



CETO-4: Spring 2022

Бактерія звичайна кругова

Команда 13

Дніпровський науковий ліцей
інформаційних технологій при ДНУ



Умова задачі

Доктор Біодольський не полишає своїх біологічних експериментів. Цього разу він випадково вивів новітній тип бактерій із незвичайною поведінкою - *E. colisphericus*. Потрапляючи у поживне середовище, такі бактерії одразу створюють пласку колонію у формі ідеального круга (заповненого). Радіус кола збільшується із постійною швидкістю v міліметрів на хвилину, зберігаючи форму. Але ці бактерії боязкі, тож коли дві колонії дотикаються одна до одної, вони перестають рости. Колонії що ростуть ми будемо називати активними, колонії що не ростуть — пасивними. Доктор Біодольський збирається ставити експеримент із бактеріями: у велику квадратну чашку Петрі розмірами 1 на 1 метр, кожної секунди в випадкове не зайняте бактеріями місце він буде кидати по одному зародку колонії. Далі він буде слідкувати за ростом колоній протягом 15 хвилин періодично знімаючи виміри. Допоможіть доктору Біодольському спланувати експеримент.



Реалізація коду

```
## Preparation for tasks 1, 2, 3
bacterias_r = []      # Radius of bacteria, m
bac_is_growing = []   # Is bacteria still growing?
area = [0]            # Sumarized area at specific second
growthRate = 0.00001  # Rate of changing of radius, m/s
T = 15                # Time of simulation, minutes
t = 0
index = 0
bacterias_x = [0]*(T*60) # Coordinate x of bacteria, m
bacterias_y = [0]*(T*60) # Coordinate y of bacteria, m
lifeLength = [0]*(T*60)  # How long does ith bacteria live, s
bact_r      = [[0]*T*60]
amountOfAliveGuys = []

simulation = True
while(simulation):
    bacterias_r += [0]
    bac_is_growing += [True]
    area += [0]
    amountOfAliveGuys += [0]
    # Saving data for animations
```

Змінні, необхідні для симуляції та подальшої візуалізації росту колоній та малювання графіків.

<- change to have different results
<- change to have different results

Кожну секунду симуляції генерувати нову бактерію: додати до масивів, які зберігають кількість живих колоній, радіуси та сумарну площу новий елемент.

```
bact_1 += [bacterias_r[t][0]*(1-0.001*len(bacterias_r))]
```

Spawning new bacteria

```
spawned = False
```

```
while spawned == False:
```

```
    spawned = True
```

```
    bacterias_x[t] = random.random()
```

```
    bacterias_y[t] = random.random()
```

```
    for k in range(0, len(bacterias_r)): # Check if bacteria intersect
```

```
        distance = np.sqrt((bacterias_x[t]-bacterias_x[k])**2 + (bacterias_y[t]-bacterias_y[k])**2)
```

```
        if distance <= bacterias_r[k] and t!=k:
```

```
            spawned = False
```

```
t+=1
```

```
for i in range(0, len(bacterias_r)):
```

```
    if bac_is_growing[i] == True: # If bacteria is alive
```

```
        lifeLength[i]+=1
```

```
        amountOfAliveGuys[t-1]+=1
```

```
        hasCollided = False
```

```
        for k in range(0, len(bacterias_r)): # Check if bacteria intersect
```

```
            distance = np.sqrt((bacterias_x[i]-bacterias_x[k])**2 + (bacterias_y[i]-bacterias_y[k])**2)
```

```
        # If bacteria, while growing, is going to touch with other bacteria:
```

```
            if distance <= bacterias_r[i]+bacterias_r[k]+growthRate*2 and i!=k:
```

```
                hasCollided = True
```

```
            if bac_is_growing[k] and bac_is_growing[i]:
```

```
                bacterias_r[k] += (distance-bacterias_r[i]-bacterias_r[k])/2
```

```
                bacterias_r[i] += (distance-bacterias_r[i]-bacterias_r[k])/2
```

Згенерувати випадкові позиції для бактерії.

Для кожної бактерії перевіряти, чи росте вона.

Перевірити, чи при рості дотикнеться вона до іншої бактерії?

Якщо так, то перевірити, як колонії будуть рости після цього.

```

if bac_is_growing[i] == True: # If bacteria is alive
    lifeLength[i]+=1
    amountOfAliveGuys[t-1]+=1
    hasCollided = False
    for k in range(0, len(bacterias_r)): # Check if bacterias intersect
        distance = np.sqrt((bacterias_x[i]-bacterias_x[k])**2 + (bacterias_y[i]-bacterias_y[k])**2)
    # If bacteria, while growing, is going to touch with other bacteria:
        if distance <= bacterias_r[i]+bacterias_r[k]+growthRate*2 and i!=k:
            hasCollided = True
            if bac_is_growing[k] and bac_is_growing[i]:
                bacterias_r[k] += (distance-bacterias_r[i]-bacterias_r[k])/2
                bacterias_r[i] += (distance-bacterias_r[i]-bacterias_r[k])/2
            elif bac_is_growing[k]==False and bac_is_growing[i]:
                bacterias_r[i] += distance-bacterias_r[i]-bacterias_r[k]
            else:
                bacterias_r[i] += distance-bacterias_r[i]-bacterias_r[k]
            # both die
            bac_is_growing[k] = False
            bac_is_growing[i] = False
        if hasCollided==False:
            bacterias_r[i] += growthRate
    # Calculate sum of areas
    area[t]+=np.pi*bacterias_r[i]**2

if t >= T*60: # Stop simulation after T minutes
    simulation = False

```

Обидві колонії стають пасивними після зіткнення

Розрахунок сумарної площі у кожний момент часу.

Якщо час симуляції більше заданого, зупинити її.

Завдання 1

Створіть візуалізацію росту колоній.

