

## Model ewolucyjny w oparciu o Geometryczny model Fishera (GMF)

### RAPORT

#### 1. Wstęp

Dynamika rozwoju populacji w środowisku naturalnym jest wypadkową wielu złożonych procesów, które w nim zachodzą. Pomimo nieustająco zachodzących zmian, często jesteśmy w stanie zaobserwować sukcesywną adaptację organizmów i populacji do nowych warunków. Jest to niezwykle proces, który sprawia, że przyroda nieustannie trwa i rozwija się, pomimo często niesprzyjających warunków.

#### 2. Cele projektu

Celem naszego zadania było wymodelowanie uproszczonego modelu ewolucji pewnej populacji, składającej się z osobników jednego gatunku, żyjącej w danym środowisku, a następnie przeprowadzenie analizy podstawowych własności ewolucyjno-adaptacyjnych populacji. W naszej pracy skupiliśmy się na odpowiedzi na następujące pytania:

- Przy danym scenariuszu zmian środowiskowych (np. ocieplenie klimatu) jakie jest optymalne prawdopodobieństwo wystąpienia losowej mutacji oraz efektu mutacji, które pozwalają na adaptację rozważanej populacji?
- Wizualizacja ewolucji populacji w czasie.
- Jak wpływa siła selekcji  $\sigma^2$  na adaptację populacji? Co dzieje się w przypadku braku selekcji  $\sigma \rightarrow \infty$ ?
- Jakie mutacje się propagują?

#### 3. Założenia modelu

Na cele projektu uprościliśmy pewne cechy i procesy zachodzące w środowisku naturalnym i przyjęliśmy następujące założenia modelu:

- każdy osobnik ma nieograniczony dostęp do pożywienia i miejsc lęgowych,
- osobniki podlegają jednakowym prawom i są równomiernie rozłożone w środowisku, żeby nie wystąpiła konieczność analizowania zależności od przestrzeni,
- populacja jest jednorodna i składa się z osobników rozmnażających się płciowo (brak crossing-over),
- płeć osobników jest losowana z prawdopodobieństwem równym 0,5
- osobniki posiadają 2 cechy, wartości cech są liczbami losowanymi z rozkładu normalnego. Średnią oraz wariancję zakresu cech są parametrami programu,
- genotyp osobnika jest złożeniem wartości cech
- osobnik rodzi się w pełni ukształtowany, zdolny do rozrodu i może rozmnażać się w dowolnym wieku,
- analizujemy proces rozmnażania, naturalnej selekcji oraz mutacji cech,
- momenty rozmnażania, selekcji populacji oraz mutacji są w dowolnym przedziale czasu rozłożone jednostajnie,
- każdy samica wydaje na świat potomstwo co  $\tau$  jednostek czasu,  $\tau$  jest ustalone i jednakowe dla wszystkich osobników;

- każdorazowo samica rodzi  $p$  potomstwa. Liczba  $p$  jest losowana z rozkładu Poissona z parametrem  $\lambda = 3$ ,
- dziedziczenie cech odbywa się losowo. Każda cecha od ojca i matki jest wybierana z prawdopodobieństwem  $p = 0.5$  i przekazywana dziecku. Cechy są dziedziczone niezależnie.
- prawdopodobieństwo zajścia mutacji dla każdej cechy osobnika jest ustalane jako parametr modelu
- w środowisku istnieje optymalny genotyp, który zmienia się w każdym pokoleniu, na jego zmianę ma wpływ ocieplenie klimatu, które powoduje wzrost wszystkich wartości cech optymalnego genotypu oraz uderzenie meteorytu, które jest wydarzeniem rzadkim
- każdy osobnik jest scharakteryzowany fenotypem w danym środowisku. Fenotyp organizmu opisuje funkcja fitness, parametryzowana optymalnym genotypem  $\alpha$ . Przykładem funkcji fitness jest funkcja gęstości rozkładu normalnego:

$$\phi_{\alpha}(o) = \exp\left(-\frac{\|o - \alpha\|^2}{2\sigma^2}\right)$$

$o$  wartościach w  $[0, 1]$ , gdzie wariancja  $\sigma$  odzwierciedla funkcję selekcji (dla  $\sigma \rightarrow \infty$  mechanizm selekcji zanika). W naszym modelu  $\sigma$  domyślnie wynosi 1.

