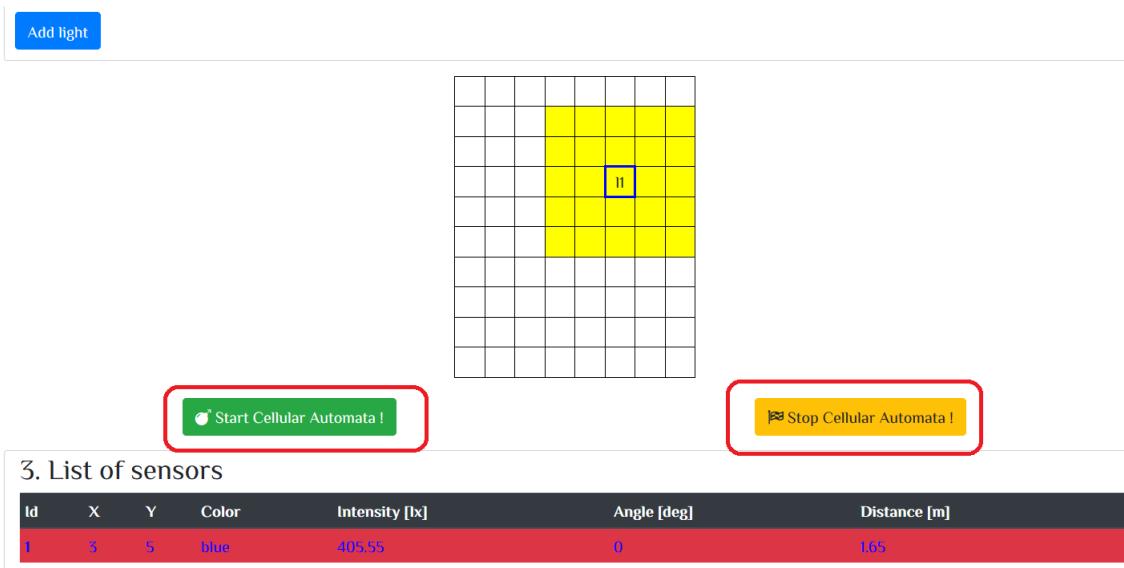
Rysunek 44: Tabela z sensorami po dodaniu niebieskiego sensora.

Analogicznie dodaje się na siatkę kolejne sensory i światła. Dodanie nowych światel, zmiana ich

położenia strzałkami lub zmiana ogólnych parametrów modelu powoduje automatyczną aktualizację tabelki z sensorami oraz wartości obliczanych w modelu, co pozwala na statyczną symulację.

5. Symulacja automatu komórkowego

Aby uruchomić symulację automatu komórkowego według opisanego wcześniej algorytmu, po dodaniu kilku sensorów i świeciel należy nacisnąć przycisk Start cellular automata, aby zatrzymać należy nacisnąć Stop cellular automata.

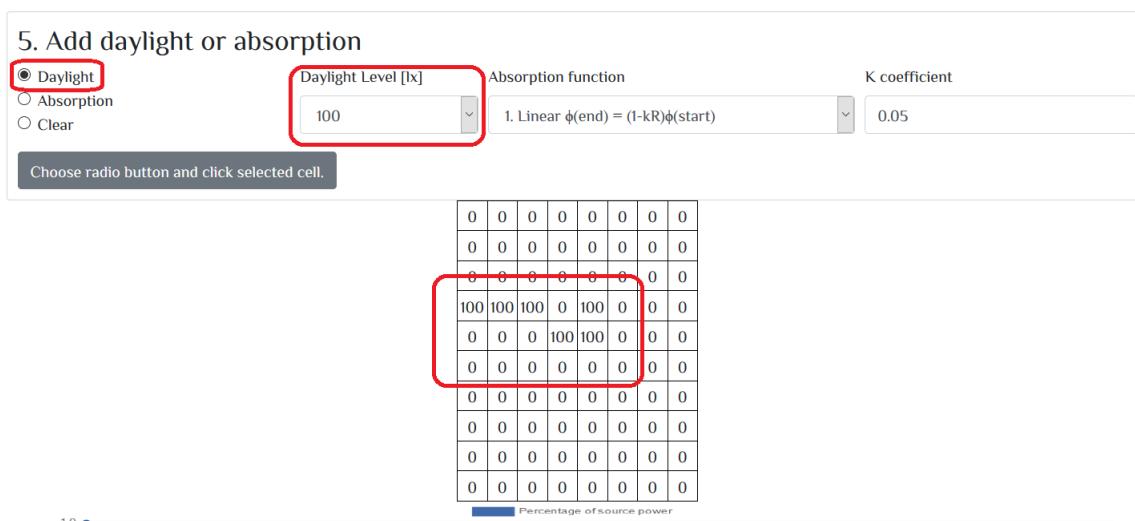


Rysunek 45: Uruchomienie lub zatrzymanie automatu komórkowego.

