

# 1. Model Sznajdów

## Opis i reguły modelu

Model Sznajdów jest matematycznym modelem, dzięki któremu można zbadać formowanie się i dynamikę opinii w populacji.

Model Sznajdów może być symulowany na sieciach o różnych rozmiarach. Symulacje opisane w sprawozdaniu zostały przeprowadzone na wstępnej implementacji modelu, w wersji sieci 2D. Model Sznajdów 2D opiera się na kilku regułach:

1. Każdy aktor (komórka) sieci przyjmuje jedną z dwóch możliwych opinii: 1 („na tak”) lub -1 („na nie”).
2. Na sieci zostają losowo wybierani dwaj sąsiadujący ze sobą aktorzy (poziomo z sąsiadem lewo/prawo lub pionowo z sąsiadem góra/dół).
3. Jeśli para aktorów ma tę samą opinię, przekonują oni sześciu swoich najbliższych sąsiadów.
4. Jeśli komórki nie są zgodne, sieć pozostaje bez zmian.

Zasady odzwierciedlają założenie, że ludzie są bardziej skłonni przyjmować opinie, które są akceptowane wśród ich najbliższych sąsiadów, a tak zbudowana sieć może wskazać także interesujące zachowania zbiorowe.

Każda sieć po dostatecznie dużym czasie kończy działanie z uzgodnieniem wszystkich komórek „na tak” lub „na nie”. Im większy rozmiar sieci, tym dłuższy czas na osiągnięcie zgody. Początkowa liczba oraz rozmieszczenie komórek „na tak” decyduje, czy na końcu dojdziemy do pełnej zgody, czy niezgody.

Do implementacji sieci użytej do symulacji modelu użyto języka programowania Python oraz biblioteki *numpy* dla wydajniejszego i czytelniejszego rozwiązania. Wykresy stworzono przy użyciu biblioteki *matplotlib*.

## Zadanie 1

### Opis

Utworzona została sieć, w tym przypadku o rozmiarach  $10 \times 10$ , z uwzględnieniem warunków brzegowych. Opinie aktorów w układzie dla każdej pojedynczej symulacji są losowe, a gęstość aktorów „na tak” i „na nie” jest taka sama, czyli 50:50.

Eksperyment miał na celu prześledzenie czasowej ewolucji układu od chwili początkowej  $t = 0$ . Kończy się on po 10 skutecznej próbie wylosowania uzgodnionej pary aktorów, gdzie przy każdym takim wyborze wypisywane są współrzędne wylosowanej pary w postaci (*wiersz, kolumna*) i aktualny stan całej sieci.

W załączonym pliku źródłowym do zadania *zad1.py* zostało opisane działanie kodu.

## Wyniki symulacji

Przykładowy wynik symulacji, w zależności od rozmieszczenia aktorów i losowań kończy się szybciej (np. po 31 iteracjach) lub wolniej (np. po 138 iteracjach).

Gęstość początkowa 1: 50

[[ -1 -1 1 -1 -1 1 1 1 1 1 ]]

[ 1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 ]

[ -1 -1 1 -1 -1 1 1 1 1 -1 ]

[ -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 ]

[ -1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 1 1 ]

[ 1 -1 1 1 -1 1 1 1 1 1 ]

[ -1 -1 1 1 -1 1 -1 -1 -1 -1 ]

[ 1 -1 -1 1 -1 1 1 1 -1 -1 ]

[ -1 -1 -1 1 -1 1 1 1 1 -1 ]

[ -1 1 1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 ]]

Wartość uzgodnionej pary: 1

Współrzędne wylosowanych elementów:

el1: (8, 3), el2: (7, 3)

Gęstość początkowa 1: 54

[[ -1 -1 1 -1 -1 1 1 1 1 1 ]]

[ 1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 ]

[ -1 -1 1 -1 -1 1 1 1 1 -1 ]

[ -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 ]

[ -1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 1 1 ]

[ 1 -1 1 1 -1 1 1 1 1 1 ]

