

AGH UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

WYDZIAŁ FIZYKI I INFORMATYKI STOSOWANEJ
KIERUNEK STUDIÓW: FIZYKA TECHNICZNA



METODY MONTE CARLO

Laboratorium 11

Symulacja rozpraszania fotonów w ośrodku częściowo przezroczystym

zrealizował
Przemysław Ryś

Kraków, 20 Maj 2024

1 Opis zagadnienia

Rozważany jest problem rozpraszania fotonów w ośrodku częściowo przezroczystym, gdzie fotony mogą podlegać zarówno absorpcji, jak i rozproszeniu. Procesy te są losowe, co czyni metodę Monte Carlo (MC) odpowiednią do ich symulacji. Celem symulacji jest zrozumienie, gdzie energia fotonów jest absorbowana, co jest istotne zarówno z punktu widzenia fizyki eksperymentalnej, jak i potencjalnych zastosowań technologicznych.

1.1 Swobodna propagacja wiązki

Początkowo określamy przewidywaną długość ścieżki, po której będzie się poruszać wiązka do kolejnego aktu rozproszenia/absorpcji. Całkowity współczynnik oddziaływania z ośrodkiem $\mu_{\text{tot}} = \mu_a + \mu_s$ oraz prawdopodobieństwo, że na drodze o długości s nie dojdzie do rozproszenia jest dane przez funkcję eksponencjalną $P\{x < s\} = e^{-\mu_{\text{tot}}s}$. Losujemy długość swobodnej drogi s zgodnie z rozkładem wykładniczym:

$$s = -\frac{\ln(U_1)}{\mu_{\text{tot}}}$$

gdzie $U_1 \sim U(0, 1)$.

1.2 Etap rozpraszania/absorpcji

Po zakończeniu etapu swobodnej propagacji wiązki dochodzi do rozproszenia. Część wiązki jest absorbowana (Δw), a pozostała część zmienia kierunek dalszej propagacji. Absorbowaną frakcję wiązki wyliczamy na podstawie współczynników absorpcji i rozpraszania:

$$\Delta w = \frac{\mu_a}{\mu_a + \mu_s}$$

Depozycję energii rejestrujemy w tablicy absorpcji, np. dla przypadku 2D:

$$\text{absorption}[i][j] += \Delta w$$

1.3 Rozpraszanie na granicy dwóch ośrodków

Jeśli wiązka pada na granicę dwóch ośrodków, decydujemy na podstawie warunków o całkowitym wewnętrznym odbiciu lub odbiciu/przejęciu przez interfejs.

Parametry inicjalizacyjne:

Przyjmujemy podstawowe parametry symulacji, ewentualne zmiany poniżej będą dotyczyć jedynie wybranych parametrów i tylko je zmieniamy:

- $n_{\text{layers}} = 3$
- $x_{\text{max}} = 0.2$
- $x_{\text{source}} = 0.1$
- $dx_{\text{source}} = 0.0$
- $x_{\text{detect}} = 0.15$
- $dx_{\text{detect}} = 0.01$
- $n_x = n_y = 100$
- $r_x = 0.0$
- $r_y = 1.0$
- $N = 200000$ (liczba wiązek fotonowych)

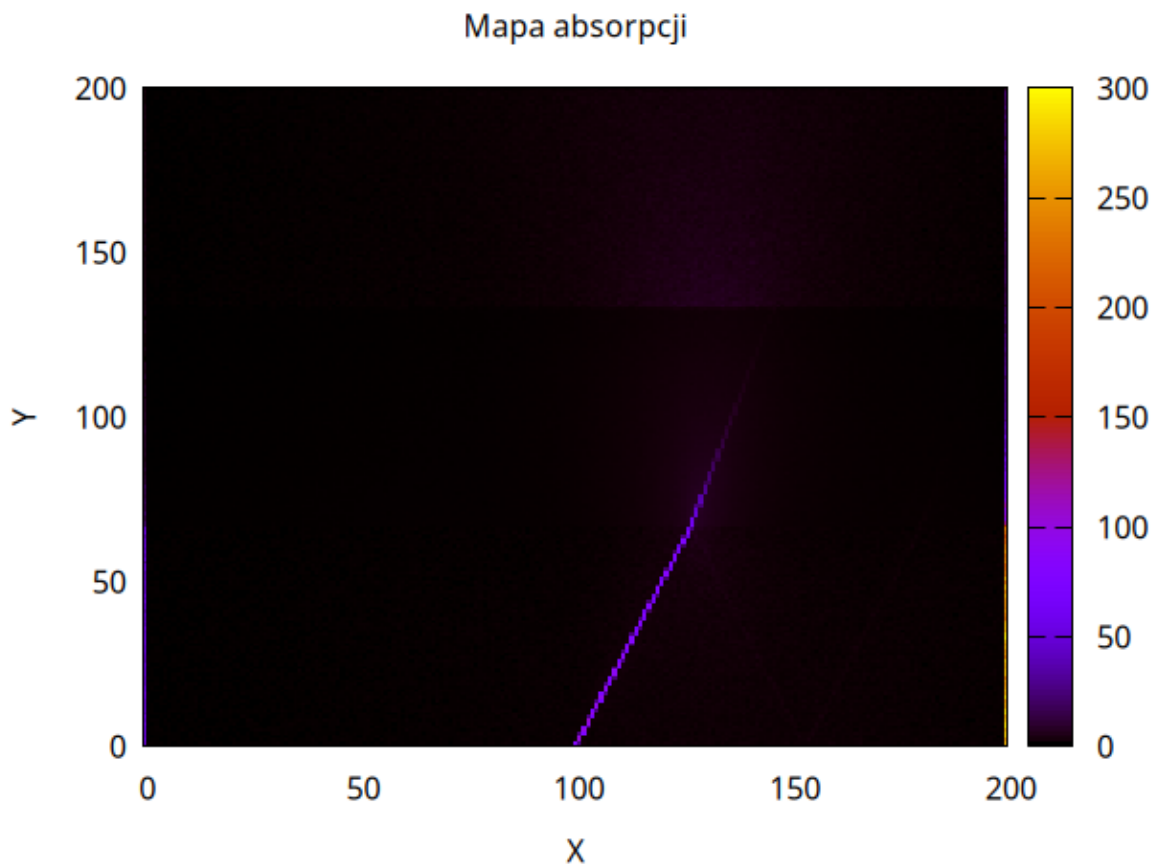
- **Absorpcja:** Proces pochłaniania energii fotonów przez materię.
- **Reflektancja:** Odsetek światła odbijanego od powierzchni materiału.
- **Transmitancja:** Odsetek światła przechodzącego przez materiał bez absorpcji lub odbicia.