6. Dodawanie światła dziennego

W programie możliwe jest dodanie określonego natężenia światła dla komórki pochodzącego od światła dziennego. Robimy to w formularzu numer 5 oraz siatce pod nim. Siatka pod tą tabelką odpowiada tej wygenerowanej u góry strony. Aby dodać określoną liczbę luxów od światła dziennego dla danej komórki należy wybrać radio button Daylight, następnie z listy Daylight Level wybrać liczbę luxów, a następnie kliknąć wybraną komórkę w siatce.

Kliknięcie komórki spowoduje wpisanie dla tej komórki wybranej wartości luxów oraz automatyczną aktualizację listy i wartości sensorów u góry strony.



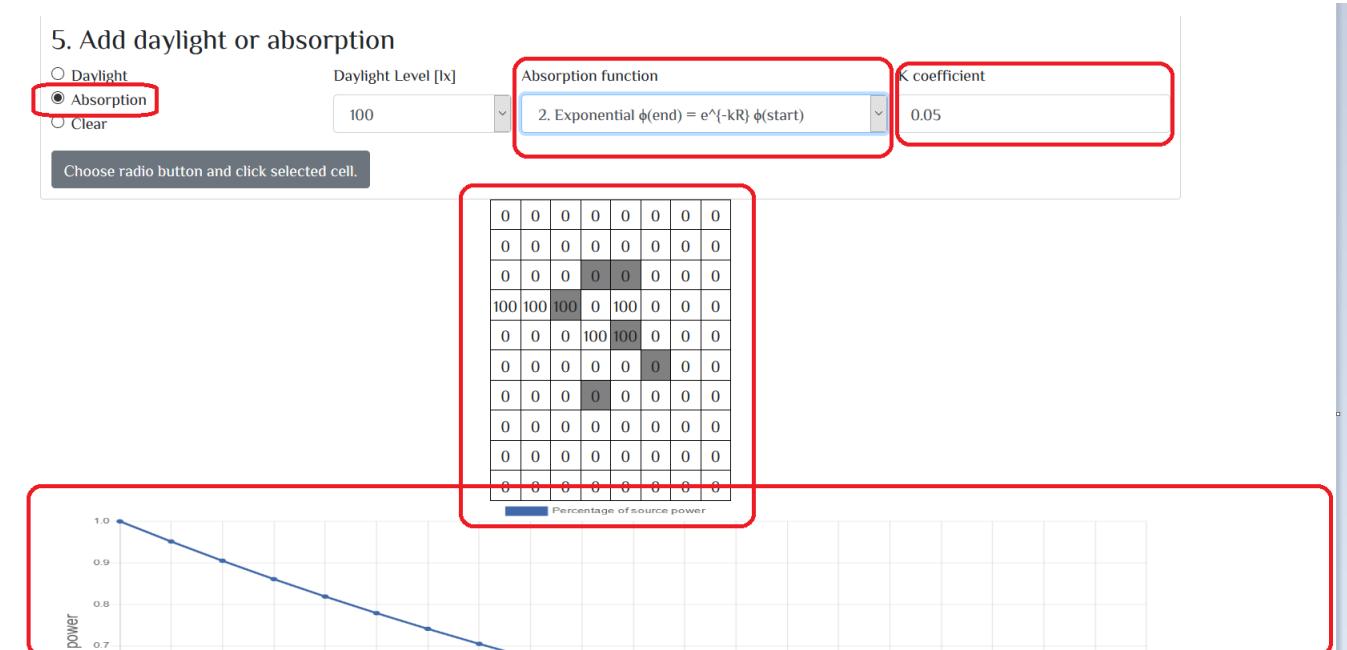
Rysunek 46: Dodanie światła dziennego.

