

Agate Evolver

Wojciech Ciszewski Alicja Dutkiewicz
Stanisław Kurdziałek

Opiekun: Piotr Szymczak

19.02.2019

1 Wstęp

Niniejszy projekt powstał w ramach Hackathonu 2.0 Wydziału Fizyki UW. Jego celem jest przetestowanie prostego modelu powstawania agatów poprzez zasymulowanie w oparciu o niego powstawania kolejnych warstw minerału.

2 Opis modelu

Agaty to minerały złożone z mikrokryystalicznej krzemionki ułożonej w charakterystyczne warstwy. Agaty wypełniają zwykle pustki po pęcherzach gazowych uwiezionych w stygnącej lawie. Jedna z teorii ich powstawania mówi, że kolejne warstwy krzemionki osadzały się na ścianach takiej pustki, a kolorowe paski są odzwierciedleniem różnych w składzie chemicznym roztworu na przestrzeni setek tysięcy lat, w czasie których tworzył się agat. W zadaniu spróbujemy znaleźć kształty poszczególnych warstw agatu zakładając, że wzrost (w kierunku od ścianek do środka buły agatowej) odbywa się ze stałą prędkością (czyli nowa warstwa składa się z punktów będących w ustalonej odległości od warstwy poprzedniej). Taki wzrost ma naturalną tendencję do generowania „ostrych kantów”. Takie punkty z nieciągłą pochodną są często widoczne w agatach, co jest argumentem za tym, że ten prosty model wzrostu może być w tym przypadku właściwy.

3 Cel projektu

Końcowym efektem naszej pracy jest *Agate evolver*, który produkuje strukturę warstw dla danej początkowej geometrii agatu w dwóch i, w niektórych przypadkach, trzech wymiarach. Przetestowaliśmy go na rzeczywistych agatach, aby sprawdzić, czy numerycznie wygenerowana struktura pasm pokrywa się z rzeczywistą.

4 Model 2D

W modelu 2D traktowaliśmy kolejne warstwy jako płaskie krzywe zamknięte, którą można przybliżyć wielokątami. Wykorzystaliśmy klasy `Polygon` i `MultiPolygon` z modułu `geometry` biblioteki `shapely`.

Stworzyliśmy funkcję `evolve_agat` pozwalającą wygenerować przekrój agatu o zadany konturze. Funkcja przyjmuje następujące argumenty:

```
first_layer
    lista wierzchołków zewnętrznej warstwy [(x1, y1), (x2, y2), ...]

layer_width
    odległość pomiędzy kolejnymi warstwami. Domyślnie 0.05

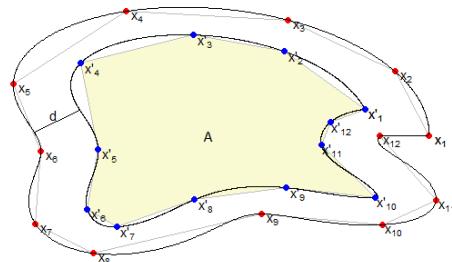
min_area
    powierzchnia wnętrza agatu. Domyślnie 0.001

N_apexes
    maksymalna liczba wierzchołków wielokątów reprezentujących kolejne warstwy. Jeśli równa -1 (domyślnie), to tyle samo co w first_layer

fig
    obiekt klasy Figure z biblioteki matplotlib, na którym ma zostać narysowany wynik symulacji. Domyślnie przyjmuje wartość None i rysunek jest wyświetlany po wywołaniu funkcji
```

Ewolucję schematycznie przedstawia rysunek 1. W każdym kroku ewolucji za pomocą metody `buffer` znajdowany był zbiór $N = N_{\text{apexes}}$ punktów oddległych o `layer_width` od aktualnej warstwy $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_N, y_N)\}$ i znajdujących się wewnątrz wielokąta — te punkty tworzyły kolejną warstwę $\{(x'_1, y'_1), (x'_2, y'_2), \dots, (x'_{N'}, y'_{N'})\}$. Jej wnętrze A kolorowano na jeden z losowo wybranych kolorów. Następnie przypisywano $x_i \leftarrow x'_i$, $y_i \leftarrow y'_i$ i rozpoczynał się kolejny krok. Ewolucję kontynuowano, aż powierzchnia wielokąta A reprezentującego aktualną warstwę była mniejsza niż `min_area`.