m	$\mu_a[1/\text{cm}]$	$\mu_s[1/\text{cm}]$	$d[\text{cm}]$	$g[-]$	$n[-]$
1	1	10	0.02	0.75	1.3
2	1	190	0.02	0.075	1.0
3	10	90	0.02	0.95	1.0

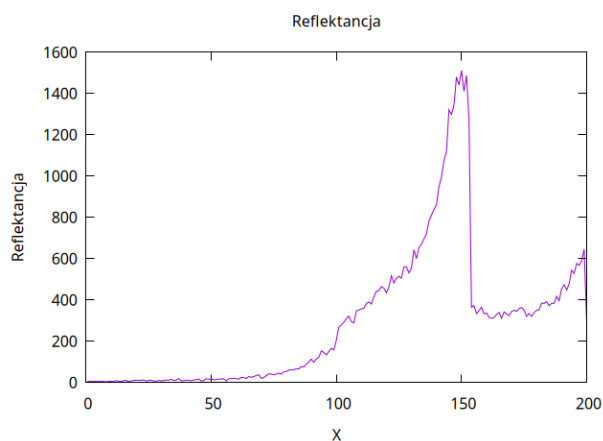
Tab. 1: Parametry dla różnych warstw materiału

Zadanie 1 - wewnętrzne odbicie wiązki

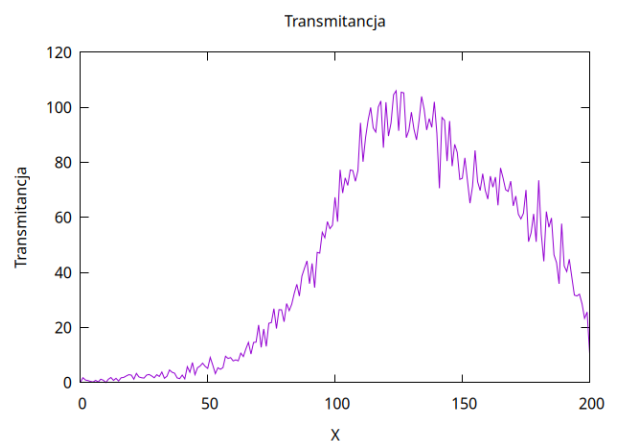
• Aktualizacja parametrów: $r_x = 0.8$, $r_y = 0.6$, $n^{(2)} = 1.5$



Rys. 1: Absorpcja dla pierwszej serii parametrów.



Rys. 2: Reflektancja dla pierwszej serii parametrów.



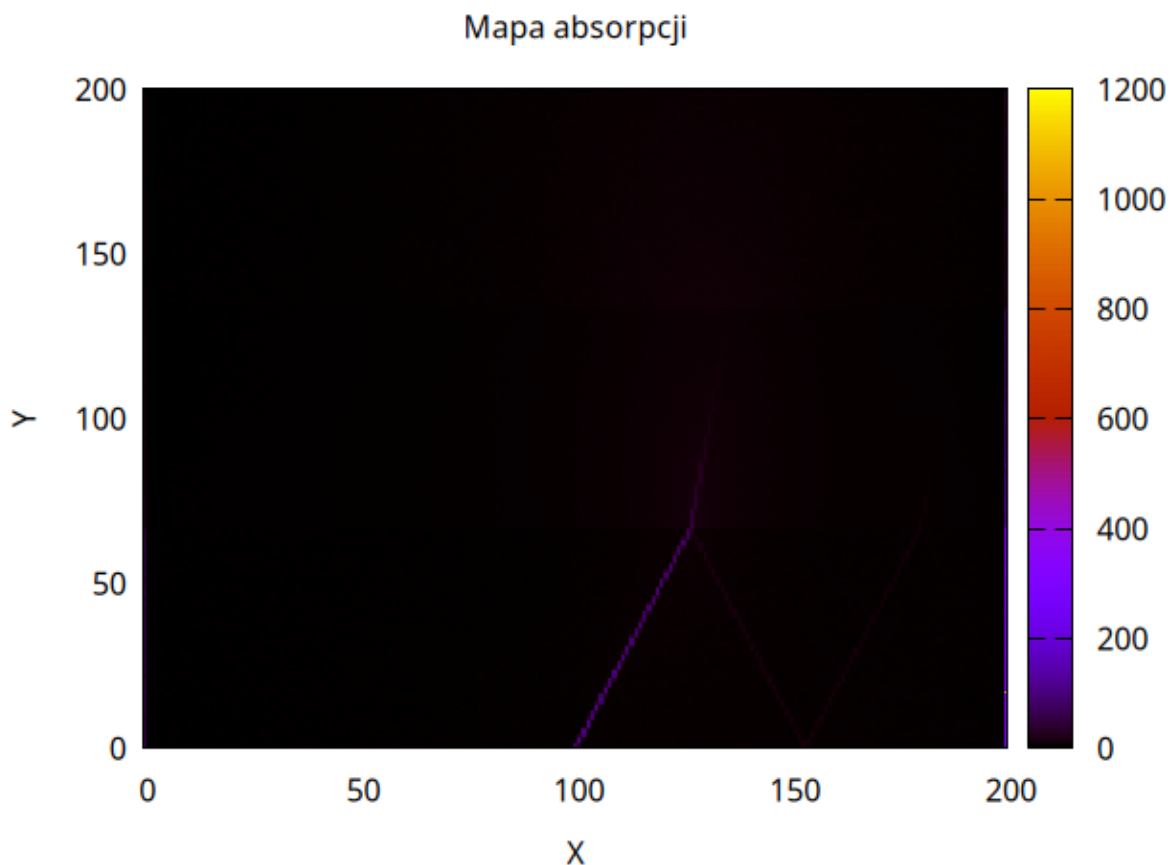
Rys. 3: Transmitancja dla pierwszej serii parametrów.