[ -1 -1 1 1 -1 1 -1 -1 -1 -1 ]

[ 1 -1 1 1 1 1 1 1 -1 -1 ]

[ -1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1 ]

[ -1 1 1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 ]]

Wartość uzgodnionej pary: 1

Współrzędne wylosowanych elementów:

el1: (5, 3), el2: (6, 3)

Gęstość początkowa 1: 57

[[ -1 -1 1 -1 -1 1 1 1 1 1 ]]

[ 1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 ]

[ -1 -1 1 -1 -1 1 1 1 1 -1 ]

[ -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 ]

[ -1 1 -1 1 -1 1 -1 -1 1 1 ]

[ 1 -1 1 1 1 1 1 1 1 1 ]

[ -1 -1 1 1 1 1 -1 -1 -1 -1 ]

[ 1 -1 1 1 1 1 1 1 -1 -1 ]

[ -1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1 ]

[ -1 1 1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 ]]

Wartość uzgodnionej pary: -1

Współrzędne wylosowanych elementów:

el1: (6, 9), el2: (7, 9)

Gęstość początkowa 1: 55

[[ -1 -1 1 -1 -1 1 1 1 1 ]]

[ 1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 ]

[ -1 -1 1 -1 -1 1 1 1 1 -1 ]

[ -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 ]

[ -1 1 -1 1 -1 1 -1 -1 1 1 ]

[ 1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1 ]

[ -1 -1 1 1 1 1 1 -1 -1 -1 ]

[ -1 -1 1 1 1 1 1 1 -1 -1 ]

[ -1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1 ]

[ -1 1 1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 ]]

Wartość uzgodnionej pary: 1

Współrzędne wylosowanych elementów:

el1: (6, 5), el2: (7, 5)

Gęstość początkowa 1: 56

[[ -1 -1 1 -1 -1 1 1 1 1 1 ]]

[ 1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 ]

[ -1 -1 1 -1 -1 1 1 1 1 -1 ]

[ -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 ]

[ -1 1 -1 1 -1 1 -1 -1 1 1 ]

[ 1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1 ]

[ -1 -1 1 1 1 1 1 -1 -1 -1 ]

[ -1 -1 1 1 1 1 1 1 -1 -1 ]

[ -1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1 ]

[ -1 1 1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 ]

Wartość uzgodnionej pary: -1

Współrzędne wylosowanych elementów:

el1: (1, 6), el2: (1, 5)

Gęstość początkowa 1: 51

[[ -1 -1 1 -1 -1 -1 1 1 1 ]]

[ 1 1 1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 ]

[ -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 -1 ]

[ -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 ]

[ -1 1 -1 1 -1 1 -1 -1 1 1 ]

[ 1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1 ]

[ -1 -1 1 1 1 1 1 -1 -1 -1 ]

[ -1 -1 1 1 1 1 1 1 -1 -1 ]

[ -1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1 ]

[ -1 1 1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 ]

Wartość uzgodnionej pary: 1

Współrzędne wylosowanych elementów:

el1: (8, 2), el2: (9, 2)

Gęstość początkowa 1: 52

[-1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 1]

[ 1 1 1 1 -1 -1 -1 -1 1 1]

[-1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 -1]

[-1 -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 -1 -1]

[-1 1 -1 1 -1 1 -1 -1 1 1]

[ 1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1]

[-1 -1 1 1 1 1 1 -1 -1 -1]

[-1 -1 1 1 1 1 1 1 -1 -1]

[-1 1 1 1 1 1 1 1 1 -1]

[-1 1 1 1 -1 1 -1 -1 1 -1]]

Wartość uzgodnionej pary: -1

Współrzędne wylosowanych elementów:

el1: (7, 1), el2: (6, 1)

Gęstość początkowa 1: 49

[-1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 1]

[ 1 1 1 1 -1 -1 -1 -1 1 1]

[-1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 -1]

[-1 -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 -1 -1]

[-1 1 -1 1 -1 1 -1 -1 -1 1 1]

[ 1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1]