#### 4. Parametry (cechy) modelu

Cechy populacji, które użytkownik wprowadza do modelu jako parametry:

- początkowa liczebność populacji, która jest jednocześnie pojemnością środowiska  $N$
- liczba cech genotypowych osobnika  $n$
- średnia wartość cechy losowanej przy tworzeniu osobnika
- wariancja wartości cechy losowanej przy tworzeniu osobnika, która wraz z średnią wartościują efekt mutacji
- prawdopodobieństwo wystąpienia losowej mutacji na pojedynczej cesze genotypowej  $\mu$
- siła mutacji
- proces ocieplenia klimatu (parametr ocieplenie - wartość: true/false)
- uderzenie meteorytu (parametr meteoryt - wartość: true/false)

#### 5. Kroki ewolucyjne modelu

Populacja ewoluuje w sposób iteracyjny. Każda iteracja składa się z czterech kroków ewolucyjnych:

- 1) mutacja - każdy osobnik w populacji ulega losowym mutacjom zgodnie z przyjętymi założeniami;
- 2) selekcja - każdy osobnik w populacji podlega selekcji w oparciu o jego miarę fitness ( $\phi_{\alpha}$  – dostarcza miary prawdopodobieństwa), a następnie jeśli rozmiar populacji przekracza  $N$  redukuje liczbę osobników do liczby  $N$ .
- 3) reprodukcja - każdy osobnik zgodnie z miarą fitness wprowadza osobników do następnego pokolenia;
- 4) zmiana środowiska - zmiana optymalnego genotypu, na którą składa się globalne ocieplenie oraz uderzenie meteorytu co  $T$  pokoleń. Użytkownik sam decyduje, który proces ma miejsce i kiedy uderza meteoryt. Są to parametry w programie.

## 6. Wyniki modelu

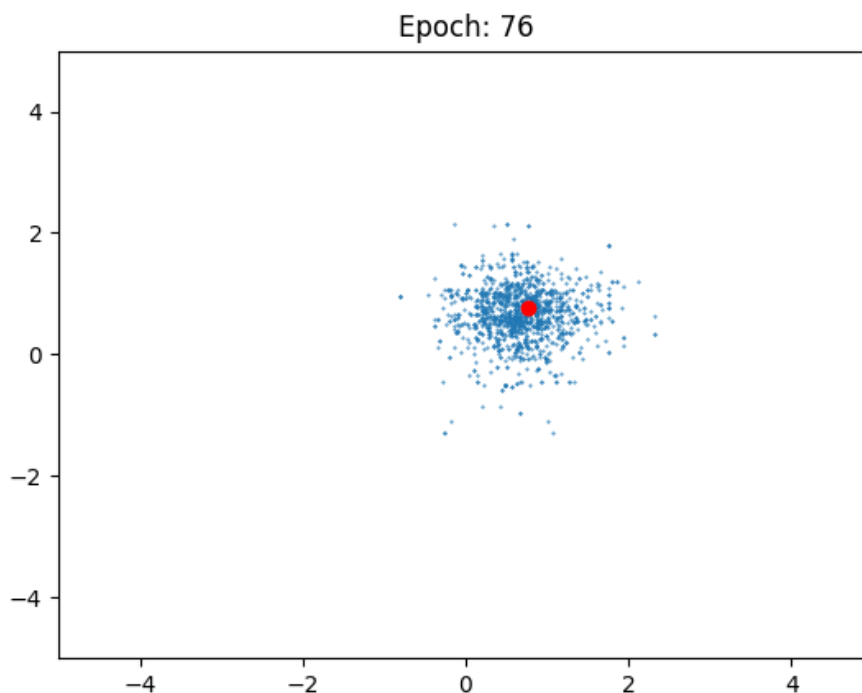
Wynikiem przeprowadzonej symulacji są następujące wykresy:

- 1) Wykres chmury populacyjnej z zaznaczonym na czerwono optymalnym genotypem, który można obejrzeć również w formie gifa.
- 2) Wykresy rozkładu liczebności populacji w czasie
- 3) Wykresy rozkładu wartości dla każdej cechy
- 4) Wykresy rozkładu wszystkich korzystnych mutacji oraz dalszych mutacji tychże mutacji. (UWAGA: tych wykresów jest bardzo dużo, aby je otrzymać należy zmienić wartość zmiennej `sledzenie_korzystnych` na `True` - na końcu programu)