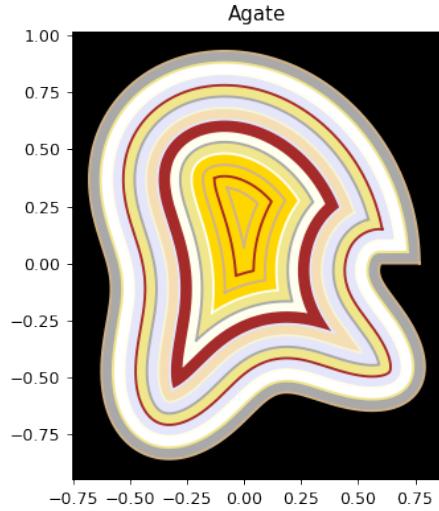
Rysunek 1: Ilustracja kroku ewolucji 2D



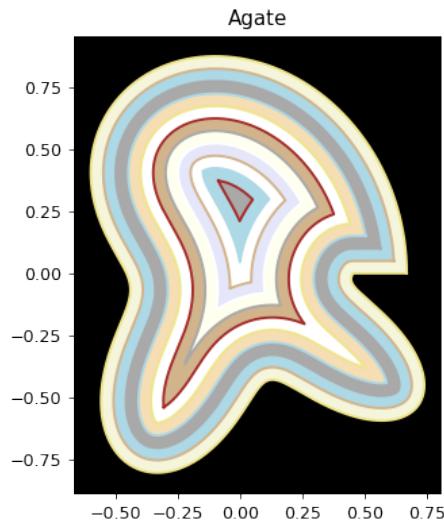
5 Generowanie konturów

Sztuczne agaty generowaliśmy za pomocą funkcji $r(\varphi) = \frac{1}{1+\alpha}(1 + \frac{\alpha}{1+\alpha} \sin(\beta\varphi)^2)$. Przykłady można zobaczyć na rysunkach 2, 3 i 4.

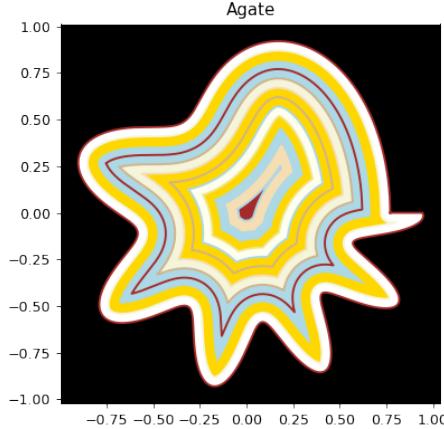
Rysunek 2: `evolve_agat(polar_curve(modulation = 0.3, freq = 2/3))`



Rysunek 3: `evolve_agat(polar_curve(modulation = 0.5, freq = 2/3))`



Rysunek 4: `evolve_agat(polar_curve(modulation = 0.3, freq = 1))`



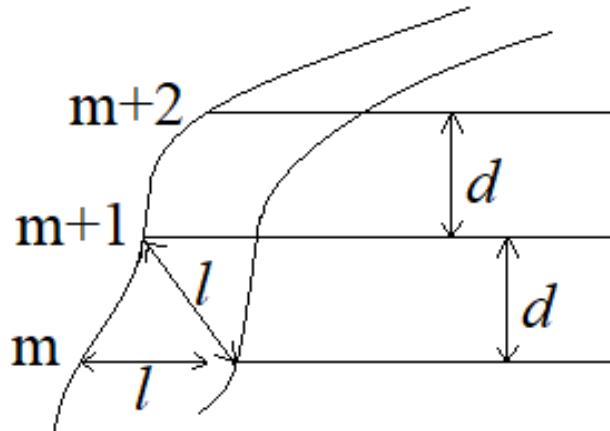
6 Model 3D

Rzeczywiste agaty należy traktować jak trójwymiarowe bryły — ewolucja dwuwymiarowych warstw odpowiada rzeczywiście jedynie w przypadku, gdy agat jest wystarczająco długi, a jego przekrój poprzeczny — wolno zmienny. Rozważmy dowolną zamkniętą, dwuwymiarową powierzchnię wypukłą Γ . W przybliżeniu możemy taką powierzchnię traktować jak zbiór dwuwymiarowych zamkniętych konturów będących kolejnymi przekrojami poprzecznymi danej powierzchni oddalonymi od siebie o pewną stałą odległość d . Przekroje takie można z kolei przybliżać wielokątami, jak w przypadku 2D. Pojedyncza warstwa trójwymiarowego agatu jest więc przechowywana w pamięci programu jako lista obiektów klasy `MultiPolygon`. Dodatkowo przechowywana jest odległość d między kolejnymi przekrojami poprzecznymi.