[-1 -1 -1 1 1 1 1 1 -1 -1 -1]

[-1 -1 -1 1 1 1 1 1 1 -1 -1]

[-1 -1 1 1 1 1 1 1 1 1 -1]

[-1 1 1 1 -1 1 -1 -1 1 -1]]

Wartość uzgodnionej pary: 1

Współrzędne wylosowanych elementów:

el1: (8, 6), el2: (8, 5)

Gęstość początkowa 1: 50

[[ -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 ]]

[ 1 1 1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 ]

[ -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 -1 ]

[ -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 ]

[ -1 1 -1 1 -1 1 -1 -1 1 1 ]

[ 1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1 ]

[ -1 -1 -1 1 1 1 1 -1 -1 -1 ]

[ -1 -1 -1 1 1 1 1 1 -1 -1 ]

[ -1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1 ]

[ -1 1 1 1 -1 1 1 -1 1 -1 ]]

Wartość uzgodnionej pary: 1

Współrzędne wylosowanych elementów:

el1: (5, 3), el2: (6, 3)

Gęstość początkowa 1: 51

[[ -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 ]]

[ 1 1 1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 ]

[ -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 -1 ]

[ -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 -1 -1 ]

[ -1 1 -1 1 -1 1 -1 -1 -1 1 1 ]

[ 1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1 ]

[ -1 -1 1 1 1 1 1 -1 -1 -1 ]

[ -1 -1 -1 1 1 1 1 1 -1 -1 ]

[ -1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1 ]

[ -1 1 1 1 -1 1 1 -1 1 -1 ]]

Wartość uzgodnionej pary: -1

Współrzędne wylosowanych elementów:

el1: (1, 4), el2: (1, 5)

Gęstość początkowa 1: 50

```
[[ -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 ]]  
[ 1 1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 ]  
[ -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 -1 ]  
[ -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 ]  
[ -1 1 -1 1 -1 1 -1 -1 1 1 ]  
[ 1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1 ]  
[ -1 -1 1 1 1 1 1 1 -1 -1 ]  
[ -1 -1 -1 1 1 1 1 1 -1 -1 ]  
[ -1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1 ]  
[ -1 1 1 1 -1 1 1 -1 1 -1 ]]
```

Wartość uzgodnionej pary: 1

Współrzędne wylosowanych elementów:

el1: (0, 2), el2: (1, 2)

Gęstość początkowa 1: 53

```
[[ -1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 1 ]]  
[ 1 1 1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 ]  
[ -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 -1 ]  
[ -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 -1 ]  
[ -1 1 -1 1 -1 1 -1 -1 1 1 ]  
[ 1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1 ]  
[ -1 -1 1 1 1 1 1 -1 -1 -1 ]  
[ -1 -1 -1 1 1 1 1 1 -1 -1 ]  
[ -1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1 ]  
[ -1 1 1 1 -1 1 1 -1 1 -1 ]]
```

Wartość uzgodnionej pary: 1

Współrzędne wylosowanych elementów:

el1: (0, 8), el2: (0, 9)

Gęstość początkowa 1: 55

```
[[ 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 1 ]]
```

```
[ 1 1 1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 ]  
[-1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 -1]  
[-1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1]  
[-1 1 -1 1 -1 1 -1 -1 1 1 ]  
[ 1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1]  
[-1 -1 1 1 1 1 1 -1 -1 -1]  
[-1 -1 -1 1 1 1 1 1 -1 -1]  
[-1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1]  
[-1 1 1 1 -1 1 1 -1 1 1 ]]
```

Wartość uzgodnionej pary: 1

Współrzędne wylosowanych elementów:

el1: (5, 4), el2: (5, 5)

Gęstość początkowa 1: 56

```
[[ 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 1 ]]  
[ 1 1 1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 ]  
[-1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 -1]  
[-1 -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 -1 -1]  
[-1 1 -1 1 1 1 -1 -1 1 1 ]  
[ 1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1]  
[-1 -1 1 1 1 1 1 -1 -1 -1]  
[-1 -1 -1 1 1 1 1 1 1 -1 -1]  
[-1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1]  
[-1 1 1 1 -1 1 1 -1 1 1 ]]
```