## 7. Przykładowe wykresy oraz ich interpretacja

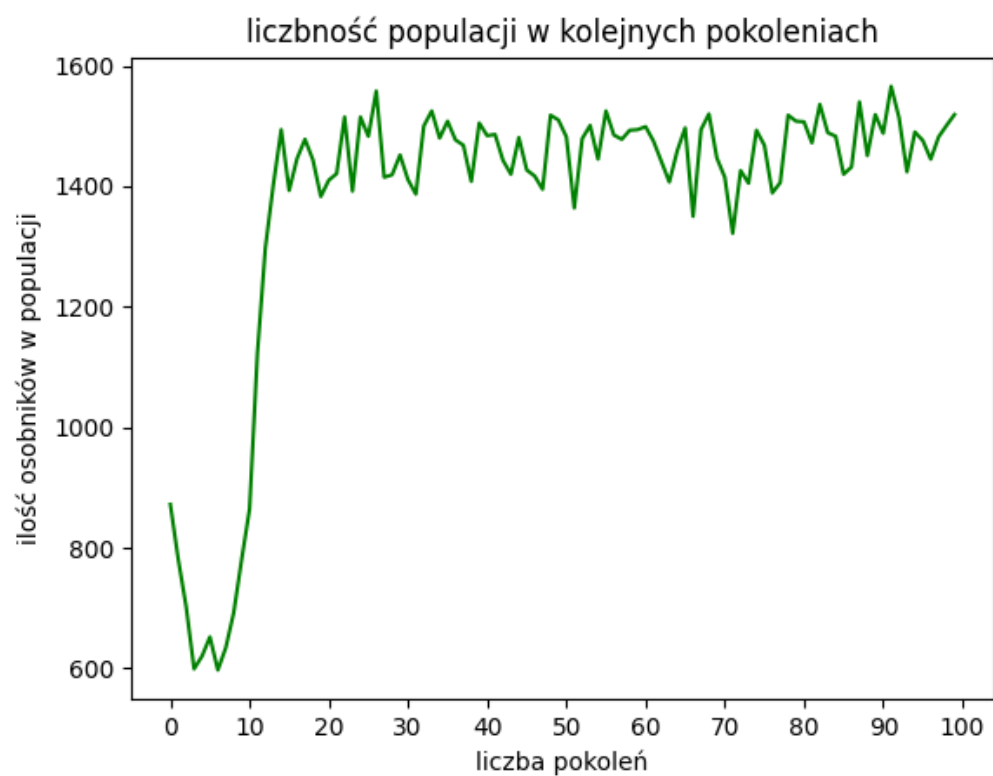
Przykładowe wykresy wymienione powyżej:

- 1) Wykres chmury populacyjnej - jako przykład klatka w 76 pokoleniu. W folderze umieściliśmy przykładowego gifa, powstającego na koniec symulacji. Jest to złożenie wszystkich klatek pokoleniowych w jednym pliku. Dzięki niemu można zaobserwować, w którą stronę przemieszcza się chmura populacyjna, jak zmienia się jej liczebność oraz obserwować jej położenie względem optymalnego genotypu.