Funkcję generującą kolejną warstwę trójwymiarowego agatu stworzyliśmy w oparciu o dwuwymiarową wersję. Kluczowym było spostrzeżenie, że obszar o jaki urośnie dany przekrój poprzeczny jest sumą wkładów od jego własnego przyrostu i przyrostu sąsiednich przekrojów. Niech l będzie odległością o jaką narasta warstwa w pojedynczym kroku (`layer_width` w programie). Założymy, że w pamięci przechowywanych jest n przekrojów każdej warstwy numerowanych liczbami całkowitymi $0, 1, 2, \dots, n - 1$. Aby znaleźć kolejną warstwę należy znaleźć jej wszystkie przekroje. Wkład przekroju o numerze k danej warstwy do przekroju o tym samym numerze kolejnej warstwy wyznaczamy używając stosownej funkcji dla przypadku dwuwymiarowego. Wkład przekroju o numerze k do przekroju o numerze m wyznaczamy ewoluując przekrój k o odpowiednio zmniejszoną odległość l' . Przekroje o numerach k i m oddalone są od siebie o $D = |k - m| \cdot d$. Stąd jeśli punkt X należy do przekroju k to zbiór punktów leżących w przekroju m oddalonych od X o nie więcej niż l jest zbiorem punktów oddalonych od rzutu punktu X na płaszczyznę przekroju m o najwyższej

$\sqrt{l^2 - D^2}$ (sytuację tę ilustruje rysunek 5). Oznacza to, że biorąc $l' = \sqrt{l^2 - D^2}$ otrzymujemy odległość o jaką należy przeewoluować przekrój o numerze k (używając odpowiedniej funkcji z przypadku 2D) aby uzyskać wkład do przekroju o numerze m . Jeśli $l^2 - D^2 < 0$, to dwa przekroje są od siebie na tyle odległe, że żaden z nich nie ma wpływu na wzrost drugiego w pojedynczym kroku.

Rysunek 5: Wkłady od sąsiednich przekrojów



Pojedynczy krok ewolucji trójwymiarowej warstwy realizowany jest przez funkcję `make_new_layer_3D`. Funkcja ta przyjmuje następujące argumenty:

```
old_layer
    lista obiektów klasy MultiPolygon — przekroje warstwy, która ma być ewoluowana

layer_width
    głębokość narastania warstwy w jednym kroku

l_distance
    odległość między dwoma sąsiadującymi przekrojami
```

Funkcja ta zwraca obiekt `new_layer` — listę przekrojów nowej warstwy. Każdy z tych przekrojów uzyskiwany jest jako przecięcie odpowiednio przeewoluowanych sąsiednich przekrojów przy użyciu metody `intersection`, która zwraca przecięcie obiektu klasy `MultiPolygon` z innym obiektem tej klasy przekazywanym jako argument. Na bazie tej funkcji stworzona została funkcja `make_N_layers_3D`, która poprzez wielokrotne wywołanie funkcji `new_layer` tworzy N nowych warstw. Funkcja ta zwraca listę utworzonych warstw. Do wizualizacji wzrostu agatów służy funkcja `draw_crossection`, która rysuje przekrój o zadanym numerze agatu przekazywanego do funkcji jako lista warstw.

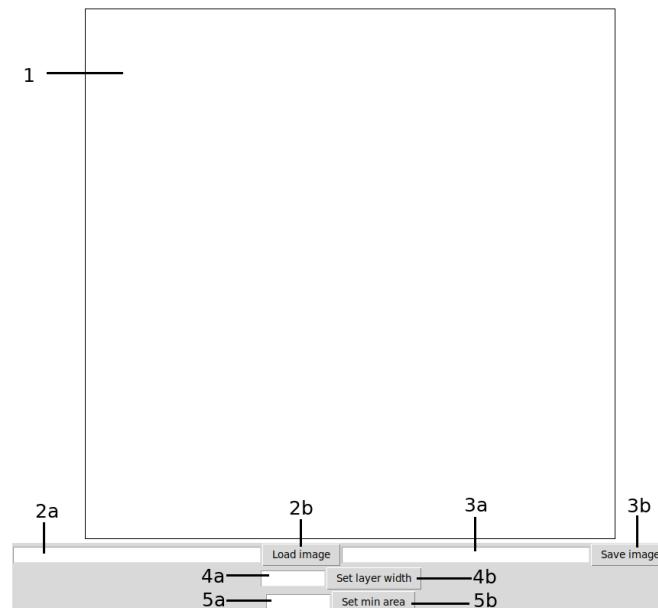
7 Interfejs użytkownika

7.1 Część 2D

Okno programu przedstawione jest na rysunku 6.

