



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA

SYMULACJA DYSKRETNA SYSTEMÓW ZŁOŻONYCH  
PROJEKT ZALICZENIOWY

## **Stochastyczny model inteligentnego oświetlenia**

*Małgorzata Barnach*  
*Dominik Wróbel*

Prowadzący  
mgr inż. Robert LUBAŚ

Kraków, 30 marca 2019

## Spis treści

<b>1</b>	<b>Słownik pojęć i symboli</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Wstęp</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Model matematyczny oświetlenia</b>	<b>4</b>
3.1	Oprawa oświetleniowa . . . . .	4
3.1.1	Kąt emisji światła $\Omega$ . . . . .	4
3.1.2	Moc świecenia $\Phi$ . . . . .	5
3.1.3	Natężenie źródła światła $I$ . . . . .	5
3.2	Wielozadaniowy sensor . . . . .	6
3.2.1	Kąt $\alpha$ z którego dociera największe natężenie światła . . . . .	6
3.2.2	Dystans od oprawy oświetleniowej $R$ . . . . .	6
3.2.3	Natężenie oświetlenia $E$ . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Model matematyczny rozpraszania i absorpcji światła</b>	<b>7</b>
4.1	Pochłanianie (absorpcja) światła . . . . .	7
4.2	Rozpraszanie światła . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Działanie systemu inteligentnego oświetlenia</b>	<b>8</b>
5.1	Przykład - Zapewnienie odpowiedniego naświetlenia dla biura . . . . .	8
5.2	Wymagania stawiane oświetleniom pomieszczeń . . . . .	8
<b>6</b>	<b>Automaty komórkowe</b>	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>Implementacja modelu w technologii CA</b>	<b>11</b>
7.1	Siatka komórek $\alpha$ . . . . .	11
<b>8</b>	<b>Symulacja modelu oświetlenia</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>Literatura</b>	<b>15</b>

## 1. Słownik pojęć i symboli

### **Oprawa oświetleniowa (źródło światła)**

Odnosi się do punkowego 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 $\Omega$**

Kąt bryłowy określający zakres rozchodzenia się światła z oprawy oświetleniowej.

### **Moc świecenia $\Phi$**

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 $\alpha$ 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 Lamberta-Beera.

### **Rozpraszanie światła**

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

## 2. Wstęp

Oświetlenie jest w dzisiejszym świecie bardzo ważnym czynnikiem wykorzystywanym w wielu dziedzinach życia. Wymagane jest aby lampy uliczne zapewniały widoczność potrzebną dla bezpiecznego poruszania się o każdej porze dnia. Każda duża organizacja stara się stworzyć jak najbardziej przyjazne miejsce pracy w celu zwiększenia efektywności pracowników.

Zmieniające się warunki otoczenia (takie jak np. zmiany pogody lub różne ośrodki rozchodzenia się światła) sprawiają, że brak jakiegokolwiek sterowania powoduje nieakceptowalną jakość światła. Wymusza to na projektantach implementację algorytmów sterowania oświetleniem, które z jednej strony mają zapewnić jak najlepszą jakość światła, a z drugiej możliwie niskie koszty utrzymania systemu.

Projektowanie takiego systemu nie jest zadaniem łatwym, ponieważ uwzględnionych musi zostać wiele czynników otoczenia mających wpływ na oświetlenie.

W tym 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.

### 3. Model matematyczny oświetlenia



Rysunek 1: Przykładowe ustawienie oprawy oświetleniowej i sensora.

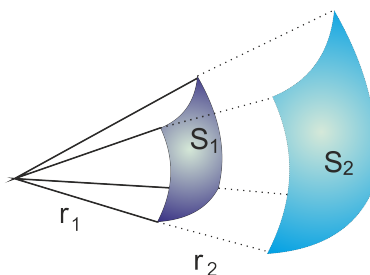
#### 3.1. Oprawa oświetleniowa

Oprawa oświetleniowa ma następujące parametry:

- kąt emisji światła  $\Omega$
- natężenie źródła światła  $I$
- moc świecenia  $\Phi$

##### 3.1.1. Kąt emisji światła $\Omega$

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



Rysunek 2: 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 1 zaznaczono kolorem żółtym przykładowy kąt emisji światła dla źródła światła znajdującego się w pokoju dziennym.

### 3.1.2. Moc świecenia $\Phi$

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.