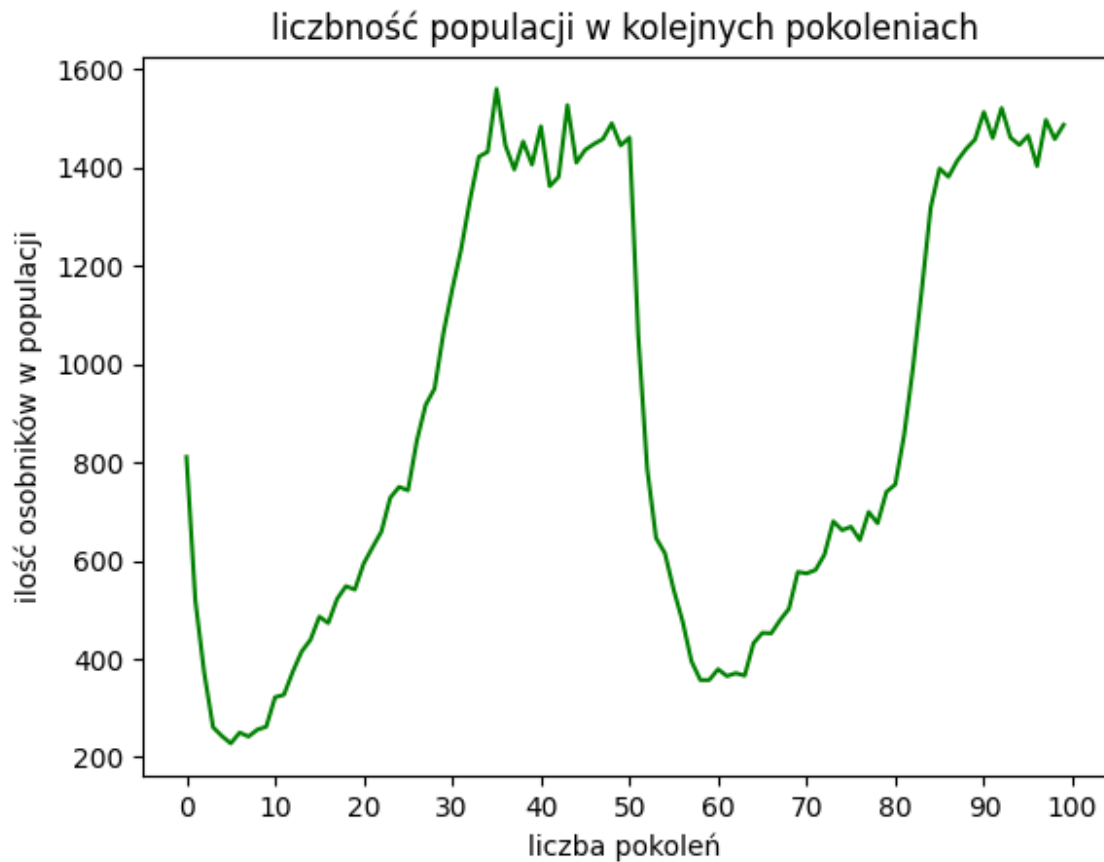


- 2) Wykresy rozkładu liczebności populacji w czasie - jest to nieskomplikowany, liniowy wykres rozkładu liczebności populacji w czasie. Populacja nigdy nie przekracza pojemności środowiska, wprowadzanej przez użytkownika jako parametr. Pierwszy wykres odzwierciedla sytuację, podczas procesu ocieplenia klimatu, drugi pokazuje uderzenie meteorytu. Widać na nim wyraźnie nagły spadek wielkości populacji, a następnie stopniowe jej odrodzenie

Wykres liczebności populacji w sytuacji stopniowego ocieplania klimatu:.