Rysunek 6: Okno programu - wersja 2D

Agate evolver

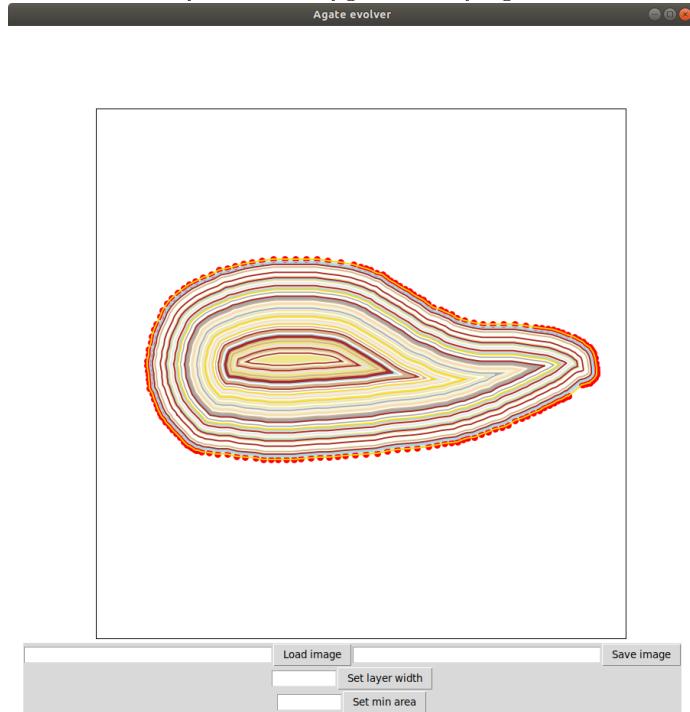


Składa się z następujących części:

1. Obszar rysowania

Użytkownik może zaznaczyć kontur agatu przytrzymując lewy przycisk myszy. W momencie puszczenia przycisku zostanie wygenerowany agat o zaznaczonym konturze. Gdy użytkownik zaczyna rysować nowy kontur, poprzedni rysunek jest usuwany. Przykład wygenerowanego agatu znajduje się na rysunku 7.

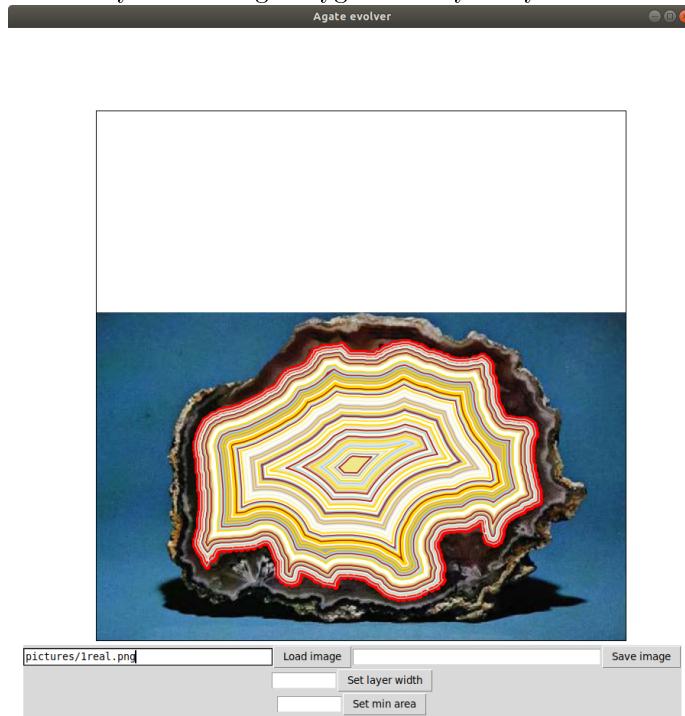
Rysunek 7: Wygenerowany agat



2. Wczytywanie obrazu

Program umożliwia wczytanie obrazu w celu porównania wyników modelu z prawdziwymi agatami. Należy podać w polu **2a** ścieżkę do pliku z obrazem w formacie PNG (można pominąć rozszerzenie), a następnie nacisnąć przycisk **2b**. Obraz zostanie wyświetlony w obszarze rysowania. Następnie można zaznaczyć w dowolnym miejscu kontur, a wygenerowany agat zostanie wyświetlony na wczytanym obrazie. Przykład takiego użycia znajduje się na rysunku 8.

