

1. Celem laboratorium było przeprowadzenie symulacji rozpraszania fotonów w ośrodku częściowo przezroczystym i wyznaczenie współczynników absorpcji i odbicia.
2. Rozpraszanie fotonów w układzie jedno i wielowarstwowym
W jednorodnym medium o współczynniku załamania n , fotony emitowane z dolnej krawędzi próbki ulegają losowym procesom rozpraszania i absorpcji. Rozpraszanie zmienia kierunek ruchu (ale nie zmienia wartości), a absorpcja prowadzi do zaniku fotonu - zjawiska mogą jednak występować równolegle. W trakcie symulacji w układzie wielowarstwowym foton może zostać:
 - odbity na granicy faz,
 - przeniknąć przez górną granicę - transmisja,
 - zaabsorbowany w objętości lub na krawędziach - absorpcja.

Algorytm Monte Carlo

Symulacja śledzi wagę wiązki fotonów o intensywności $w = 1$, która zmniejsza się w wyniku absorpcji.

Metoda MC pozwala statystycznie odtworzyć trajektorie wielu pojedynczych fotonów.

Swobodna droga

Długość drogi swobodnej wyznaczana jest losowo na podstawie całkowitego współczynnika oddziaływania μ absorpcji (absorption) oraz rozproszenia (scattering):

$$\mu_{\text{całkowite}} = \mu_a + \mu_s$$

Rozpraszanie i absorpcja

Fracja absorpcji wynosi:

$$\Delta w = \frac{\mu_a}{\mu_{\text{tot}}}$$

a zmniejszenie wagi:

$$w \leftarrow w - \Delta w$$

Energia jest deponowana w siatce przestrzennej. Kierunek fotonu po rozproszeniu zależy od współczynnika anizotropii g i kąta azymutalnego ϕ określanych dla każdej symulacji.

Na **granicy ośrodków** zachodzi:

- Całkowite odbicie wewnętrzne – gdy $n_i > n_s$ oraz $\alpha_i > \alpha_{\text{critical}}$.
- Częściowe odbicie/transmisja – zgodnie z prawem Snelliusa:

$$n_i \sin \alpha_i = n_s \sin \alpha_s$$

oraz współczynnikiem odbicia:

$$R(\alpha_i) = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\sin(\alpha_i - \alpha_s)}{\sin(\alpha_i + \alpha_s)} \right)^2 + \left(\frac{\tan(\alpha_i - \alpha_s)}{\tan(\alpha_i + \alpha_s)} \right)^2 \right]$$

Losowanie (ruletka)

Jeśli waga spadnie poniżej 10^{-4} , stosuje się probabilistyczne kasowanie:

$$w < 10^{-4} \Rightarrow \begin{cases} U_1 \leq p_{\text{amp}} & w \leftarrow \frac{w}{p_{\text{amp}}} \\ U_1 > p_{\text{amp}} & w = 0 \end{cases}, \quad p_{\text{amp}} = 0,1$$

Celem jest optymalizacja algorytmu poprzez ucięcie wiązek o znikomym wkładzie.

3. Wyniki

W trakcie laboratorium przeprowadzono szereg symulacji zmieniając parametry współczynników μ_a , μ_s , anizotropowość warstw g , współczynniki załamania n oraz pozycję początkową wiązki, co odpowiada kątowi. Poniższe dane pochodzą z dwóch symulacji (wartości początkowe w tabeli 1). Warunki 2 skupiają się na zjawisku odbicia wiązki - stąd ustawienie początkowe pod kątem oraz zwiększenie parametru n dla 2. warstwy; warunki 3 skupiają się na detekcji cząstek puszczonech prostopadłe na detektor.