	Absorpcja	Reflektancja	Transmitancja
Wartość	0.293302	0.515127	0.191572

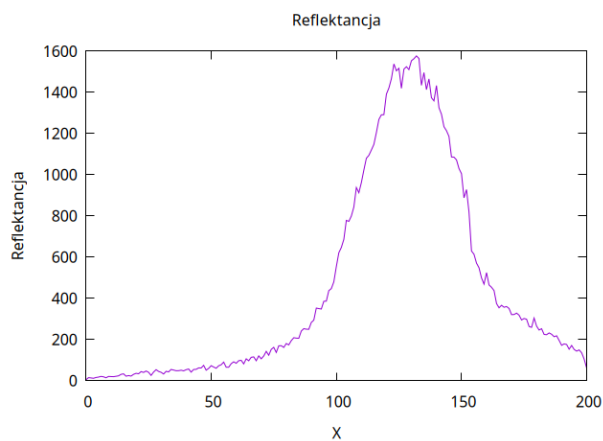
Tab. 2: Podsumowanie wartości absorpcji, reflektancji i transmitancji.

Te wyniki przedstawiają, że około 29.33% energii świetlnej jest absorbowane przez materiał, 51.51% jest odbijane od jego powierzchni, a jedynie 19.16% przechodzi przez materiał bez absorpcji ani odbicia.

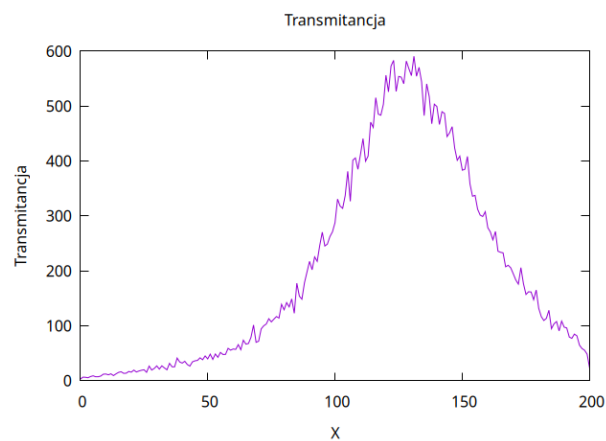
• Aktualizacja parametrów: $r_x = 0.8, r_y = 0.6, n^{(2)} = 2.5$



Rys. 4: Absorpcja dla drugiej serii parametrów.



Rys. 5: Reflektancja dla drugiej serii parametrów.



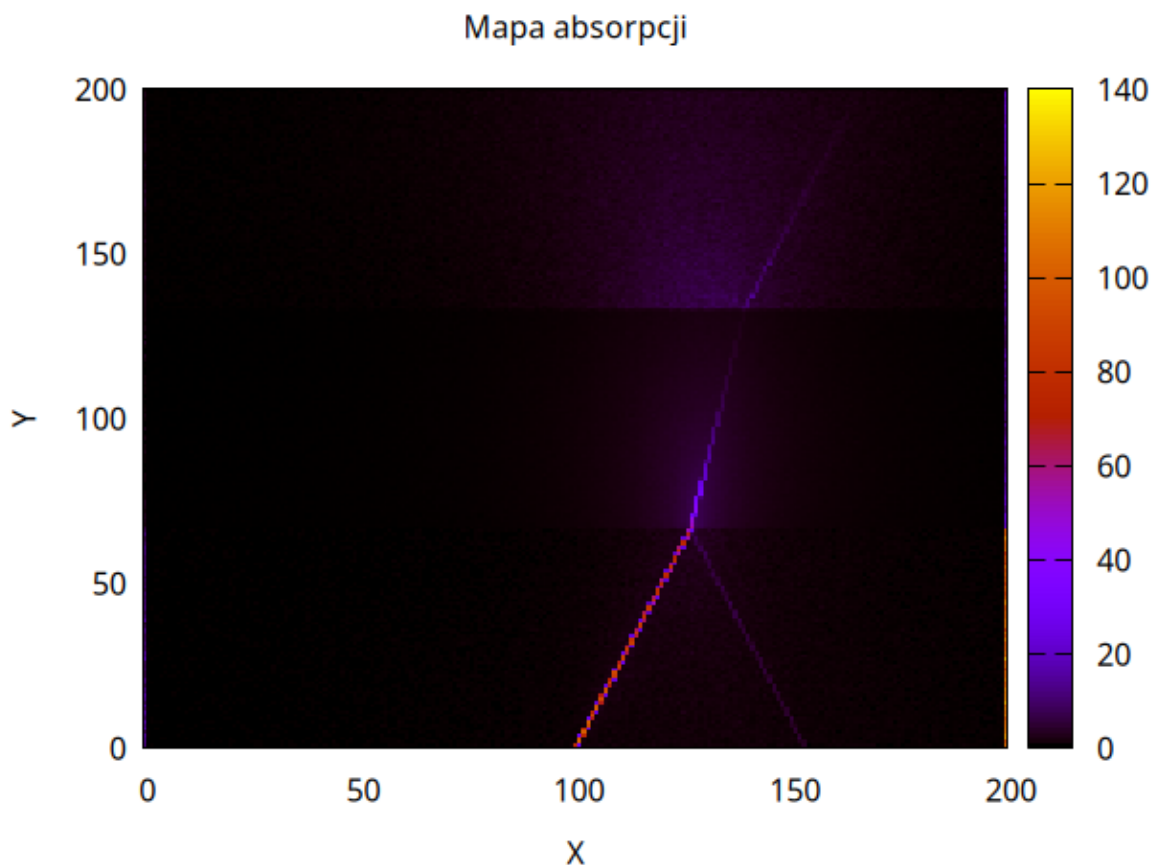
Rys. 6: Transmitancja dla drugiej serii parametrów.

	Absorpcja	Reflektancja	Transmitancja
Wartość	0.351939	0.447399	0.200662

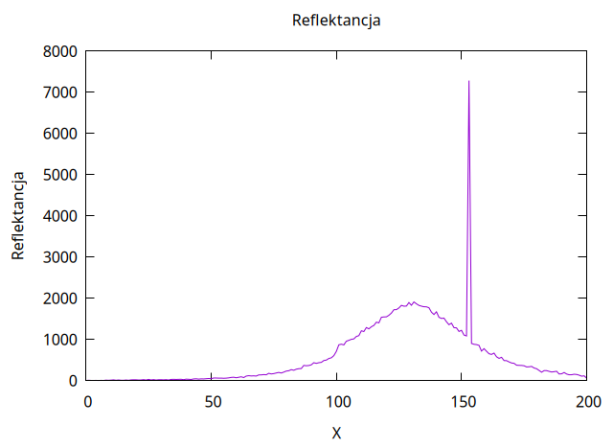
Tab. 3: Podsumowanie wartości absorpcji, reflektancji i transmitancji.