Rysunek 8: Agat wygenerowany na rysunku



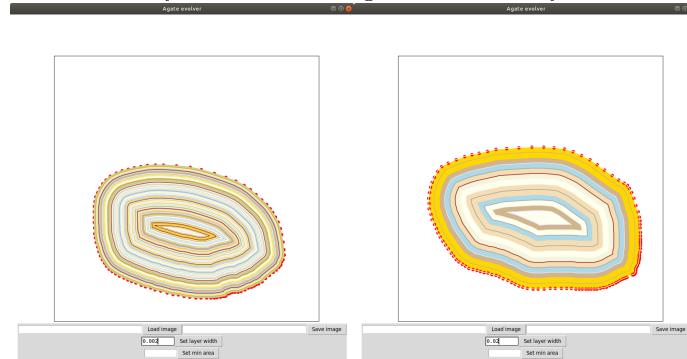
3. Zapisywanie obrazu

Wygenerowany agat można zapisać jako obraz PNG. W tym celu należy podać w polu **3a** nazwę wynikowego pliku, a następnie nacisnąć przycisk **3b**.

4. Grubość warstwy

Użytkownik może ustawić grubość warstwy generowanego agatu, wpisując wartość w polu **4a**, a następnie naciskając przycisk **4b** (dla odniesienia obszaru rysowania ma wymiary 1x1). Domyślna wartość: 0.005. Przykład dwóch różnych grubości znajduje się na rysunku 9.

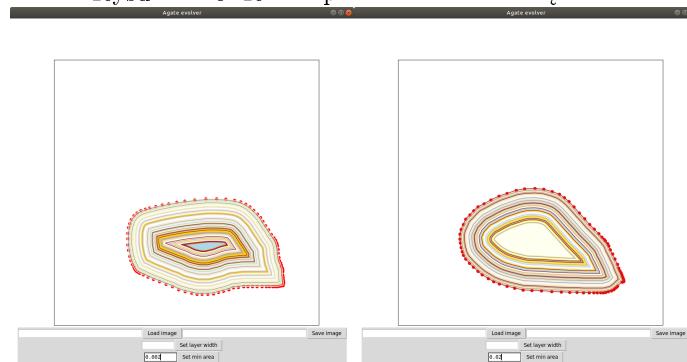
Rysunek 9: Różne grubości warstwy



5. Powierzchnia wewnętrzna

Użytkownik może ustawić minimalną powierzchnię, dla której będą generowane warstwy, wpisując wartość w polu **5a**, a następnie naciskając przycisk **5b** (dla odniesienia obszar rysowania ma wymiary 1x1). Domyślna wartość: 0.001. Parametr ten określa jak duża powinna być jednolita powierzchnia w środku generowanego agatu. Przykład dwóch różnych powierzchni znajduje się na rysunku 10.

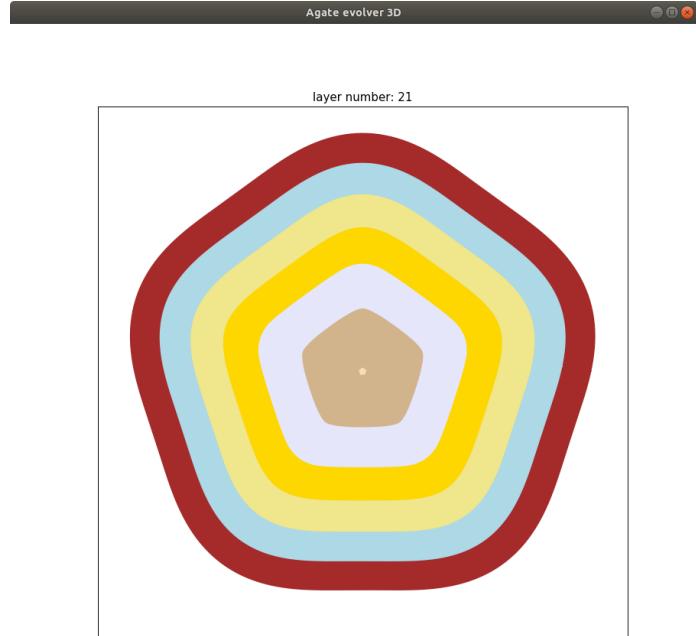
Rysunek 10: Różne powierzchnie wewnętrzne



7.2 Część 3D

Okno programu jest przedstawione na rysunku 11.