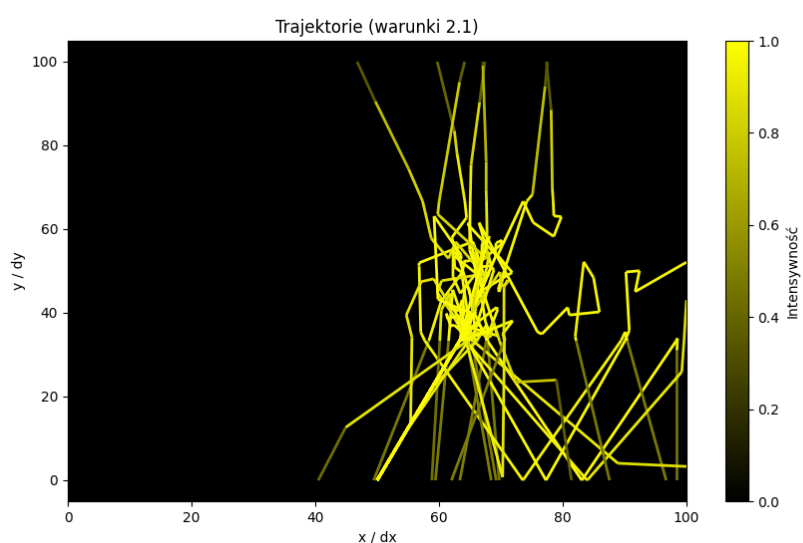
Parametr	Warunki 2	Warunki 3
Liczba warstw	3	3
Pozycja źródła $x / \Delta x$	0.1 / 0.0	0.1 / 0.0
Pozycja detektora $x / \Delta x$	0.15 / 0.01	0.15 / 0.01
Początkowy kierunek $[x,y]$	[0, 1]	[0.8, 0.6]
Wymiar siatki	$n_x = n_y = 100$	$n_x = n_y = 100$
Zakres przestrzenny	$x \in [0,0.2], y \in [0,1]$	$x \in [0,0.2], y \in [0,1]$
Liczba fotonów	2e5	2e5
Właściwości optyczne warstw		
m	1; 2; 3	1; 2; 3
μ_a	1; 1; 10	1; 1; 10
μ_s	10; 190; 90	10; 190; 90
d	0.02; 0.02; 0.02	0.02; 0.02; 0.02
g	0.75; 0.075; 0.95	0.75; 0.075; 0.95
n	1.3; 1.5; 1.0	1.3; 1.0; 1.0

Tabela 1. Parametry symulacji.

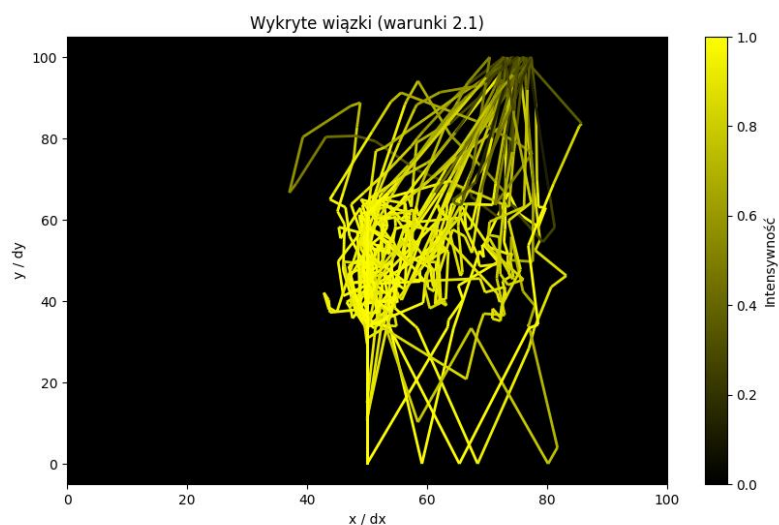
W tabeli 2 przedstawiono bilans energetyczny dla tych warunków początkowych symulacji. Na rysunkach (1, 2, 3, 4) przedstawiono wyniki dla trajektorii wszystkich wiązek (jednakże ograniczając ich liczbę do 25) oraz cząstek które trafiły detektor (ograniczając początkową liczbę do 250).

Wielkość	Warunki 2 [%]	Warunki 3 [%]
Całkowita absorbcja	29.41	20.57
Całkowita reflektancja	51.22	56.28
Całkowita transmitancja	19.38	23.15
Suma energii całkowitej	100	100

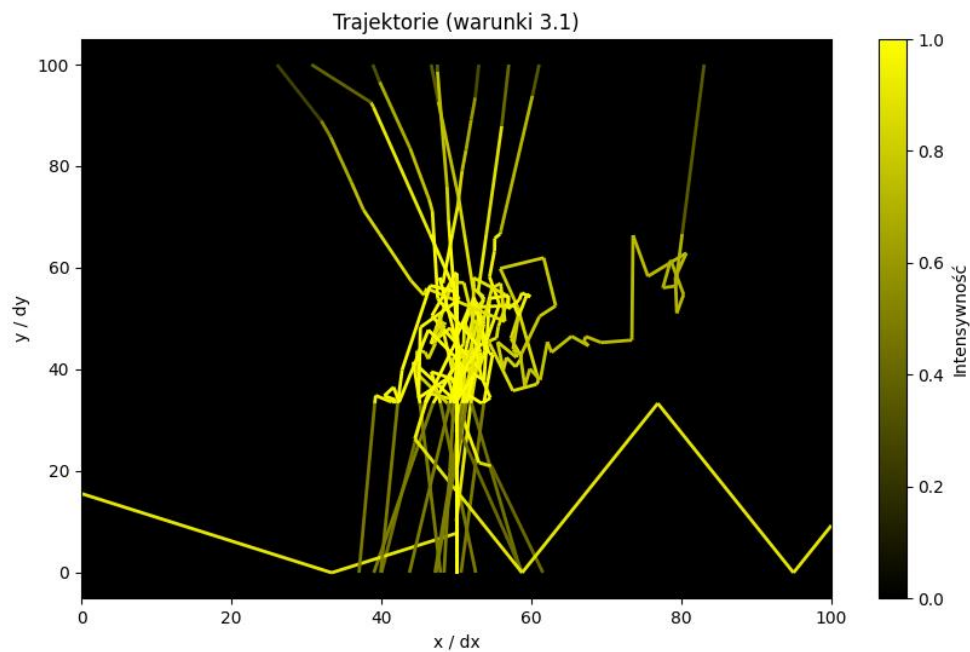
Tabela 2. Bilanse energetyczne dla obydwu przypadków.