Для візуалізації було використано бібліотеку `matplotlib`, а саме – функцію `FuncAnimation` та графік `scatter`.

```
fig, ax = plt.subplots(figsize=(8, 8))
ax.set(xlim=(0, 1), ylim=(0, 1))
ax.set_axisbelow(True)

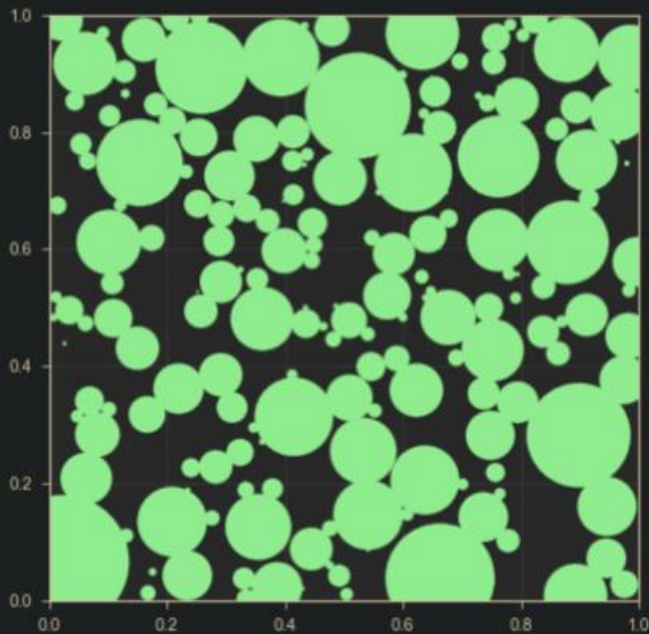
scat = ax.scatter(bacterias_x, bacterias_y, s=bact_r[0], c='lightgreen')

def animate(i):
    sizes = np.array(bact_r[i])
    scat.set_sizes(sizes**2*900000)

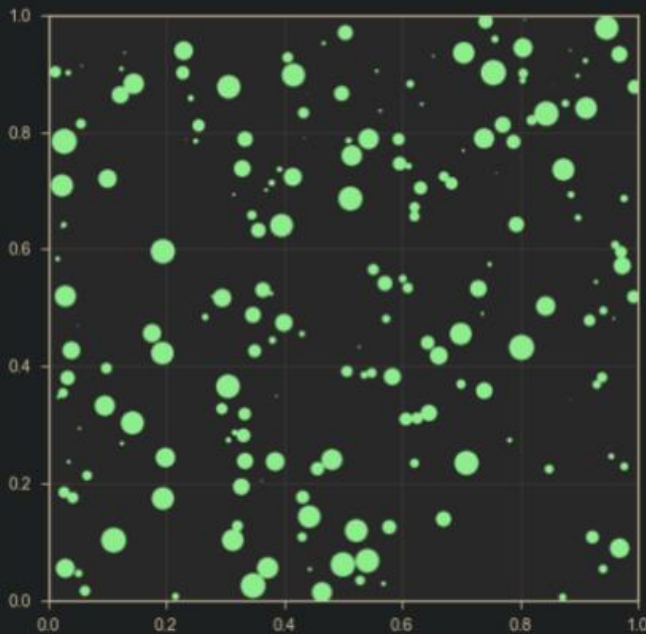
anim = FuncAnimation(
    fig, animate, interval=100, frames=T*60-1)

anim.save('/animation.gif', writer='imagemagick', fps=20)
# plt.show()
```

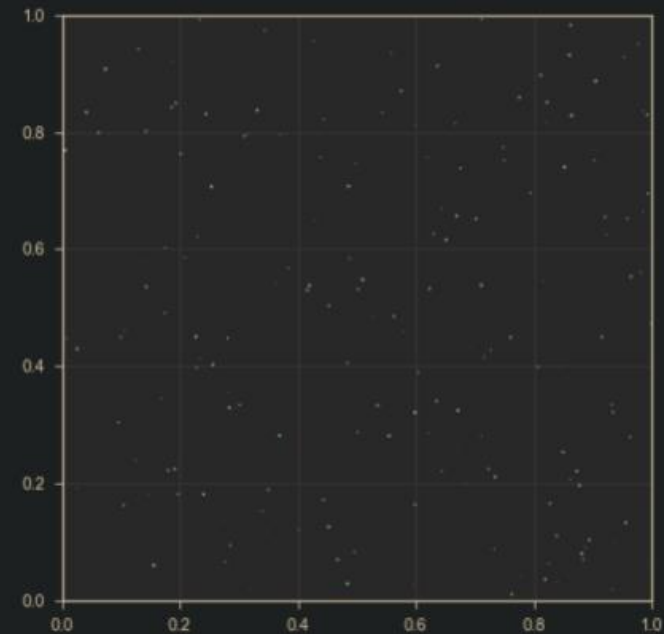
Завдання 1



Швидкість росту колоній:
0,001 м/с



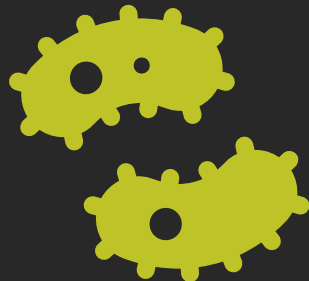
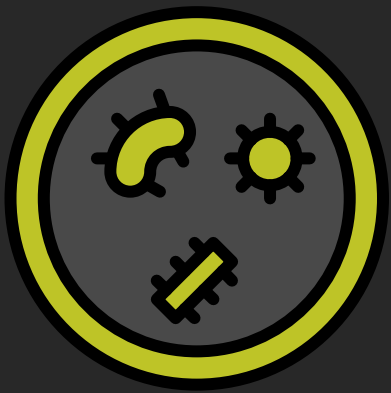
Швидкість росту колоній:
0,0001 м/с