Te wyniki przedstawiają, że około 35.19% energii świetlnej jest absorbowane przez materiał, 44.74% jest odbijane od jego powierzchni, a jedynie 20.06% przechodzi przez materiał bez absorpcji ani odbicia.

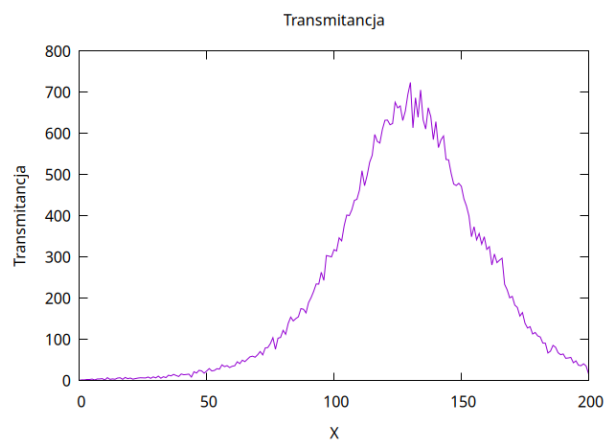
• Aktualizacja parametrów: $r_x = 0.8, r_y = 0.6, n^{(1)} = 1.0, n^{(2)} = 1.5$



Rys. 7: Absorpcja dla trzeciej serii parametrów.



Rys. 8: Reflektancja dla trzeciej serii parametrów.



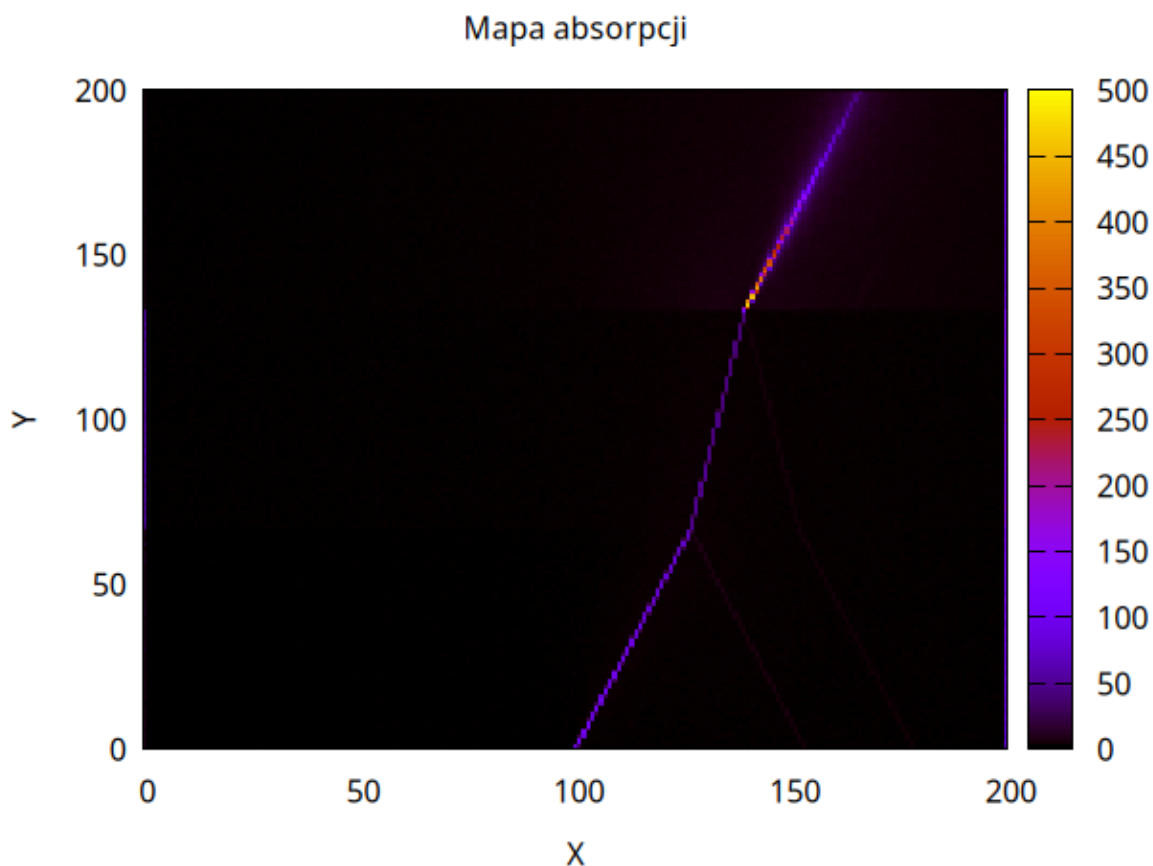
Rys. 9: Transmitancja dla trzeciej serii parametrów.

	Absorpcja	Reflektancja	Transmitancja
Wartość	0.215983	0.56886	0.215157

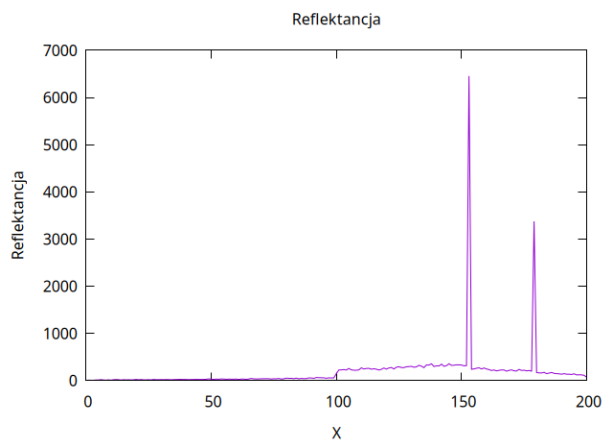
Tab. 4: Podsumowanie wartości absorpcji, reflektancji i transmitancji.

Te wyniki przedstawiają, że około 21.59% energii świetlnej jest absorbowane przez materiał, 56.88% jest odbijane od jego powierzchni, a jedynie 21.52% przechodzi przez materiał bez absorpcji ani odbicia.