Wartość uzgodnionej pary: 1

Współrzędne wylosowanych elementów:

el1: (1, 3), el2: (0, 3)

Gęstość początkowa 1: 59

```
[[ 1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 1 ]]  
[ 1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 ]
```

[-1 -1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 1 -1]

[-1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 -1]

[-1 1 -1 1 1 1 -1 -1 1 1 1]

[ 1 -1 1 1 1 1 1 1 1 1 -1]

[-1 -1 1 1 1 1 1 1 -1 -1 -1]

[-1 -1 -1 1 1 1 1 1 1 -1 -1]

[-1 -1 1 1 1 1 1 1 1 1 -1]

[-1 1 1 1 -1 1 1 -1 1 1]

Wartość uzgodnionej pary: 1

Współrzędne wylosowanych elementów:

el1: (8, 7), el2: (8, 6)

Gęstość początkowa 1: 60

[[ 1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 1 ]]

[ 1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 ]

[-1 -1 1 1 -1 -1 -1 1 1 -1]

[-1 -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 -1]

[-1 1 -1 1 1 1 -1 -1 1 1 ]

[ 1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1 ]

[-1 -1 1 1 1 1 1 1 -1 -1]

[-1 -1 -1 1 1 1 1 1 1 -1]

[-1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1]

[-1 1 1 1 1 1 1 1 1 -1]

[-1 1 1 1 -1 1 1 1 1 1 ]]

Wartość uzgodnionej pary: -1

Współrzędne wylosowanych elementów:

el1: (2, 9), el2: (2, 0)

Gęstość początkowa 1: 57

[[ 1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 1 ]]

[-1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 -1 ]

[-1 -1 1 1 -1 -1 -1 -1 1 -1 ]

[-1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1]

[-1 1 -1 1 1 1 -1 -1 1 1]

[ 1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1]

[-1 -1 1 1 1 1 1 -1 -1 -1]

[-1 -1 -1 1 1 1 1 1 -1 -1]

[-1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1]

[-1 1 1 1 -1 1 1 1 1 1]

Wartość uzgodnionej pary: 1

Współrzędne wylosowanych elementów:

el1: (5, 3), el2: (5, 2)

Gęstość początkowa 1: 59

[[ 1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 1]

[-1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 -1]

[-1 -1 1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1]

[-1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1]

[-1 1 1 1 1 1 -1 -1 1 1]

[ 1 1 1 1 1 1 1 1 1 -1]

[-1 -1 1 1 1 1 1 -1 -1 -1]

[-1 -1 -1 1 1 1 1 1 -1 -1]

[-1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1]

[-1 1 1 1 -1 1 1 1 1 1]

Wartość uzgodnionej pary: 1

Współrzędne wylosowanych elementów:

el1: (5, 6), el2: (5, 5)

Gęstość początkowa 1: 60

[[ 1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 1]

[-1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 -1]

[-1 -1 1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1]

[-1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1]

[-1 1 1 1 1 1 1 -1 1 1]

[ 1 1 1 1 1 1 1 1 1 -1]

[-1 -1 1 1 1 1 1 -1 -1 -1]

[-1 -1 -1 1 1 1 1 1 1 -1 -1]

[-1 -1 1 1 1 1 1 1 1 1 -1]

[-1 1 1 1 -1 1 1 1 1 1 1]]

Wartość uzgodnionej pary: 1

Współrzędne wylosowanych elementów:

el1: (8, 5), el2: (8, 6)

Gęstość początkowa 1: 60

[[ 1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 1]

[-1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 -1]

[-1 -1 1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1]

[-1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1]

[-1 1 1 1 1 1 1 -1 1 1]

[ 1 1 1 1 1 1 1 1 1 -1]

[-1 -1 1 1 1 1 1 -1 -1 -1]