Швидкість росту колоній:
0,00001 м/с

Завдання 2

Побудуйте графіки залежності загальної площі колоній та кількості активних колоній від часу, для різних значень параметрів v . Які особливості графіків ви бачите? Як їх можна узагальнити та пояснити?



```
x = np.arange(0, len(area))
plt.plot(x, area)
print("Final area:", area[len(area)-1])

plt.title("Area filled by bacterias")
plt.xlabel("Time, seconds")
plt.ylabel("Area, $m^2$")

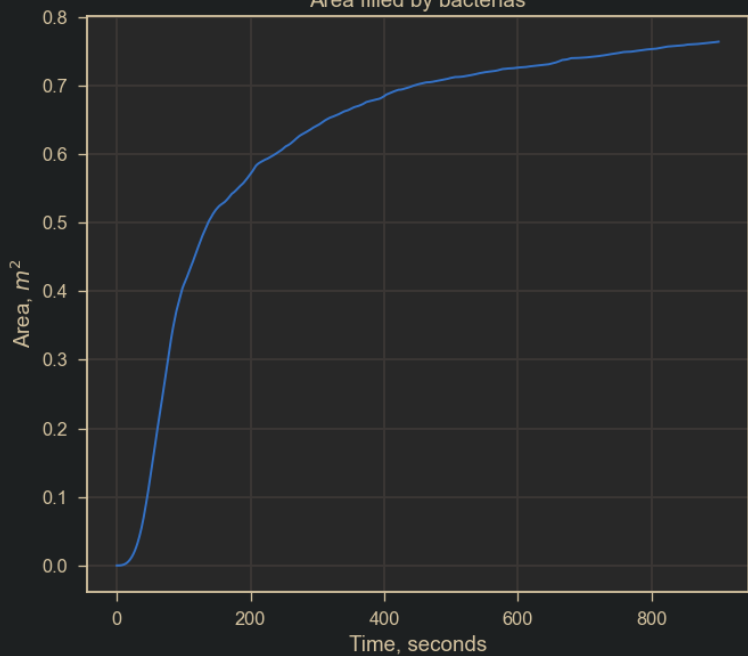
plt.show()
```

```
x = np.arange(0, len(amountOfAliveGuys))
plt.plot(x, amountOfAliveGuys)

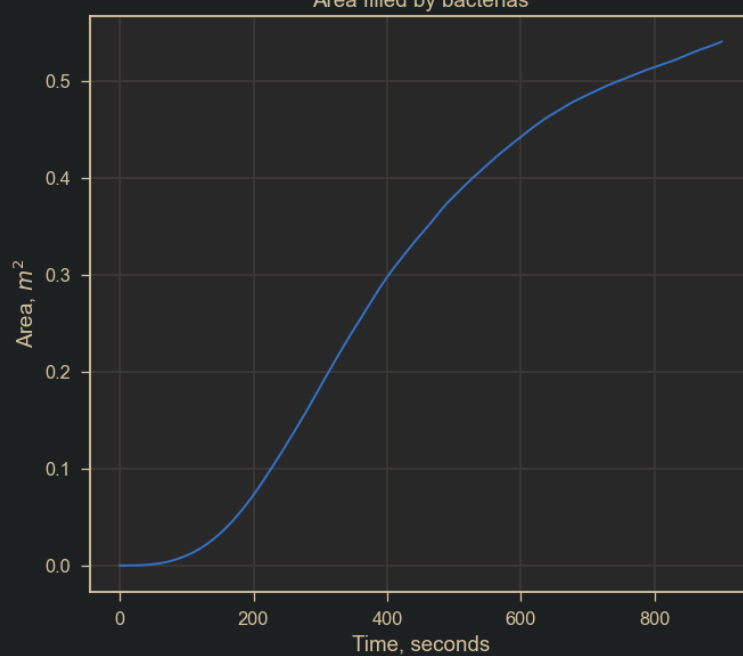
plt.title("Amount of alive bacterias")
plt.xlabel("Time, seconds")
plt.ylabel("Alive bacterias")

plt.show()
```