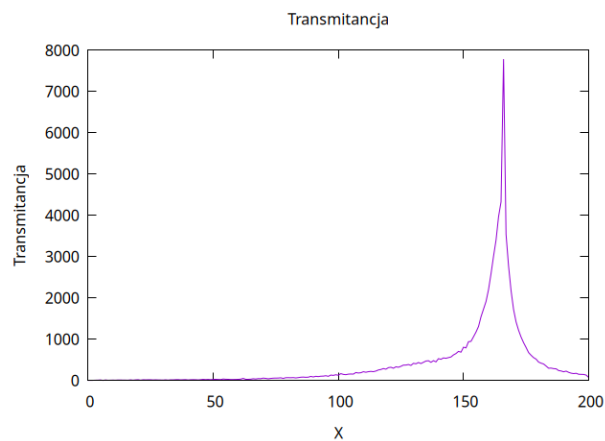
• **Aktualizacja parametrów:** $r_x = 0.8, r_y = 0.6, n^{(1)} = 1.0, n^{(2)} = 1.5, \mu_s^{(2)} = 10$



Rys. 10: Absorpcja dla czwartej serii parametrów.



Rys. 11: Reflektancja dla czwartej serii parametrów.



Rys. 12: Transmitancja dla czwartej serii parametrów.

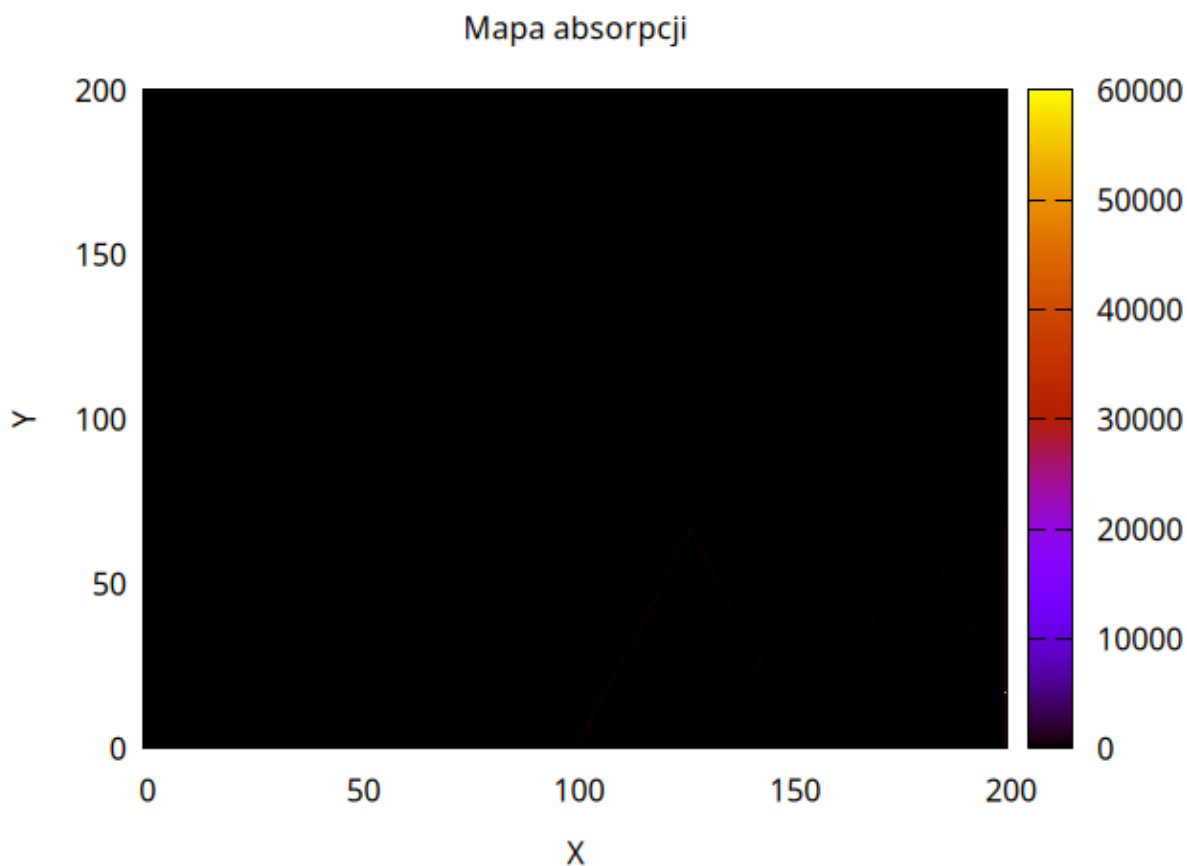
	Absorpcja	Reflektancja	Transmitancja
Wartość	0.398189	0.180294	0.421518

Tab. 5: Podsumowanie wartości absorpcji, reflektancji i transmitancji.

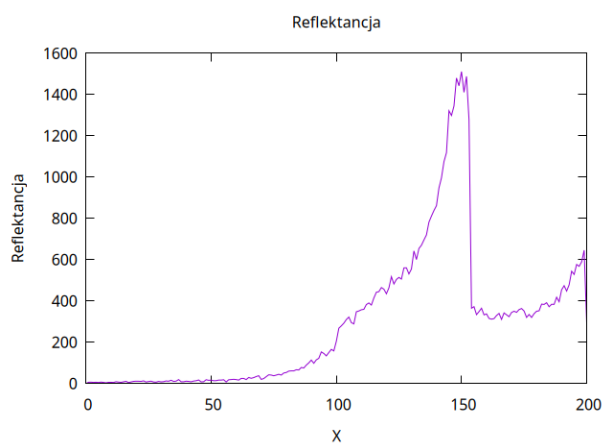
Te wyniki przedstawiają, że około 39.82% energii świetlnej jest absorbowane przez materiał, 18.03% jest odbijane od jego powierzchni, a jedynie 42.15% przechodzi przez materiał bez absorpcji ani odbicia.

Zadanie 2 - wiązka o kierunku normalnym

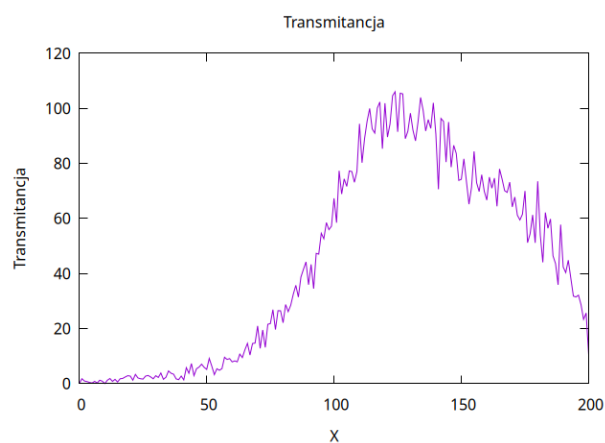
• Parametry bazowe (tabela 1)



Rys. 13: Absorpcja dla pierwszej serii parametrów.