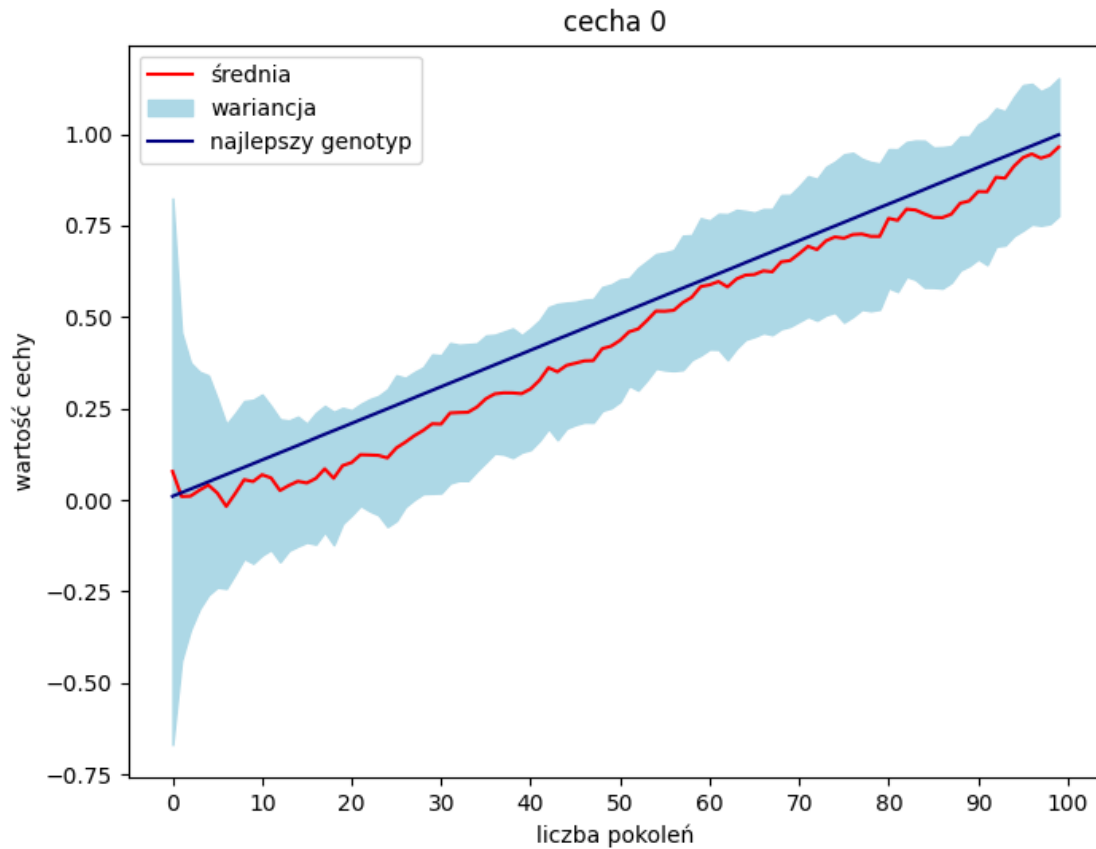


Wykres liczebności populacji w sytuacji uderzenia meteorytu - w 50 pokoleniu:

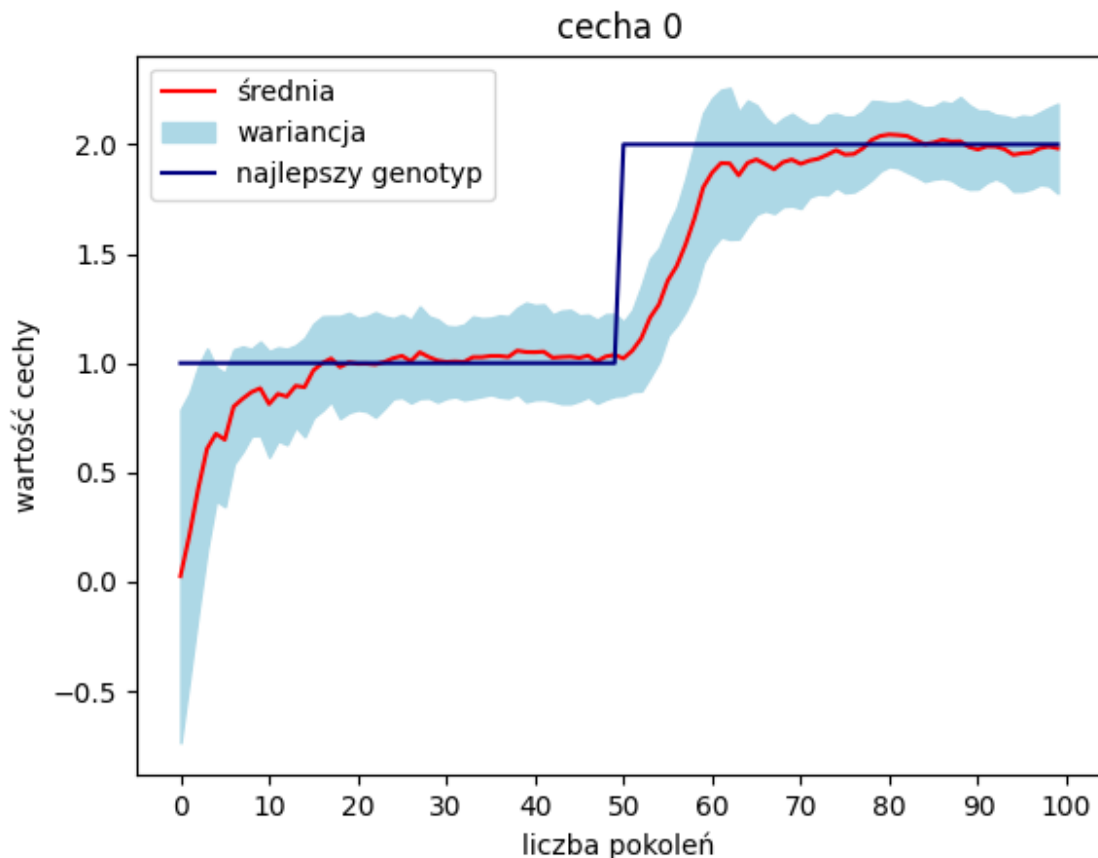


3) Wykresy rozkładu wartości dla każdej cechy.