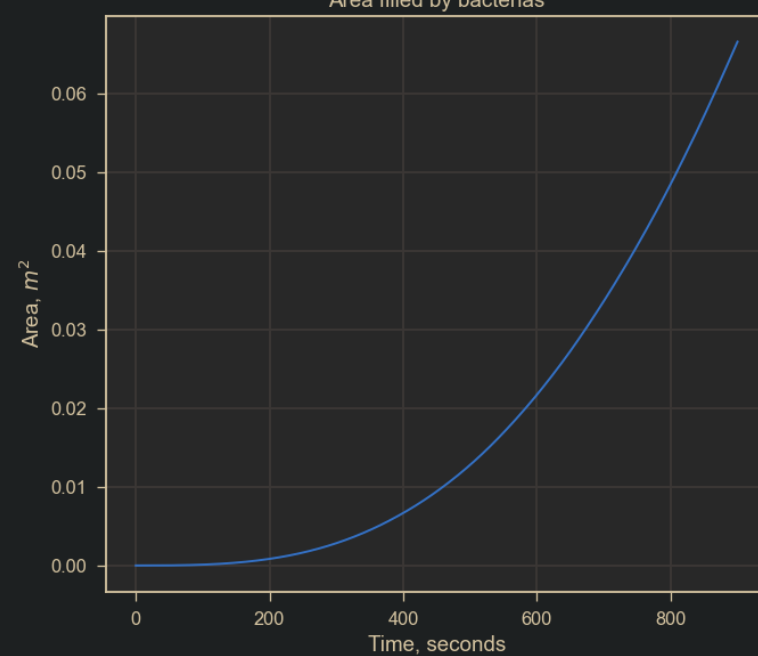

Area filled by bacteria

**0,001 m/c**

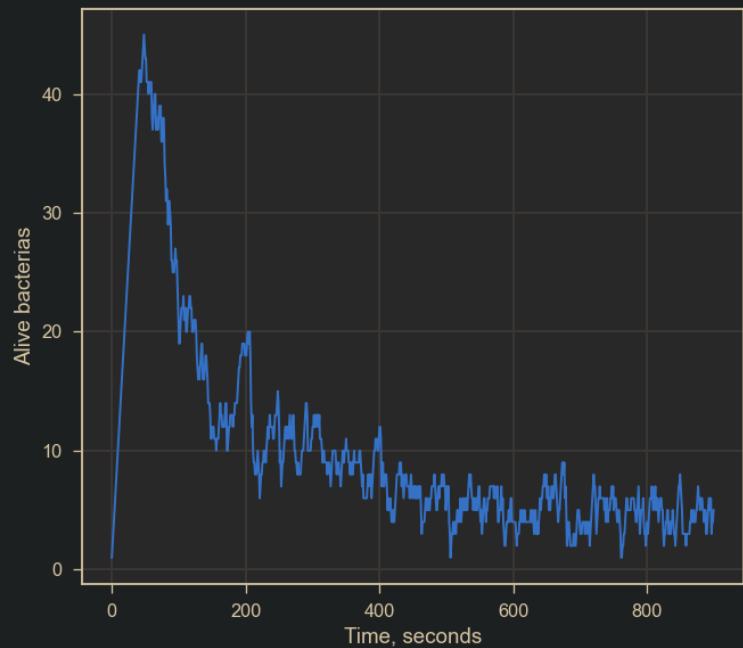
Area filled by bacteria

**0,0001 m/c**

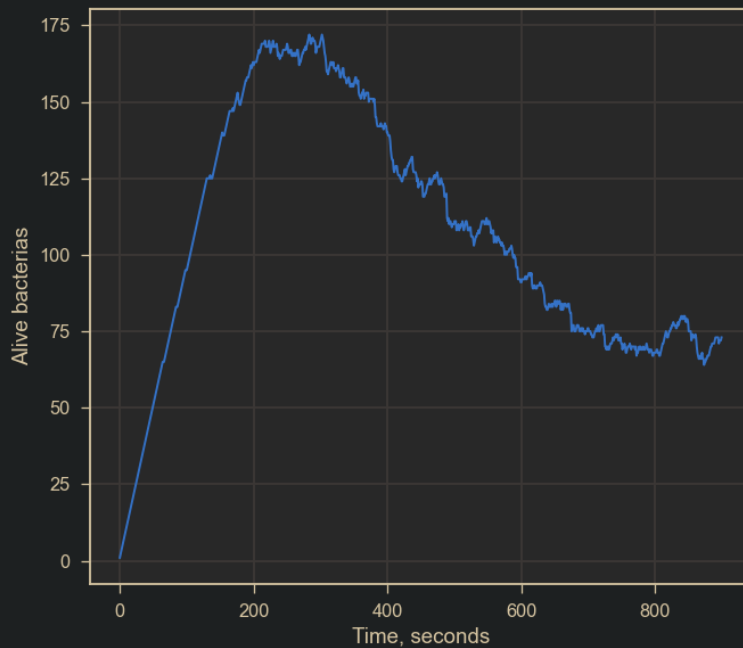
Area filled by bacteria

**0,00001 m/c**

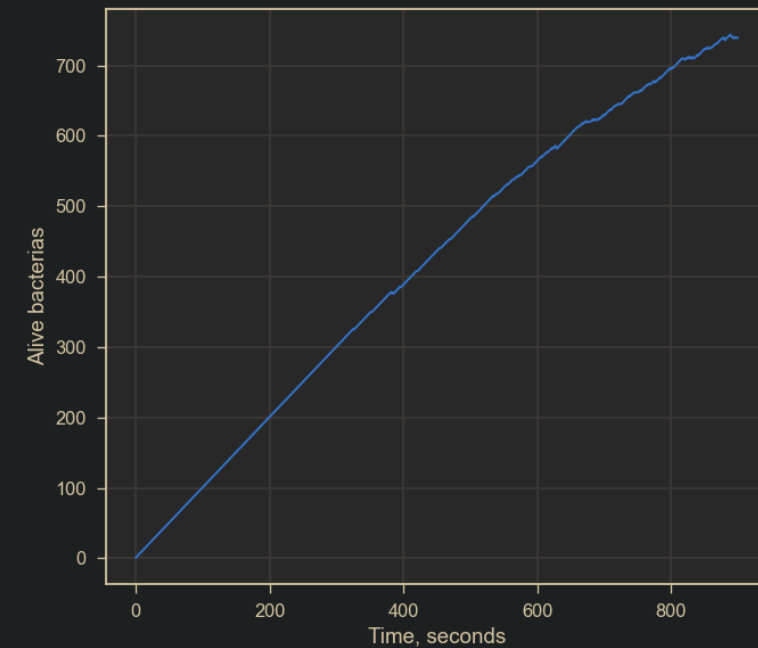
Amount of alive bacteria



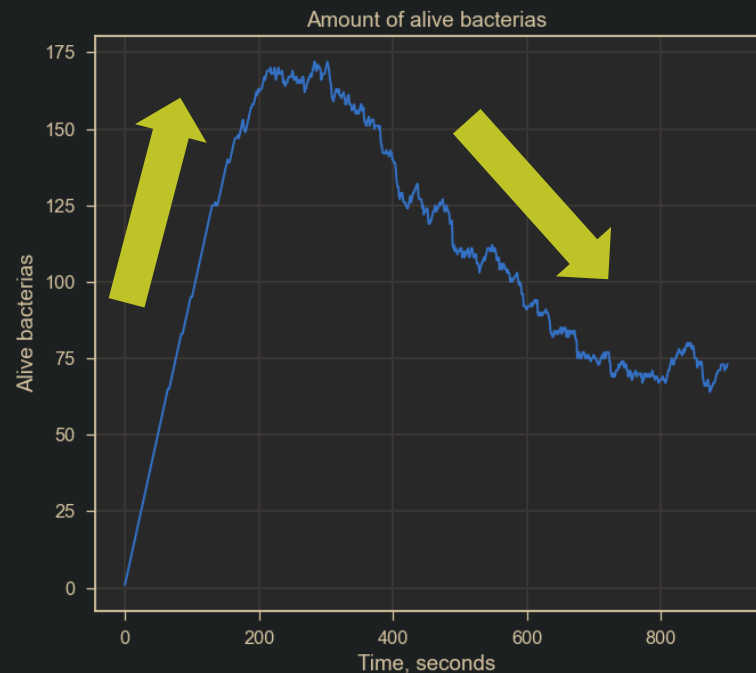
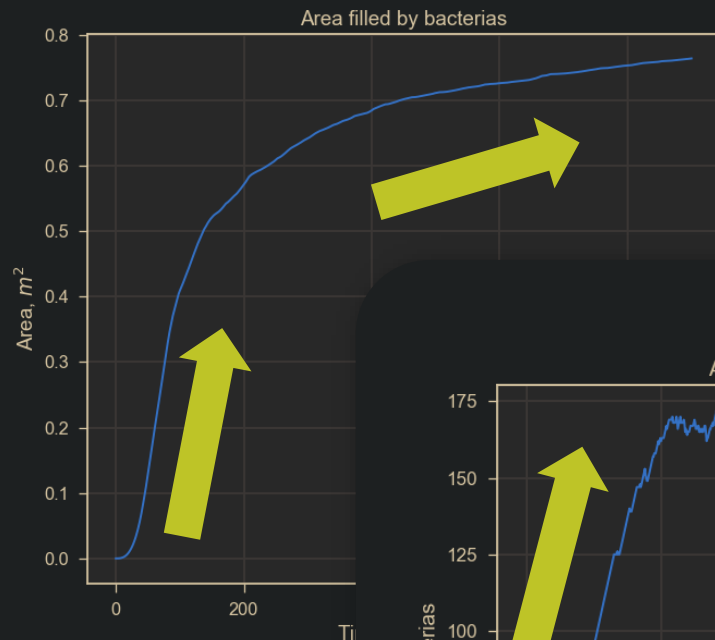
Amount of alive bacteria