Rys. 14: Reflektancja dla pierwszej serii parametrów.



Rys. 15: Transmitancja dla pierwszej serii parametrów.

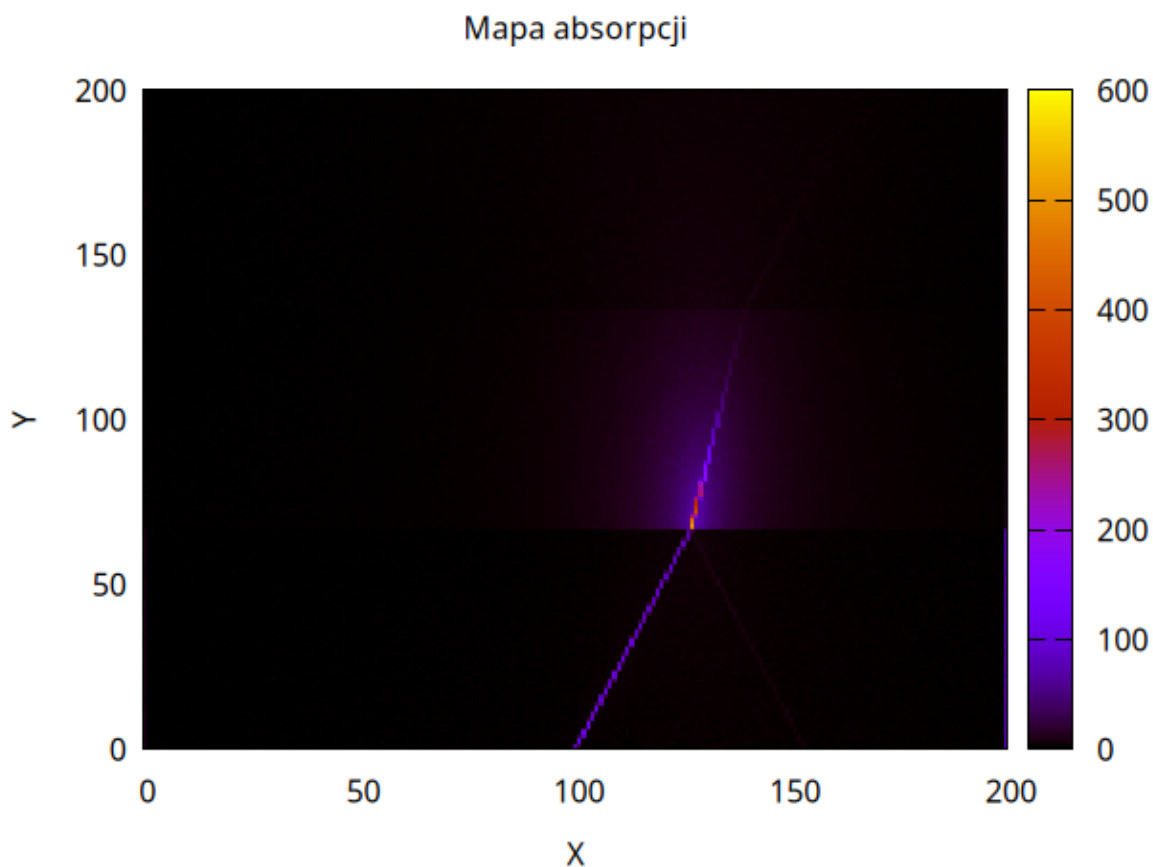
	Absorpcja	Reflektancja	Transmitancja
Wartość	0.665313	0.291167	0.0435201

Tab. 6: Podsumowanie wartości absorpcji, reflektancji i transmitancji.

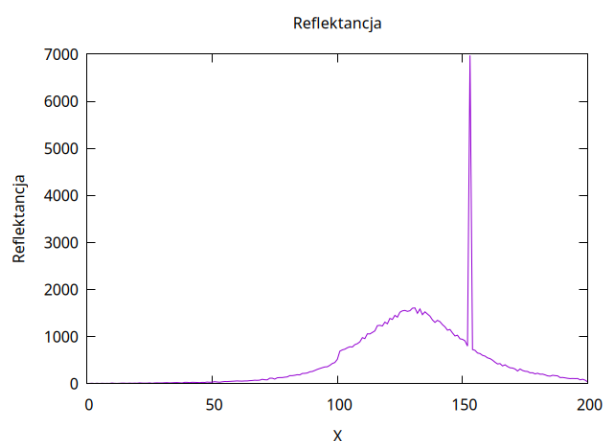
Te wyniki przedstawiają, że około 66.53% energii świetlnej jest absorbowane przez materiał, 29.12% jest odbijane od jego

powierzchni, a jedynie 4.35% przechodzi przez materiał bez absorpcji ani odbicia.

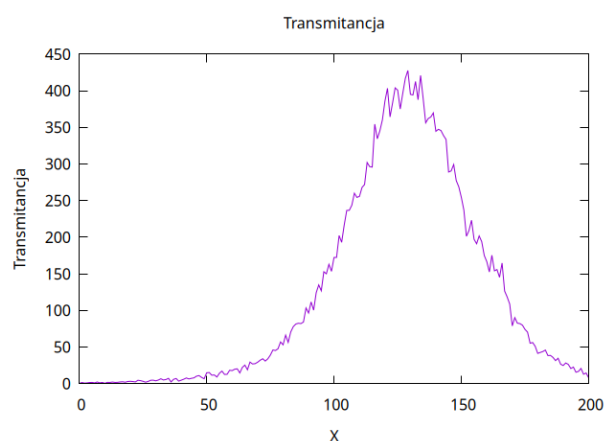
• **Aktualizacja parametrów:** $n^{(1)} = 1.0$, $\mu_a^{(2)} = 10$, $\mu_s^{(2)} = 210$, $n^{(2)} = 1.5$



Rys. 16: Absorpcja dla drugiej serii parametrów.



Rys. 17: Reflektancja dla drugiej serii parametrów.