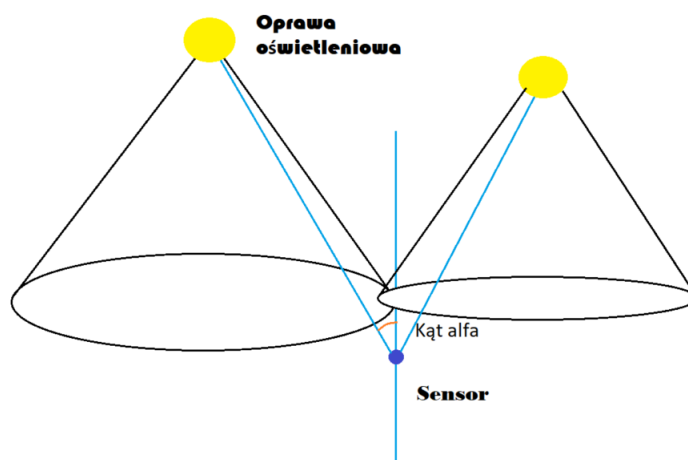
### 3.2. Wielozadaniowy sensor

Wielozadaniowy sensor mierzy parametry

- kąt z którego pada największe natężenie oświetlenia  $\alpha$
- dystans od oprawy oświetleniowej  $R$
- natężenie oświetlenia  $E$

#### 3.2.1. Kąt $\alpha$ 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 3: Kąt  $\alpha$

Na rysunku 1 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:

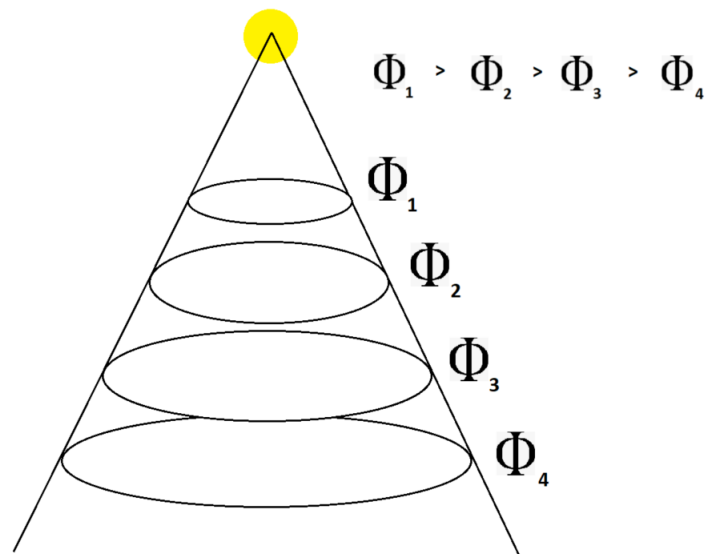
$$E = \frac{I}{R^2}$$

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 świetlnego w substancji są wynikiem przemiany energii strumienia świetlnego w różne rodzaje energii wewnętrznej substancji (np. ciepło, jonizacja).



Rysunek 4: Absorpcja światła

Prawo absorpcji opisuje prawo Lamberta-Beera.

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

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

### 4.2. Rozpraszanie światła

Oslabienie strumienia światła spowodowane rozpraszaniem (ośrodki mętne) opisane jest zależnością eksponencjalną, podobnie jak absorpcja. Jednak dla ciał przezroczystych, rozproszenie można zaniedbać.



## 5. Działanie systemu inteligentnego oświetlenia

### 5.1. Przykład - Zapewnienie odpowiedniego naświetlenia dla biura

Na Rysunku 5 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 prostokąty 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 5: Przykład systemu oświetlenia dla powierzchni biurowej.

Żółte sfery - ramy oświetleniowe,

Różowe prostokąty - czujniki

### 5.2. Wymagania stawiane oświetleniom pomieszczeń

Zapewnienie odpowiedniego oświetlenia w miejscu pracy jest obowiązkiem pracodawcy. Formalnymi dokumentami regulującymi właściwe oświetlenie są normy wydawane przez instytucje publiczne.

Aktualnie, jedną z najważniejszych norm jest norma Europejska *PN-EN 12464-1:2012*, która reguluje wymagania względem oświetlenia dla miejsc pracy znajdujących się we wnętrzach.