Amount of alive bacteria



Завдання 2

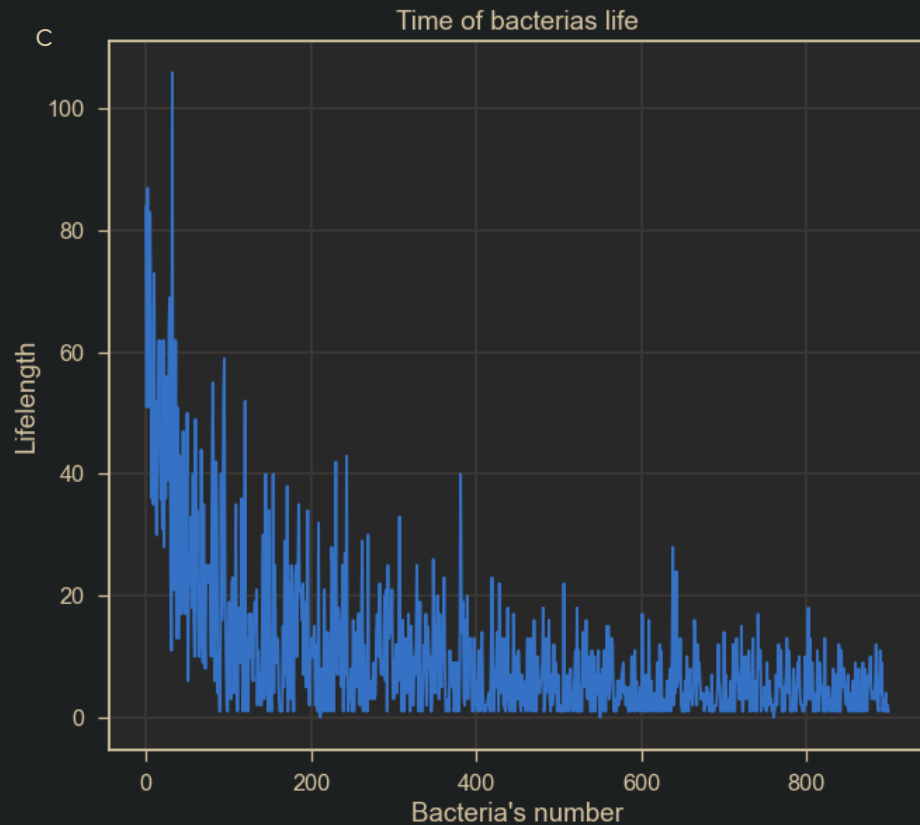


Особливості графіків:

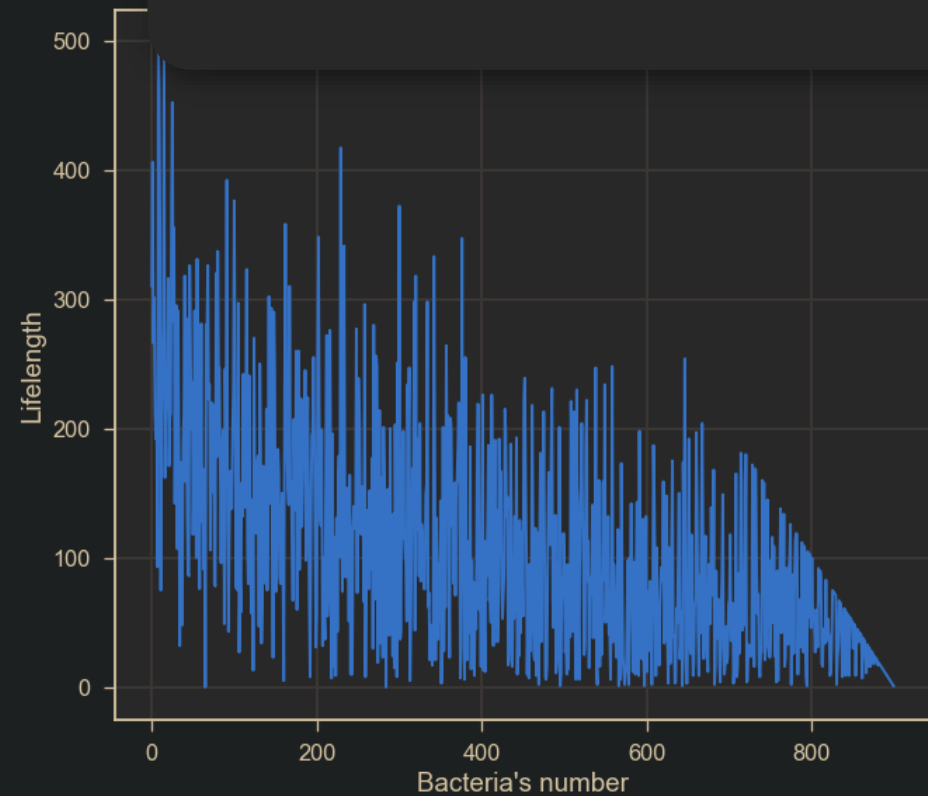
1. Чим **більша швидкість** росту колоній, тим **більша** середня сумарна **площа**.
2. Чим **більша швидкість** росту колоній, тим **менша** середня **кількість** живих бактерій.
3. У графіку кількості бактерій завжди є **дві частини**: 1 – ріст кількості, 2 – падіння. Із зменшенням швидкості 1ша частина стає більше.
4. Чим **більша кількість живих** бактерій в певний момент часу, тим **більша швидкість** зміни сумарної площі.

Завдання 3

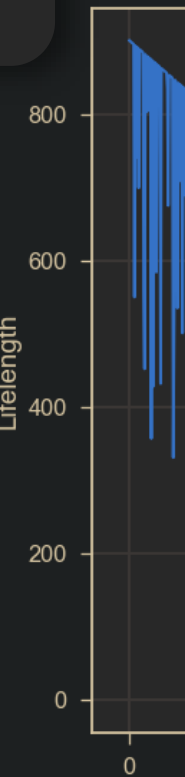
Дослідіть **час життя** колоній.
Порівняйте як довго жили колонії на
початку експерименту і в період
ближче до його кінця. Чи є різниця?
Від чого вона залежить.



0,001 м/с

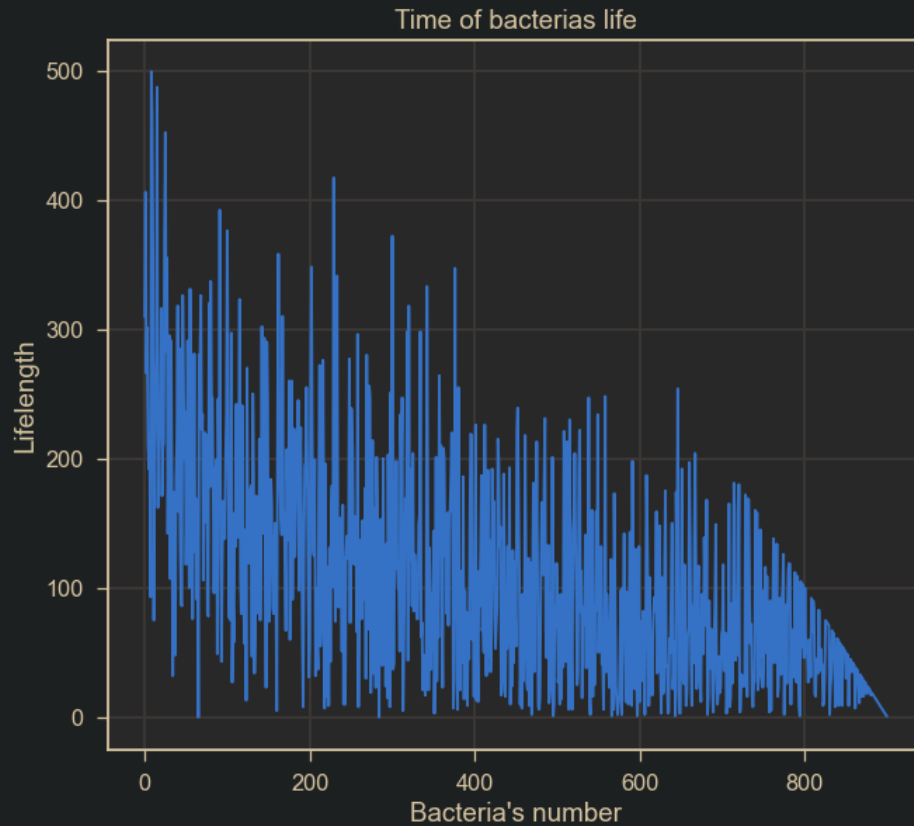
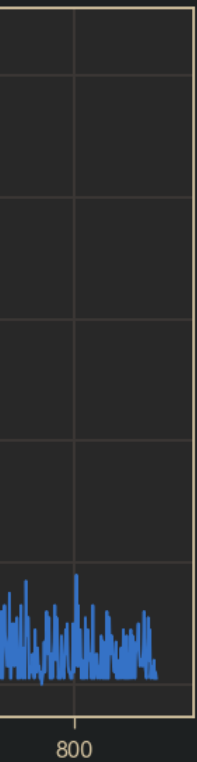