Rysunek 11: Okno programu - wersja 3D



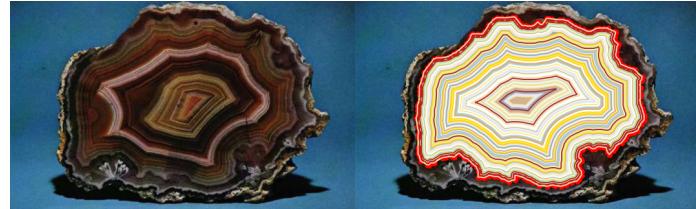
Zmieniać wyświetlaną warstwę można za pomocą kółka myszy.

8 Podsumowanie

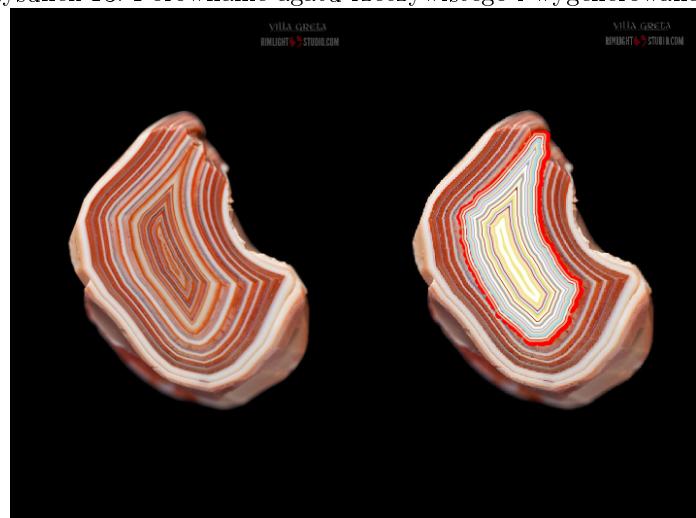
Mimo bardzo prostych założeń, warstwy wygenerowane w modelu 2D na podstawie konturów przekrojów prawdziwych agatów wyglądają realistycznie i w wielu przypadkach są bardzo podobne do rzeczywistych, co widać na rysunkach 12, 13, 14, 15 i 16. W sytuacjach, w których przewidywania modelu odbiegają od budowy agatu, różnice mogą mieć dwie główne przyczyny:

- Przekrój wykonano w pobliżu brzegu agatu, przez co warstwy narastające na nim spowodowały zmiany nieobejmowane przez model 2D
- Przestrzeń, którą agat wypełniał podczas powstawania, nie miała postaci pustej bańki, lecz zawierała wewnętrzne dodatkowe struktury, a jej przekrój nie był jednospójny, przez co warstwy narastały jednocześnie z wielu stron

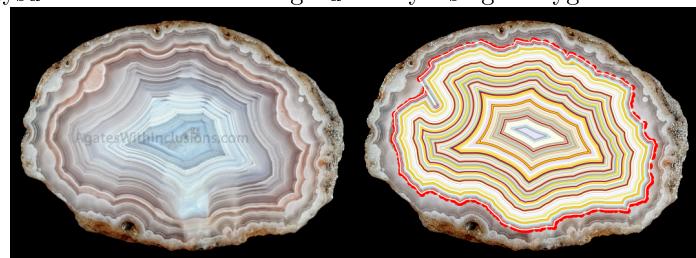
Rysunek 12: Porównanie agatu rzeczywistego i wygenerowanego



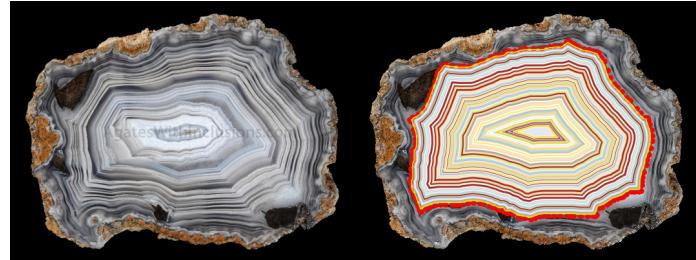
Rysunek 13: Porównanie agatu rzeczywistego i wygenerowanego



Rysunek 14: Porównanie agatu rzeczywistego i wygenerowanego



Rysunek 15: Porównanie agatu rzeczywistego i wygenerowanego



Rysunek 16: Porównanie agatu rzeczywistego i wygenerowanego