Rys. 18: Transmitancja dla drugiej serii parametrów.

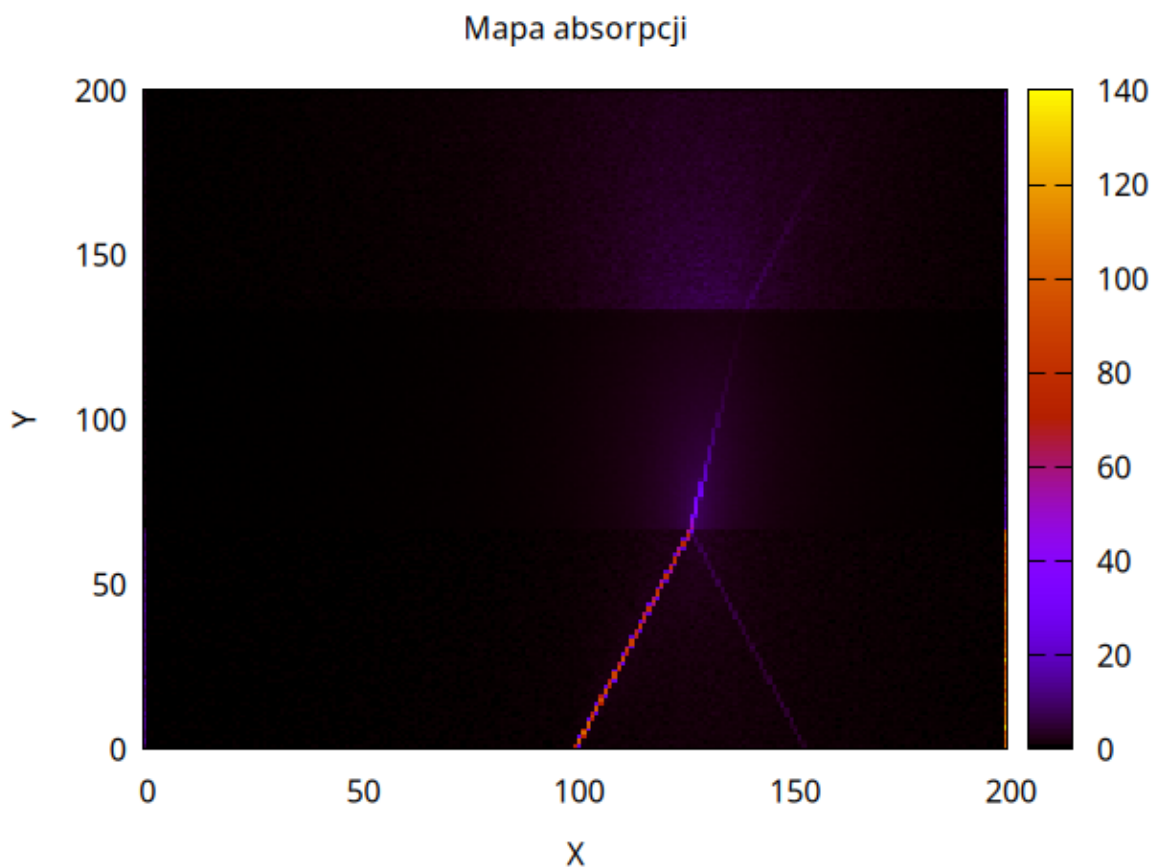
	Absorpcja	Reflektancja	Transmitancja
Wartość	0.420856	0.458597	0.120548

Tab. 7: Podsumowanie wartości absorpcji, reflektancji i transmitancji.

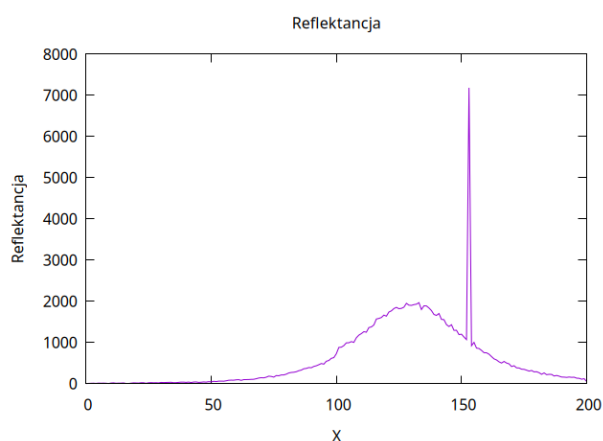
Te wyniki przedstawiają, że około 42.09% energii świetlnej jest absorbowane przez materiał, 45.86% jest odbijane od jego

powierzchni, a jedynie 12.05% przechodzi przez materiał bez absorpcji ani odbicia.

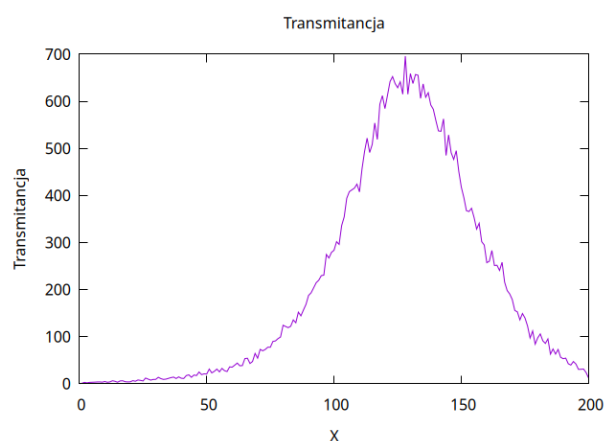
• **Aktualizacja parametrów:** $n^{(1)} = 1.0$, $\mu_a^{(2)} = 1$, $\mu_s^{(2)} = 210$, $n^{(2)} = 1.5$



Rys. 19: Absorpcja dla trzeciej serii parametrów.



Rys. 20: Reflektancja dla trzeciej serii parametrów.



Rys. 21: Transmitancja dla trzeciej serii parametrów.