7. Uwzględnienie absorpcji

Jeśli chcemy aby dany czujnik uwzględniał absorpcję wówczas wybieramy radio button Absorption i zaznaczyć kliknięciem w tabelce poniżej formularza pięć, które kratki mają uwzględniać absorpcje. Jeśli czujnik znajduje się w zaznaczonej kratce, będzie uwzględniał absorpcję. Kratka uwzględniająca absorpcję będzie zaznaczona kolorem szarym.

Do wyboru są różne charakterystyki pochłaniania światła, które wybieramy w kolejnych polach formularza. Charakterystyka wyświetlana jest na wykresie na dole strony (czasami po zmianie parametru k należy zmienić również dwukrotnie charakterystykę aby wykres się zaktualizował - bug programu).

Kliknięcie kratki i dodanie absorpcji automatycznie aktualizuje listę sensorów w modelu oraz ich wartości.



Rysunek 47: Uwzględnienie w modelu absorpcji.

Zaznaczenie radio button Clear i kliknięcie w kratkę powoduje usunięcie z niej absorpcji oraz wartości światła dziennego.

10.4. Szczegóły implementacyjne

W podrozdziale tym prezentowane są niektóre szczegółowe rozwiązania techniczne znajdujące się w kodzie programu.

- Siatka automatu - reprezentowana jest jako zwykła tabelka HTML, za pomocą CSS i JavaScript zmieniane są kolory poszczególnych komórek. Każdej komórce przyporządkowane jest unikalne ID, dzięki czemu możliwy jest dostęp do każdej z nich. W kodzie generację siatki obsługuje funkcja generateGrid, fragment tej funkcji przedstawiono poniżej:

```
function generateGrid(){  
  
    var i = 0;  
    var j = 0;  
  
    // console.log("Hello World!");  
  
    nCols = parseInt(document.getElementById('nCols').value);  
    nRows = parseInt(document.getElementById('nRows').value);  
  
    // console.log(nCols);  
    // console.log(nRows);  
  
    var table = document.getElementById('grid-table');  
    while (table.hasChildNodes()) {  
        table.removeChild(table.firstChild);  
    }  
  
    for(i = 0; i < nRows; i++){  
        var row = table.insertRow(i);  
        for(j = 0; j < nCols; j++){  
            var cell = row.insertCell(j);  
            cell.style.width = cellWidth;  
            cell.style.height = cellHeight;  
            cell.style.textAlign = "center";  
            cell.style.border = "1px solid black";  
            cell.innerHTML = " ";  
  
            cell.id = generateCellId(i,j); // cell id set to: cell_idx_idY, where x and y are cols and rows  
            // console.log(cell.id);  
        }  
    }  
}
```

C/C++ Extensions Downloading

- Światła i sensory - w programie reprezentowane są jako obiekty JavaScript, które przechowywane są w globalnej liście sensorów oraz światel. Na rzecz obiektów wołane są metody. Cały kod klas dostępny jest w pliku sensor.js oraz light.js. Fragmenty kodu przedstawiono poniżej.

```
var Sensor = function(id, x, y, color, intensity, angle, distance){  
    this.id = id;  
    this.x = x;  
    this.y = y;  
    this.color = color;  
    this.intensity = intensity;  
    this.angle = angle;  
    this.distance = distance;  
}  
  
// -----  
// checks if the sensor is in the area of any light  
Sensor.prototype.checkIfLighted =  
    function() {  
        cellID = generateCellId(this.x, this.y);  
        var cell = document.getElementById(cellID);  
        if(cell.style.backgroundColor === "yellow"){  
            return true;  
        }  
        return false;  
}  
  
// -----  
// checks if the sensor is in the area of specific light  
Sensor.prototype.checkIfLightedSpecific =  
    function(lx, ly, angle) {  
  
        var lowerRowBound = lx - angle;  
        var upperRowBound = lx + angle;  
        var lowerColumnBound = ly - angle;  
        var upperColumnBound = ly + angle;  
  
        // console.log("This.x is " + this.x + " and this.y is " + this.y);  
        // console.log("LowerRow bound is " + lowerRowBound + " and upper row bound is " + upperRowBound);  
        // console.log("LowerColumn bound is " + lowerColumnBound + " and upper column bound is " + upperColumnBound);  
    }  
}
```

```
var Light = function(id, x, y, angle, power){  
    this.id = id;  
    this.x = x;  
    this.y = y;  
    this.angle = angle;  
    this.power = power;  
}  
  
// -----  
// colours light surrounding area  
Light.prototype.colourLightArea =  
    function() {  
        var lowerRowBound = this.x-this.angle;  
        var upperRowBound = this.x+this.angle;  
        var lowerColumnBound = this.y-this.angle;  
        var upperColumnBound = this.y+this.angle;  
  
        for(i = lowerRowBound ; i <= upperRowBound ; i++)  
            for(j = lowerColumnBound ; j <= upperColumnBound ; j++){  
                if(i>=0 && j>=0 && i <= nRows-1 && j <= nCols-1 ){  
                    var cellId = generateCellId(i,j);  
                    // console.log("Now coloring " + cellId);  
                    document.getElementById(cellId).style.backgroundColor = "yellow";  
                }  
            }  
  
        //  
        // write light name in a cell  
        var cellId = generateCellId(this.x, this.y);  
        var cell = document.getElementById(cellId);  
        cell.innerHTML = "l"+this.id;  
  
    };  
// -----  
// moves light in a chosen direction
```