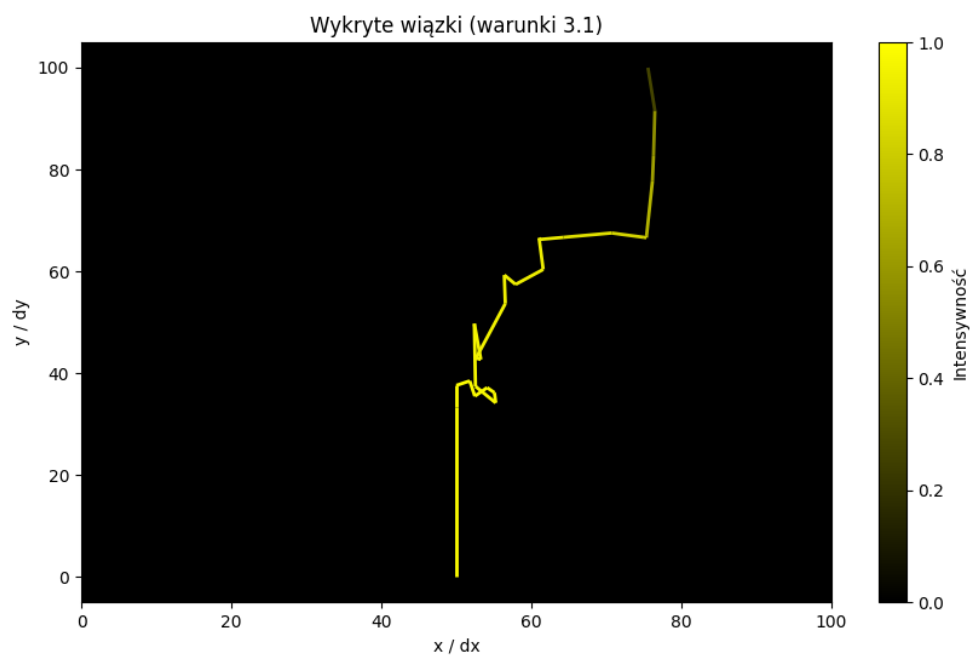
Rys 1. Trajektorie wiązek dla warunków 2.



Rys 2. Wiązki wykryte przez detektor dla warunków 2.



Rys 3. Trajektorie wiązek dla warunków 3.



Rys 4. Wiązki wykryte przez detektor dla warunków 3.

4. Wnioski

Najważniejszym badanym parametrem wyjściowym układu jest rozkład energetyczny na składowe absorpcji, reflektancji oraz transmitancji. Zgodnie z przewidywaniami wzrost współczynnika μ_a (w odniesieniu do stosunku do μ_s) powoduje zwiększenie frakcji energii rozproszonej w układzie, zwiększenie obu tych współczynników widać

przede wszystkim jako spadek transmitancji. Zmiana parametrów anizotropii wpływa dość znacząco na udział transmitancji - większa anizotropia powoduje preferowanie rozpraszania w jednym kierunku ('do przodu'), co ogranicza możliwości absorpcji w układzie. Jest to widoczne na rysunku 4, gdzie wiązka zostaje zakrzywiona w warstwie 2. o stosunkowo niskiej anizotropii (= wysokiej izotropii), przelatując w sposób dość niezakłócony przez warstwę 3. Tłumaczy to również bardzo niską liczbę cząstek (tylko 1), które dotarły do detektora. Zwiększanie parametru absorpcji w 2. warstwie jest szczególnie widoczne na rysunku 2 - kumulacja odbić nastąpiła właśnie w tej warstwie.