0,0001 м/с

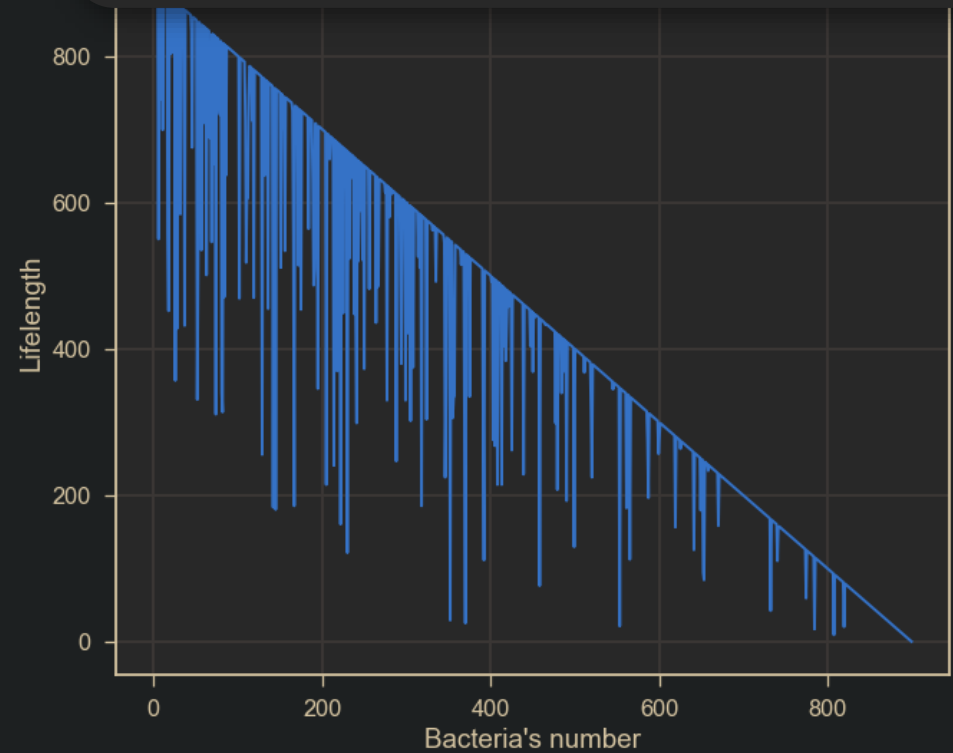


Завдання 3

Дослідіть **час життя** колоній.
Порівняйте як довго жили колонії на
початку експерименту і в період
ближче до його кінця. Чи є різниця?
Від чого вона залежить.

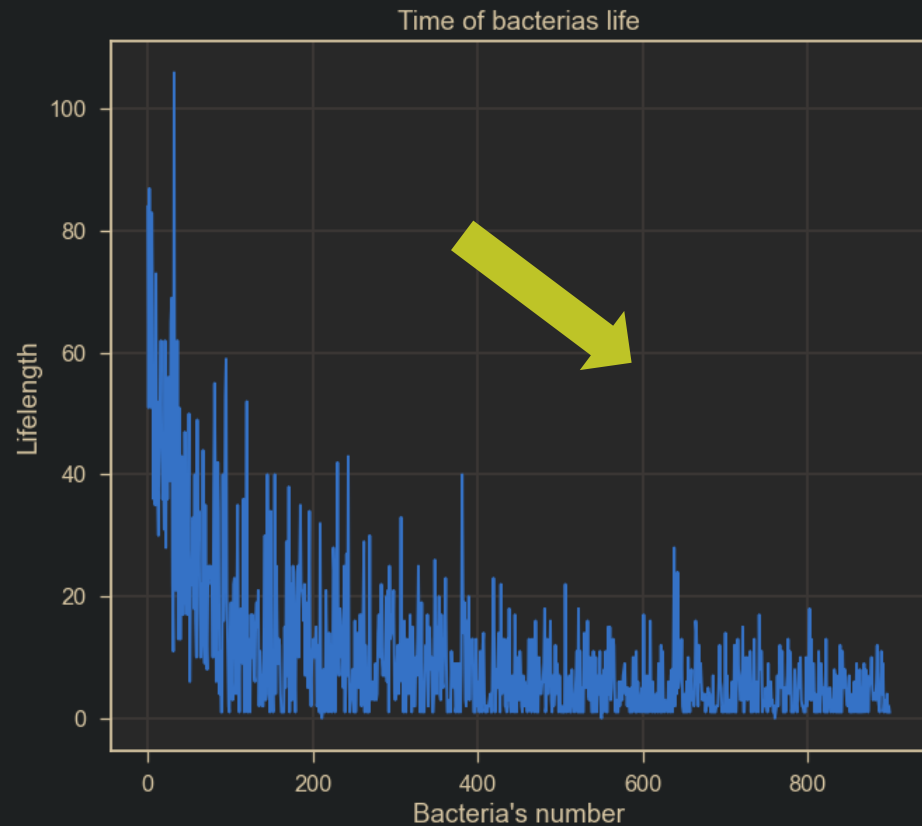


0,0001 м/с



0,00001 м/с

Завдання 3



0,00001 м/с

Особливості графіків:

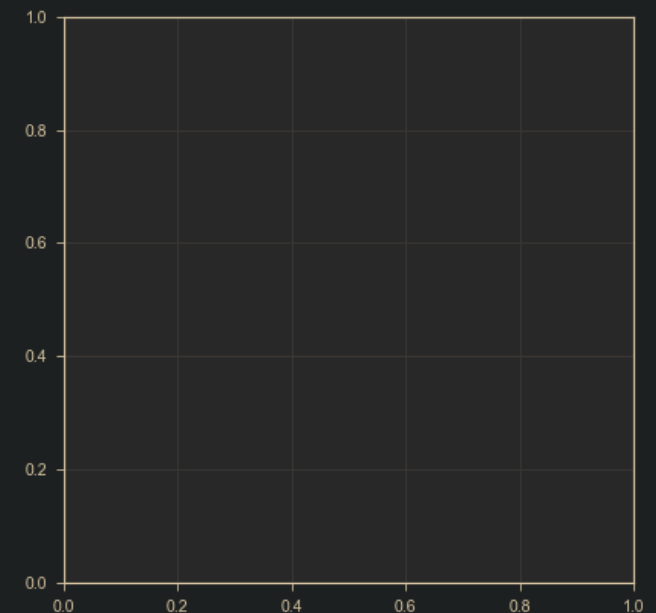
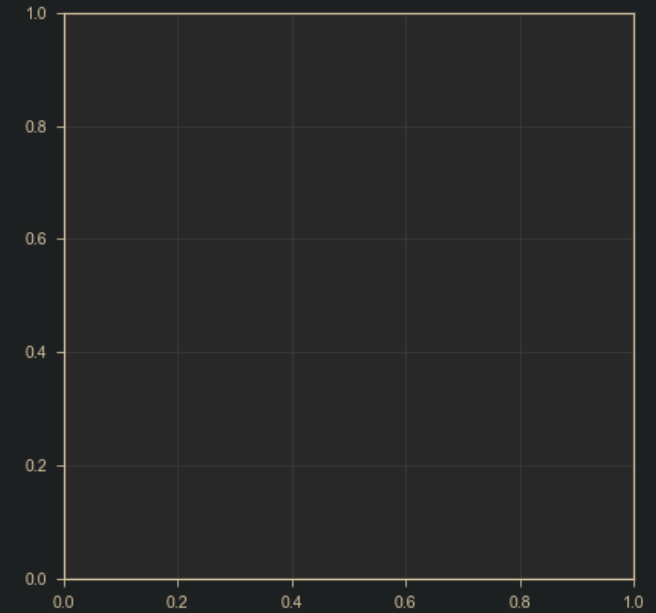
1. Чим **більша швидкість** росту бактерій, тим **менше** середня **кількість** живих бактерій.
2. Чим **більше часу** пройшло, тим **менше** середній **час** життя колоній.
3. Через випадковість, деякі бактерії можуть померти ще в початку симуляції, а деякі – відносно довго прожити у кінці.

Завдання 4

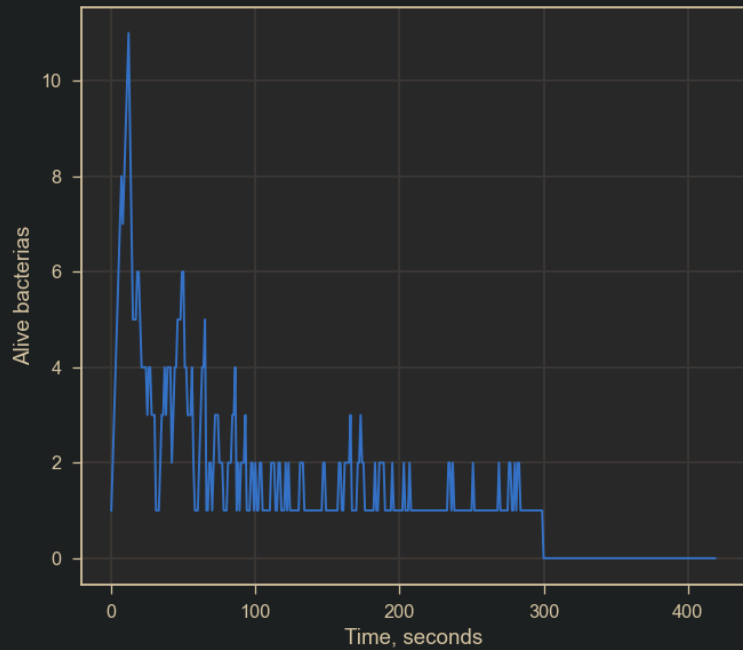
Розгляньте інший спосіб проведення експерименту: протягом 5 хвилин сіються колонії, а потім експеримент триває доки всі колонії не стануть пасивними.

Зміна в коді

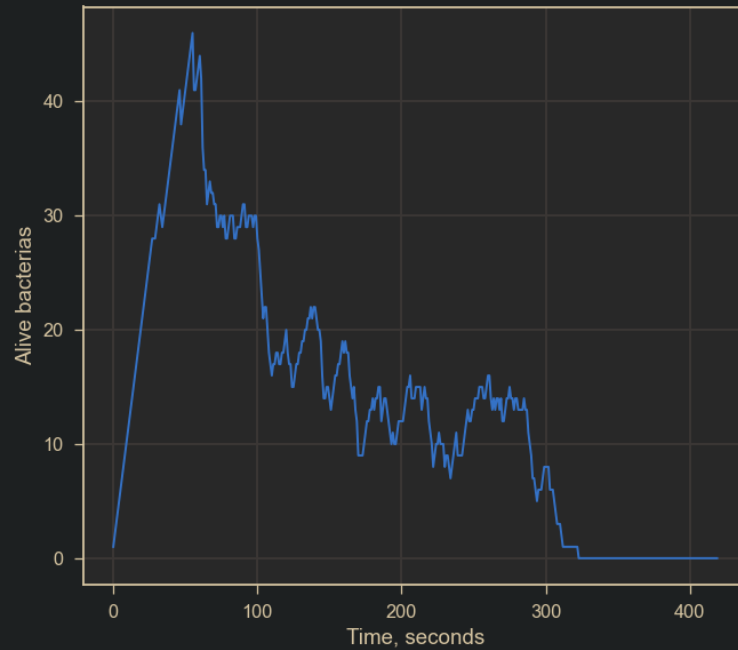
```
if t<300:  
    bacterias_r += [0]  
    bac_is_growing += [True]
```