Norma ta określa m.in. **wymagany minimalny poziom natężenia oświetlenia** dla stanowisk. Dane zawarte w tej normie przedstawione są poniżej:

- 700 lx – stanowiska biurowe, gdzie wykonywane są prace projektowe, np. związane z kreśleniem technicznym
- 500 lx – obsługiwane 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://wuteh.com.pl/jakie-powinno-byc-oswietlenie-w-pracy-biurowej/>

W projekcie tym rozważane będą przestrzenie biurowe w których minimalny poziom natężenia oświetlenia musi być równy 500 lx.

## **6. Automaty komórkowe**

Tu zostaną opisane a.k. i wszystkie z tym związane zagadnienia

## 7. Implementacja modelu w technologii CA

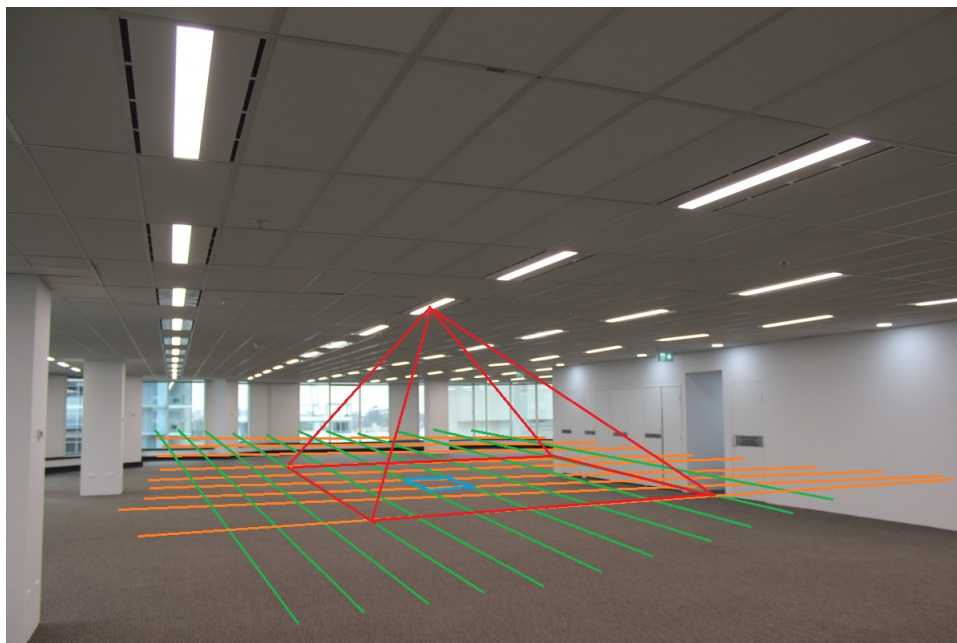
### 7.1. Siatka komórek $\alpha$

W projekcie rozważane jest oświetlenie w którym wszystkie źródła światła znajdują się na jednym poziomie, który można sparametryzować. Przykład takiego oświetlenia pokazano na Rysunku 6. Sensory również znajdują się na jednej ustalonej wysokości, zapewnienie właściwego oświetlenia na tej wysokości będzie implikować poprawne oświetlenie dla punktów położonych wyżej.