[-1 -1 -1 1 1 1 1 1 1 -1 -1]

[-1 -1 1 1 1 1 1 1 1 1 -1]

[-1 1 1 1 -1 1 1 1 1 1 1]]

Wartość uzgodnionej pary: 1

Współrzędne wylosowanych elementów:

el1: (5, 2), el2: (6, 2)

Gęstość początkowa 1: 62

[[ 1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 1]

[-1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 -1]

[-1 -1 1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1]

[-1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1]

[-1 1 1 1 1 1 1 -1 1 1]

[ 1 1 1 1 1 1 1 1 1 -1]  
[-1 1 1 1 1 1 1 -1 -1 -1]  
[-1 -1 1 1 1 1 1 1 -1 -1]  
[-1 -1 1 1 1 1 1 1 1 1 -1]  
[-1 1 1 1 -1 1 1 1 1 1 ]]

Wartość uzgodnionej pary: -1

Współrzędne wylosowanych elementów:

el1: (6, 9), el2: (6, 0)

Gęstość początkowa 1: 60

[[ 1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 1 ]]  
[-1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 -1 ]  
[-1 -1 1 1 -1 -1 -1 -1 1 -1 ]  
[-1 -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 -1 ]  
[-1 1 1 1 1 1 1 -1 1 1 ]  
[-1 1 1 1 1 1 1 1 1 -1 ]  
[-1 -1 1 1 1 1 1 1 -1 -1 ]  
[-1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1 ]  
[-1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1 ]  
[-1 1 1 1 -1 1 1 1 1 1 ]]

Wartość uzgodnionej pary: 1

Współrzędne wylosowanych elementów:

el1: (8, 6), el2: (7, 6)

Gęstość początkowa 1: 60

[[ 1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 1 ]]  
[-1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 -1 ]  
[-1 -1 1 1 -1 -1 -1 -1 1 -1 ]  
[-1 -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 -1 ]  
[-1 1 1 1 1 1 1 -1 1 1 ]  
[-1 1 1 1 1 1 1 1 1 -1 ]]

[-1 -1 1 1 1 1 1 -1 -1 -1]

[-1 -1 1 1 1 1 1 1 -1 -1]

[-1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1]

[-1 1 1 1 -1 1 1 1 1 1]]

-----

Czas symulacji: 31 iteracji

## Zadanie 2

### Opis

Dla zwiększonej sieci  $40 \times 40$ , z nadal losowo rozrzuconymi aktorami, prześledzone zostają symulacje dla kolejnych  $\rho_0 = (0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 0.9)$  w celu zbadania ewolucji aktorów „na tak”: zmian ich gęstości w czasie trwania całej symulacji.