- Funkcje wykonujące obliczenia fizyczne - znajdują się w pliku physicsCalculations.js. Są to funkcje, które najczęściej działają na przekazanych do nich współrzędnych sensorów i światel oraz na globalnych parametrach takich jak odległość światła od sensora itd. Funkcje te często korzystają z prostych zależności geometrycznych występujących w trójkątach (funkcje trygonometryczne itp.). Przykład funkcji obliczającej kąt pomiędzy sensorem a lampą znajduje się poniżej.

```
function calculateCosAlphaBetweenLightAndSensor(sx, sy, lx, ly){  
    var distanceBetweenLightAndSensor = calculateDistanceBetweenLightAndSensor(sx, sy, lx, ly);  
    if(sx == lx && sy == ly){  
        return 1;  
    }  
    var cosAlpha = distanceBetweenLightAndSensor / distanceBetweenLightAndSensor;  
    return cosAlpha;  
}
```

- Implementacja algorytmu - znajduje się w pliku cellularAlgorithms.js, algorytm jest bardzo długi dla tego nie zawarto jego implementacji w tym dokumencie, można go jednak otworzyć we wskazanym pliku.

Literatura

- [1] Wolska A. Kosiński R. Pawlak A. Cechy inteligentnych systemów sterowania oświetleniem. *Bezpieczeństwo pracy*, 2004.
- [2] Fischer M. Kui Wu Pan Agathoklis. Intelligent illumination model-based lighting control. *IEEE Xplore*, 2012.
- [3] J. Granderson Y. Wen A. Agogino. Intelligent office lighting demand responsive conditioning and increased user satisfaction. *Leukos*, 2006.
- [4] CSGroup. Rodzaje opraw oświetleniowych, Wrzesień 2018.
- [5] Alekha Kumar Mishra Faraz Ahmad Prawigya Pariyar Abhishek Ghosh Pushan Srivastava Sumanth G Ashutosh Dubey. Cellular automata based optimal illumination in led based lighting systems. *IEEE Xplore*, 2018.
- [6] Elmik. Rodzaje żarówek, Sierpień 2014.
- [7] Mirosław Dechnik Karina Grzywocz. Efektywność energetyczna sterowania oświetleniem wnętrz. *Napędy i sterowanie*, 2017.
- [8] Wojnicki I. Sędziwy A. Kotulski L. Towards ai-based distributed lighting control systems. *Automatyka*, 16(2), 2012.
- [9] Firma GRONDO S.A. Przykładowy projekt oświetlenia. 2013.
- [10] Damien Regnault1 Nicolas Schabanel1 and Eric Thierry1. On the analysis of “simple” 2d stochastic cellular automata. *SpringerLink*, 2008.
- [11] Stefania Bandini1 Andrea Bonomi1 Giuseppe Vizzari1 and Vito Acconci2. A cellular automata-based modular lighting system. *SpringerLink*, 2010.
- [12] wolna encyklopedia Wikipedia. Automat komórkowy, 2018.
- [13] Turlej Z. Elements of the daily and artificial lighting in an interior. 2011.