Wykres przedstawia zmianę wartości cechy w trakcie trwania symulacji. Niebieska chmura oznacza wariancję jej wartości, a czerwona linia pokazuje jej średnią wartość. Niebieska linia definiuje optymalny (najlepszy) genotyp w środowisku. Na pierwszym wykresie przedstawiona jest sytuacja ocieplenia klimatu, dlatego genotyp zgodnie z naszym założeniem, liniowo wzrasta z pokolenia na pokolenie. Średnia wartość cechy dąży do osiągnięcia wartości najlepszego genotypu.



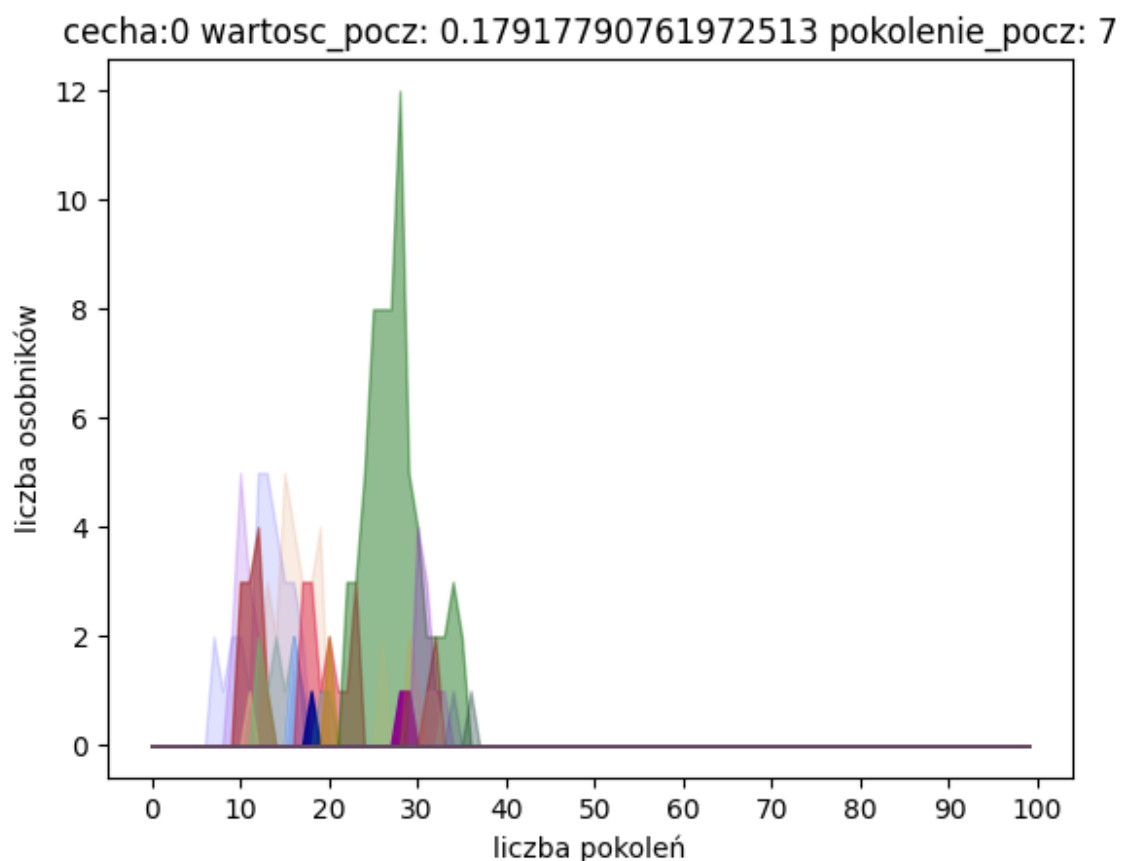
Wykres zamieszczony poniżej przedstawia sytuację uderzenia meteorytu w 50 pokoleniu. Widać nagły i gwałtowny skok wartości optymalnego genotypu. Widać również ładny trend dążenia wartości cech do osiągnięcia wartości bliskich wartości najlepszego genotypu. Na stosunkowo niewielkiej przestrzeni liczby pokoleń wartość cechy ponownie osiąga wartości zbliżone do optymalnej.