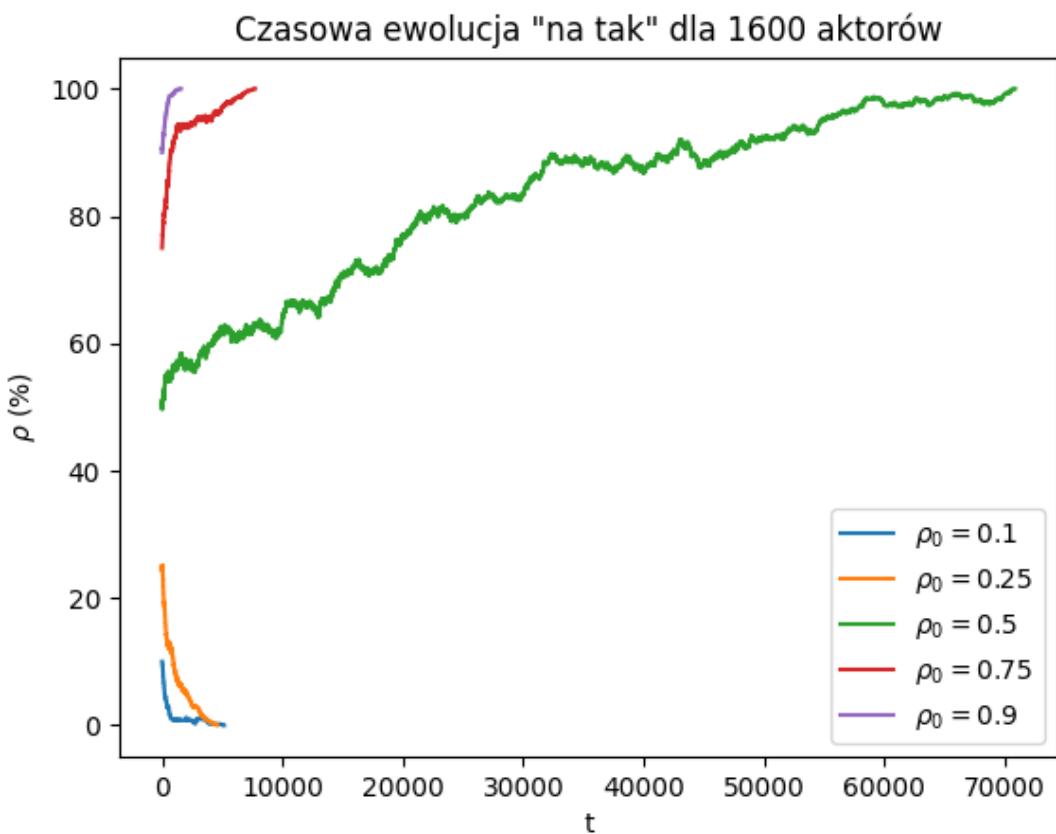
W załączonym pliku źródłowym do zadania *zad2.py* zostało opisane działanie kodu.

### Wyniki symulacji

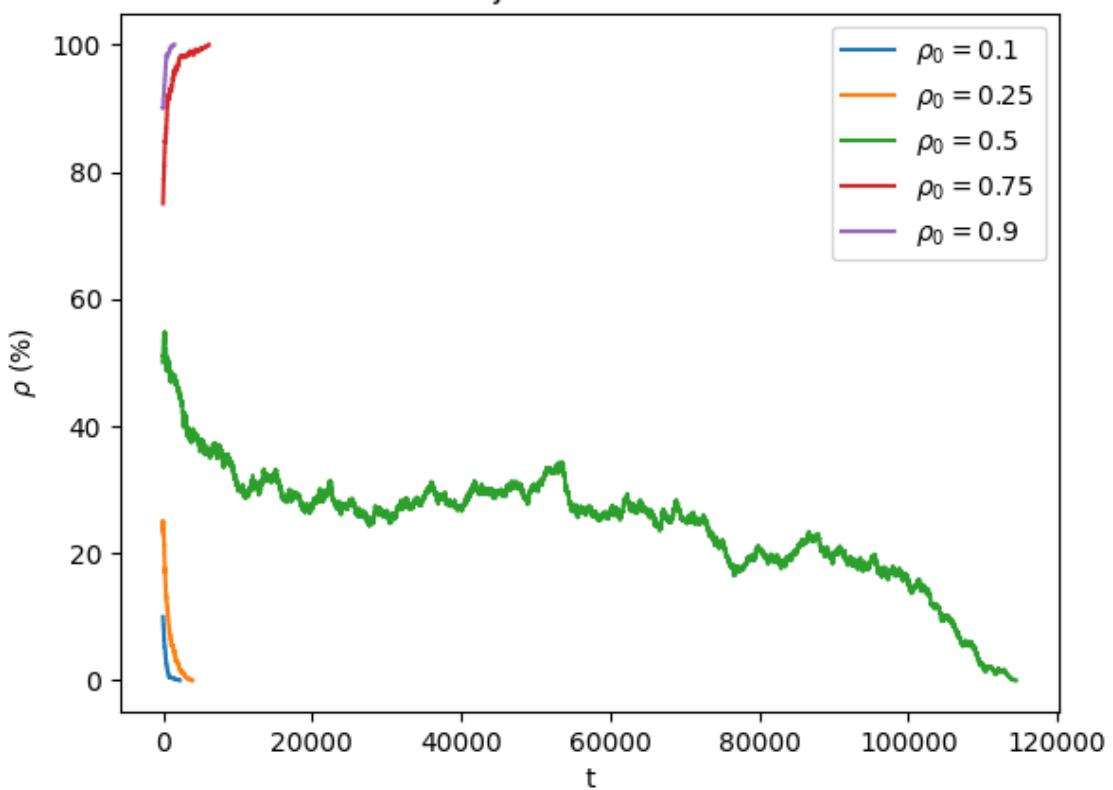
Po prześledzeniu kilku takich symulacji można zauważyc, że sieci z dużym udziałem aktorów „na tak” ( $\rho_0 = 0.9$ ) i „na nie” ( $\rho_0 = 0.1$ ) kończą się średnio najszybciej. W przypadku  $\rho_0 = (0.25, 0.5, 0.75)$  czas ten w zależności od rozłożenia aktorów na sieci i ich losowaniu nie różni się diametralnie od wcześniej opisanych i także dochodzi do przewidywanego konsensusu. Zdarzają się jednak przypadki, gdzie czas na osiągnięcie konsensusu jest dłuższy.