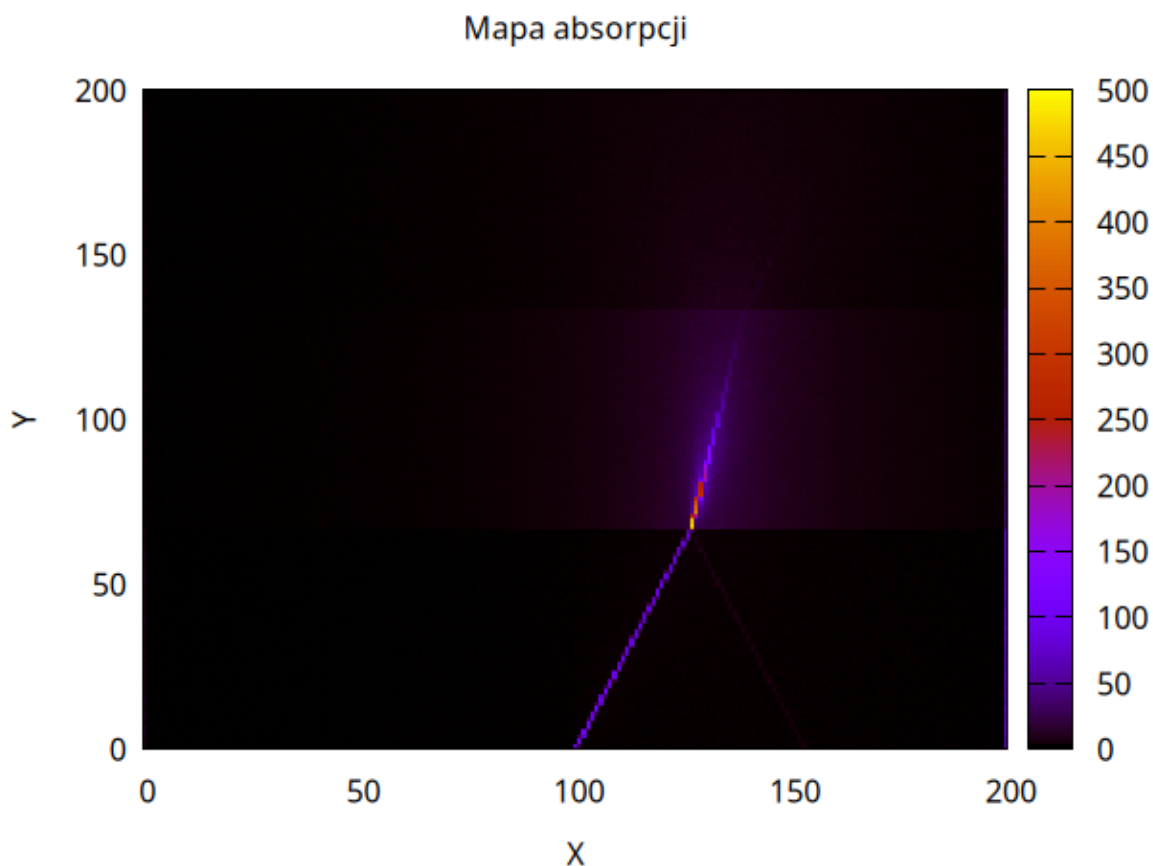
	Absorpcja	Reflektancja	Transmitancja
Wartość	0.420856	0.458597	0.120548

Tab. 8: Podsumowanie wartości absorpcji, reflektancji i transmitancji.

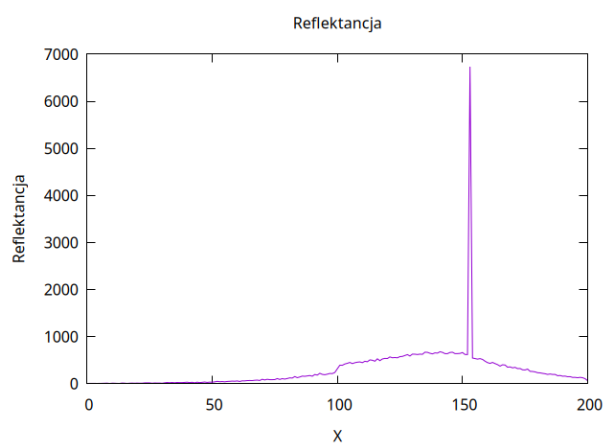
Te wyniki przedstawiają, że około 42.09% energii świetlnej jest absorbowane przez materiał, 45.86% jest odbijane od jego

powierzchni, a jedynie 12.05% przechodzi przez materiał bez absorpcji ani odbicia.

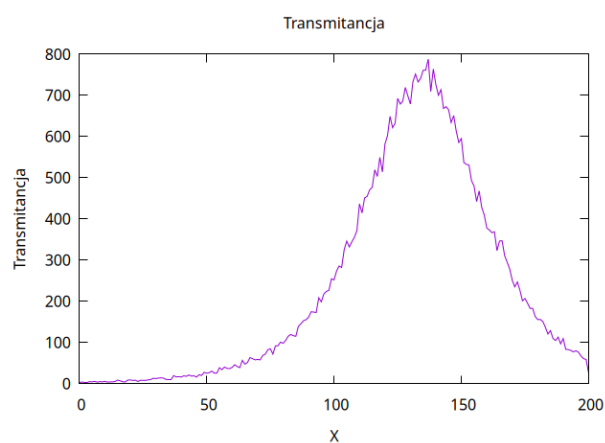
• **Aktualizacja parametrów:** $n^{(1)} = 1.0$, $\mu_a^{(2)} = 10$, $\mu_s^{(2)} = 210$, $n^{(2)} = 1.5$, $g^{(2)} = 0.75$



Rys. 22: Absorpcja dla czwartej serii parametrów.



Rys. 23: Reflektancja dla czwartej serii parametrów.



Rys. 24: Transmitancja dla czwartej serii parametrów.

	Absorpcja	Reflektancja	Transmitancja
Wartość	0.485991	0.281817	0.232192

Tab. 9: Podsumowanie wartości absorpcji, reflektancji i transmitancji.

Te wyniki przedstawiają, że około 48.6% energii świetlnej jest absorbowane przez materiał, 28.18% jest odbijane od jego powierzchni, a jedynie 23.22% przechodzi przez materiał bez absorpcji ani odbicia.

2 Wnioski

Zaimplementowano zaawansowany algorytm Monte Carlo, który skutecznie symuluje trajektorie wiązek fotonowych, uwzględniając procesy stochastyczne, takie jak rozpraszanie anizotropowe i absorpcja. Symulacje te dostarczają szczegółowych danych na temat rozkładów przestrzennych współczynnika absorpcji, odbicia i transmisji.

Algorytm Monte Carlo pozwala na szczegółową analizę zachowania się fotonów w materiale, dzięki stochastycznemu charakterowi zjawiska.