#### 4) Wykresy rozkładu korzystnych mutacji.

Ostatni typ wykresu przedstawia zachowanie się korzystnych mutacji w środowisku oraz ich losy, aż do ich wyginięcia z populacji. Tych wykresów na koniec symulacji jest bardzo dużo, ponieważ są one rysowane dla każdej korzystnej mutacji w obu cechach. W tytule wykresu mamy wyszczególnione, której cechy dotyczy mutacja, jaka była jej wartość początkowa oraz w jakim pokoleniu się zaczęła. Na osi pionowej przedstawiona jest liczba osobników, która w populacji posiadała daną korzystną mutację. Im zmiana mutacyjna jest większa, tym kolor jest bardziej przezroczysty. Zmiana mutacyjna to wartość bezwzględna z wartości zmiany, w przypadku gdy zmiana jest większa niż 1, to wartość zmiany wynosi 1. Każdy kolejny kolor oznacza nową, korzystną mutację poprzedniej korzystnej mutacji.

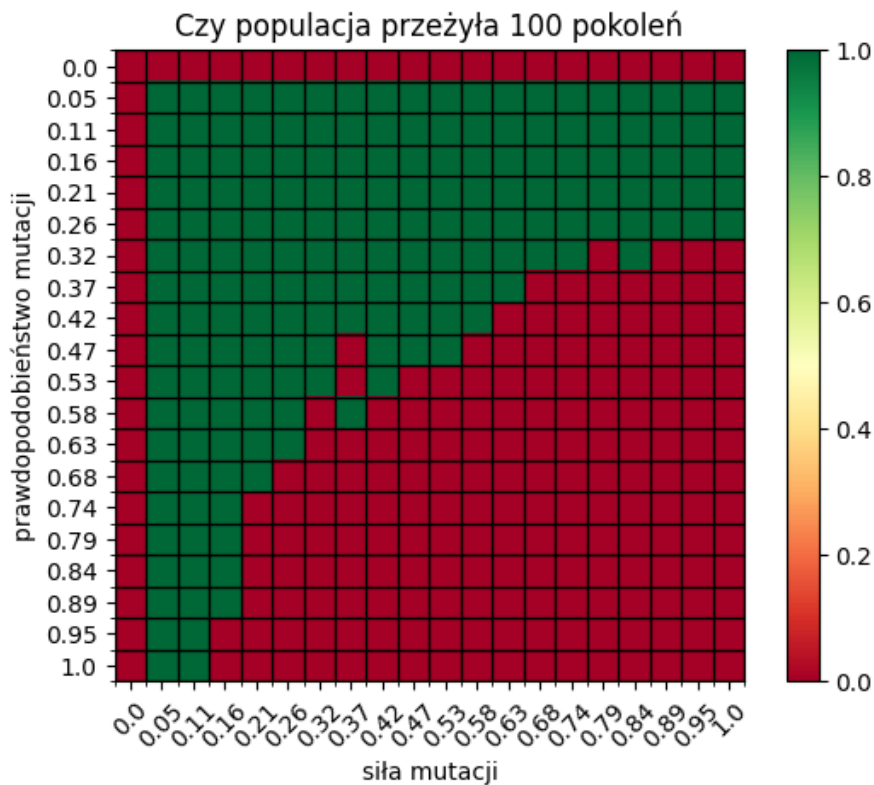
Z tego wykresu możemy dowiedzieć się, w którym pokoleniu powstała korzystna mutacja oraz obserwować jej losy w trakcie trwania populacji - jak bardzo mutowała dalej, ile osobników dotknęła oraz, w którym pokoleniu wyginęła z populacji.