Najciekawsze wyniki osiąga sieć  $\rho_0 = 0.5$ , gdzie widoczna jest „walka” między dwiema frakcjami aktorów. Tutaj można zauważyc różne fluktuacje na przestrzeni trwania symulacji i kończy się ona w różny sposób albo „na tak”, albo „na nie”.

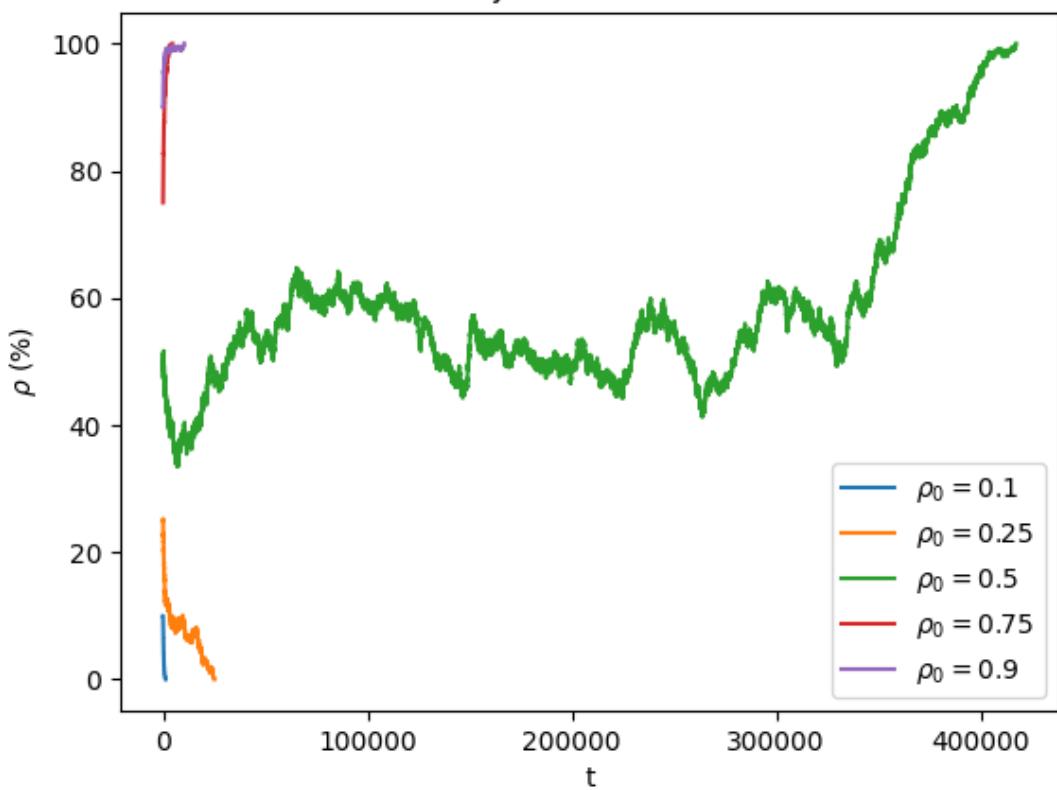
Na wykresach koniec linii oznacza dojście symulowanej sieci do konsensusu.