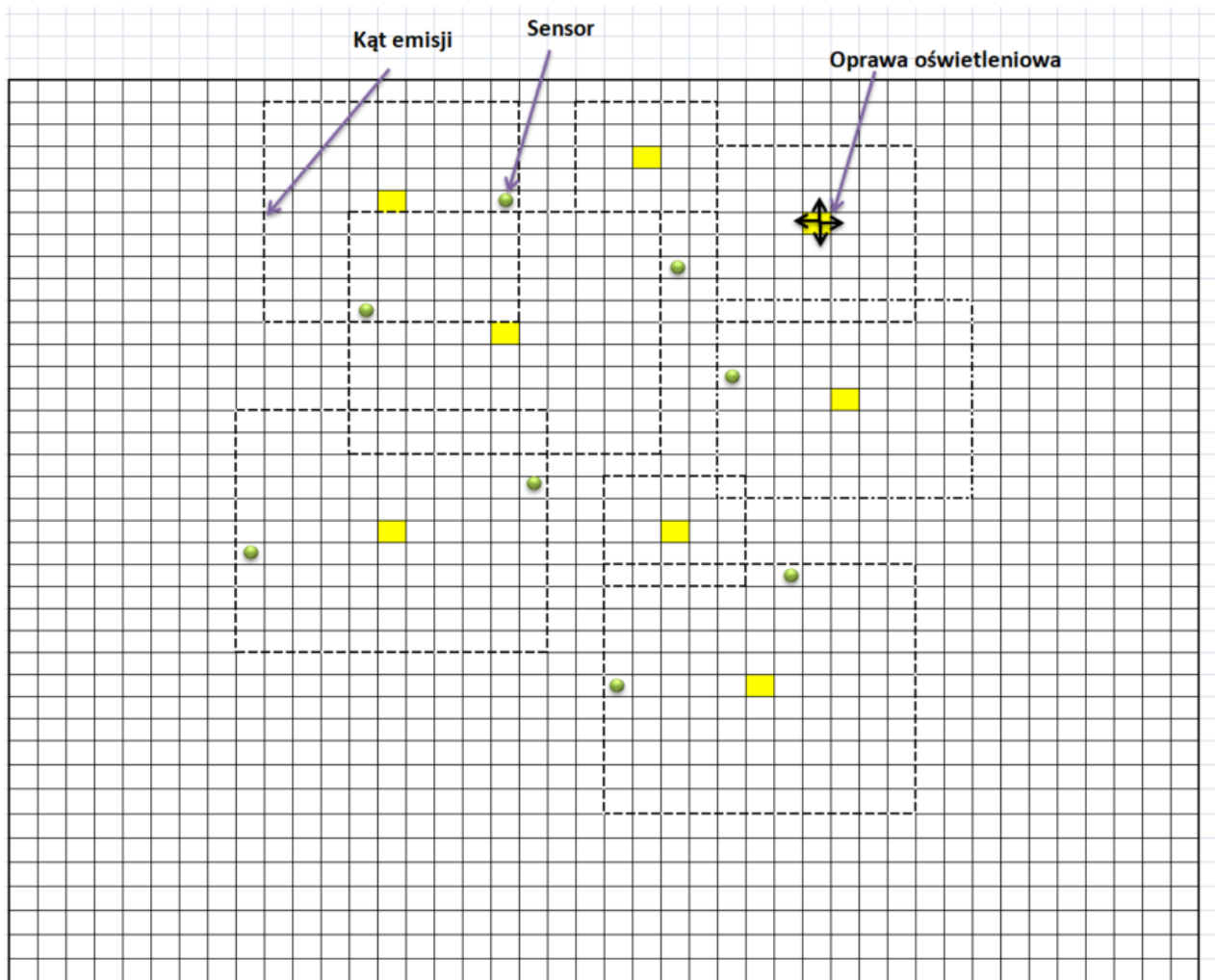


Rysunek 6: Rozważane w projekcie oświetlenie znajduje się na jednym poziomie.

W celu uproszczenia rozważań, w projekcie zakłada się, że kąt emisji światła ma kształt ostrosłupa o podstawie czworokątnej. Siatkę stanowić będą kwadraty o bokach długości 0,5m, które znajdować się będą na poziomie sensorów. Schematycznie przedstawiono to na Rysunku 7.



Rysunek 7: Schematyczne przedstawienie siatki rozważanej w projekcie.  
Komórkę oznaczono kolorem niebieskim.  
Kąt emisji kolorem czerwonym.



Rysunek 8: Siatka automatu komórkowego dla modelu oświetlenia.

## **8. Symulacja modelu oświetlenia**

Tu zostanie opisana nasza symulacja oraz jej wyniki

## 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] 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.
- [5] Mirosław Dechnik Karina Grzywocz. Efektywność energetyczna sterowania oświetleniem wewnątrz. *Napędy i sterowanie*, 2017.
- [6] Wojnicki I. Sędziwy A. Kotulski L. Towards ai-based distributed lighting control systems. *Automatyka*, 16(2), 2012.
- [7] Damien Regnault<sup>1</sup> Nicolas Schabanel<sup>1</sup> and Eric Thierry<sup>1</sup>. On the analysis of “simple” 2d stochastic cellular automata. *SpringerLink*, 2008.
- [8] Stefania Bandini<sup>1</sup> Andrea Bonomi<sup>1</sup> Giuseppe Vizzari<sup>1</sup> and Vito Acconci<sup>2</sup>. A cellular automata-based modular lighting system. *SpringerLink*, 2010.
- [9] Turlej Z. Elements of the daily and artificial lighting in an interior. 2011.