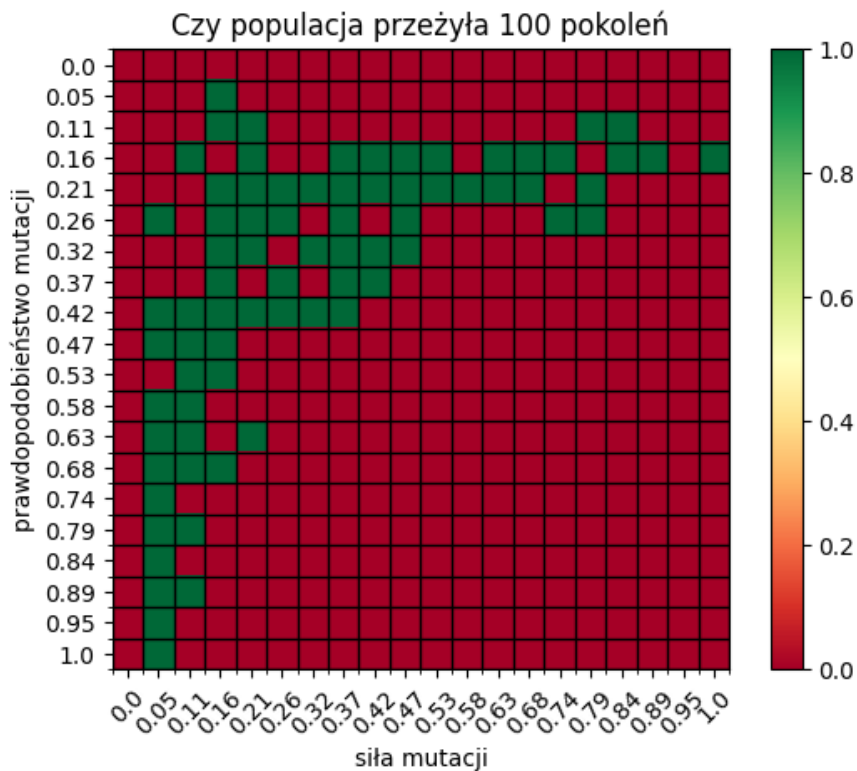
## 8. Wnioski

Zgodnie z przewidywaniami i założeniami modelu dostajemy sytuację, którą dobrze podsumowuje wykres zamieszczony poniżej. Schemat przedstawia zależność siły mutacji od prawdopodobieństwa przeżycia populacji. Podczas globalnego ocieplenia (na wykresie analizujemy sytuację, w której z każdym pokoleniem optymalny genotyp zwiększa się o 0.02), gdy prawdopodobieństwo mutacji jest duże to preferowane są słabe mutacje, a jeśli prawdopodobieństwo jest mniejsze, to przeżywają tylko te osobniki, które posiadają silniejsze mutacje.





Drugi schemat również przedstawia zależność siły mutacji od prawdopodobieństwa przeżycia populacji, ale tym razem podczas uderzenia meteorytu. Tu widać, że albo populacja musi mieć dużą szansę na małe mutacje albo małą szansę na dużą mutację która pozwoli jej nadgonić po gwałtownej zmianie warunków środowiska, jaką jest uderzenie meteorytu.



Ciekawym zagadnieniem jest również, jak siła selekcji  $\sigma^2$  wpływa na adaptację populacji.

Siła selekcji ma ogromny wpływ na rozwój populacji. W procesie selekcji naturalnej, organizmy najlepiej przystosowane do warunków środowiskowych mają większe szanse na przetrwanie i rozmnażanie się, co prowadzi do przekazywania korzystnych cech genetycznych na kolejne pokolenia.

Jeśli siła selekcji jest duża, to organizmy, które nie są wystarczająco przystosowane do swojego środowiska, będą miały mniejsze szanse na przetrwanie i rozmnażanie się. Te, które posiadają korzystne cechy przystosowawcze, mają duże szanse na przetrwanie i reprodukcję, co prowadzi do przekazywania tych cech na przyszłe pokolenia i rozwój całej populacji.

Z czasem, gdy korzystne cechy genetyczne stają się bardziej powszechne w populacji, populacja staje się bardziej dostosowana do swojego środowiska, co zwiększa jej szanse na przetrwanie i rozwój. W ten sposób, siła selekcji przyczynia się do ewolucji organizmów i adaptację populacji do swojego środowiska.