Czasowa ewolucja "na tak" dla 1600 aktorów



Czasowa ewolucja "na tak" dla 1600 aktorów



### Zadanie 3

#### Opis

Dla wcześniej wybranej wielkości sieci  $40 \times 40$  dla każdego  $p_0 = (0.25, 0.5, 0.75)$ , z nadal losowo rozmieszczonymi aktorami, zostaje zasymulowanych  $R$  symulacji, czyli kolejno  $R = (10, 10^3, 10^5)$ . Dla ustalonych  $p_0$ , po odpowiednio długim czasie zapisywana zostaje końcowa frakcja  $p_\infty$  aktorów „na tak”. Wynik  $p_\infty$  dla każdego  $p_0$  zostaje uśredniony w zależności od liczby wykonanych symulacji  $R$ .

Moment stopu dla symulacji sieci  $40 \times 40$  został wyznaczony z zadania 2, gdzie po obserwacji wielu symulacji można zauważyc, że średnio w momencie  $t = 10000$  poszczególne  $p_0$  dochodzą do konsensusu. Nie uwzględniono tutaj  $p_0 = 0.5$ , dla którego czas trwania symulacji jest znacznie dłuższy i mniej przewidywalny.

Dodatkowo eksperyment przeprowadzono dla mniejszej sieci  $20 \times 20$  i  $R = (10, 10^2, 10^3)$ , a każdą symulację doprowadzono do końca.

W załączonym pliku źródłowym do zadania *zad3.py* zostało opisane działanie kodu.

#### Wyniki symulacji

$p$	$R$	10	$10^3$	$10^5$
0.25		34.5 (niepewność 13.56)	21.58 (niepewność 0.99)	20.78 (niepewność 0.1)
0.5		860.0 (niepewność 42.0)	804.72 (niepewność 6.38)	799.62 (niepewność 0.62)
0.75		1582.9 (niepewność 14.33)	1578.76 (niepewność 1.05)	1579.38 (niepewność 0.1)

Korzystając z warunku stopu dla symulacji, można zaobserwować, że dla mniejszej liczby aktorów „na tak” ( $p_0 = 0.25$ ) ich układ jest zdominowany przez frakcję aktorów „na nie” i jest bliski porażki.

Podobna sytuacja ma miejsce, kiedy liczba aktorów „na tak” ( $p_0 = 0.75$ ) jest przeważająca, tutaj tylko sytuacja jest odwrotna – układ jest zdominowany przez frakcję aktorów „na tak”. Dla  $p_0 = 0.5$  układ działa wolniej, potrzebuje więcej czasu do widocznej zmiany opinii.

$p$	$R$	10	$10^2$	$10^3$
0.25		0.0 (niepewność 0.0)	0.0 (niepewność 0.0)	0.0 (niepewność 0.0)
0.5		160.0 (niepewność 61.97)	208.0 (niepewność 19.98)	212.8 (niepewność 6.31)
0.75		400.0 (niepewność 0.0)	400.0 (niepewność 0.0)	400.0 (niepewność 0.0)

Kiedy możemy zaobserwować zakończenie każdej symulacji, widać, że dla  $p_0 = 0.25$  oraz  $p_0 = 0.75$  nie ma niespodzianek, układ kończy się kolejno dominacją frakcji aktorów „na nie” i dominacją frakcji aktorów „na tak”. Przy  $p_0 = 0.5$  układ średnio pozostaje w okolicach rozkładu początkowego opinii, ze zmianami w kierunku opinii „na tak” lub „na nie”, z czego jest prawdopodobne, że układ będzie zmierzał w stronę opinii „na tak”.