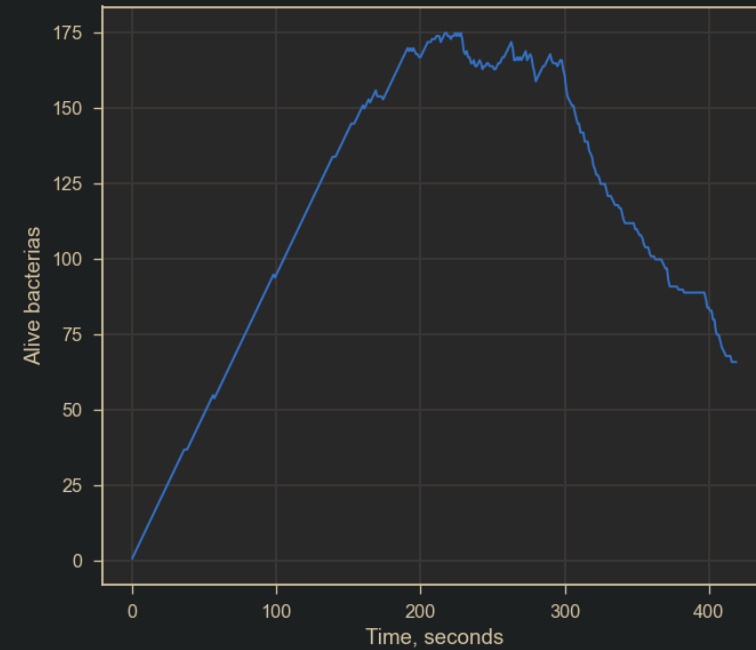
Amount of alive bacterias



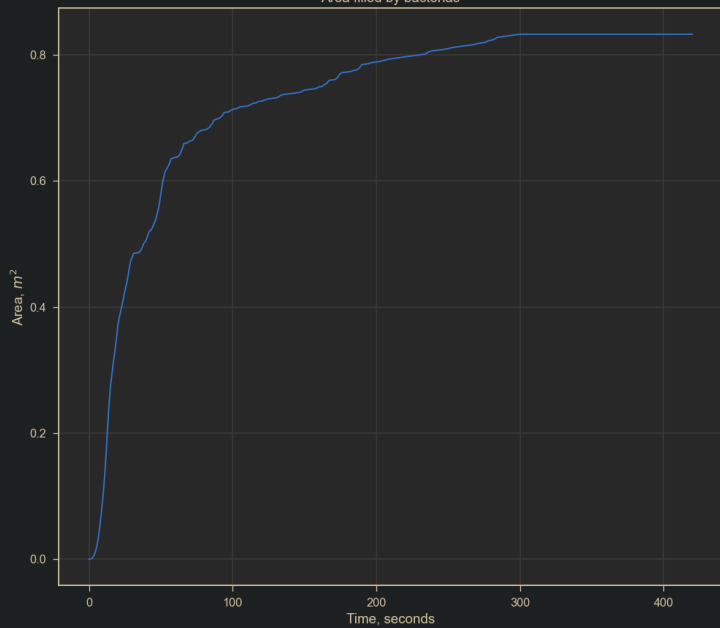
Amount of alive bacterias



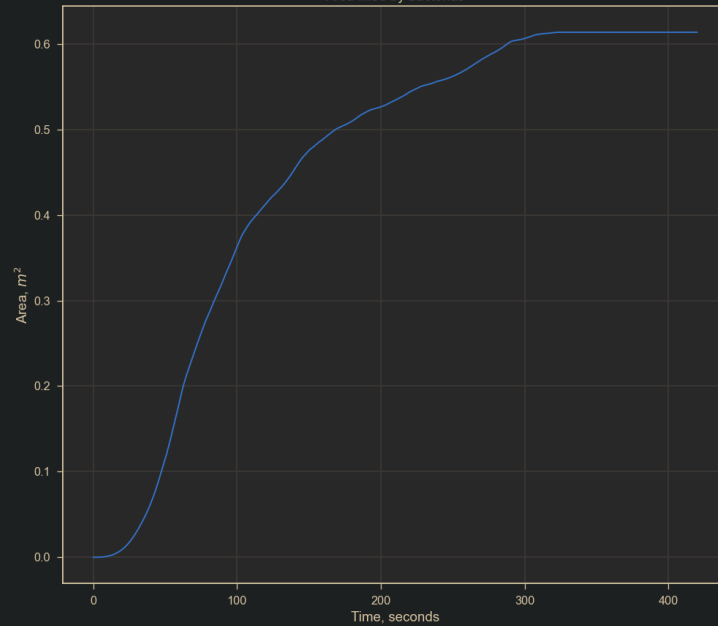
Amount of alive bacterias

**0,01 м/с**

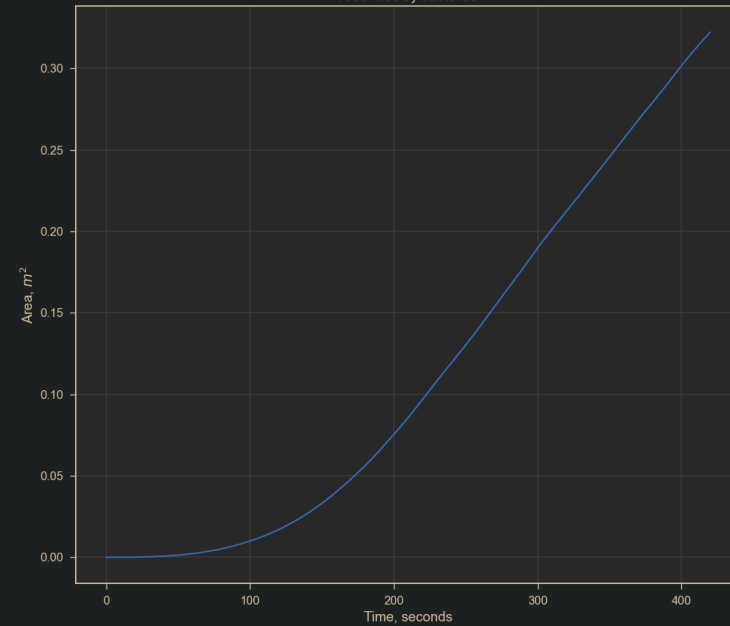
Area filled by bacterias

**0,001 м/с**

Area filled by bacterias

**0,0001 м/с**

Area filled by bacterias



Завдання 4

Результуюча площа, м²

№ \ $v, \frac{м}{с}$	0.01	0.001
1	0.911	0.615
2	0.827	0.647
3	0.909	0.706
4	0.899	0.631
5	0.947	0.682
6	0.807	0.630
7	0.974	0.614
Середнє	0.896	0.646

Особливості графіків:

1. Основні особливості співпадають із випадком, описаним у завданні 2.
2. Чим менша швидкість, тим довше живуть бактерії після 5 хвилин.
3. Результуюча площа, яку займають колонії, для різних швидкостей в середньому пропорційна швидкості.

Завдання 5

Дослідіть вище описані графіки у випадку, коли колонії у формі кулі вирощуються у 3D. Порівняйте із двовимірним випадком.

Для візуалізації 3D було використано `vpython`.

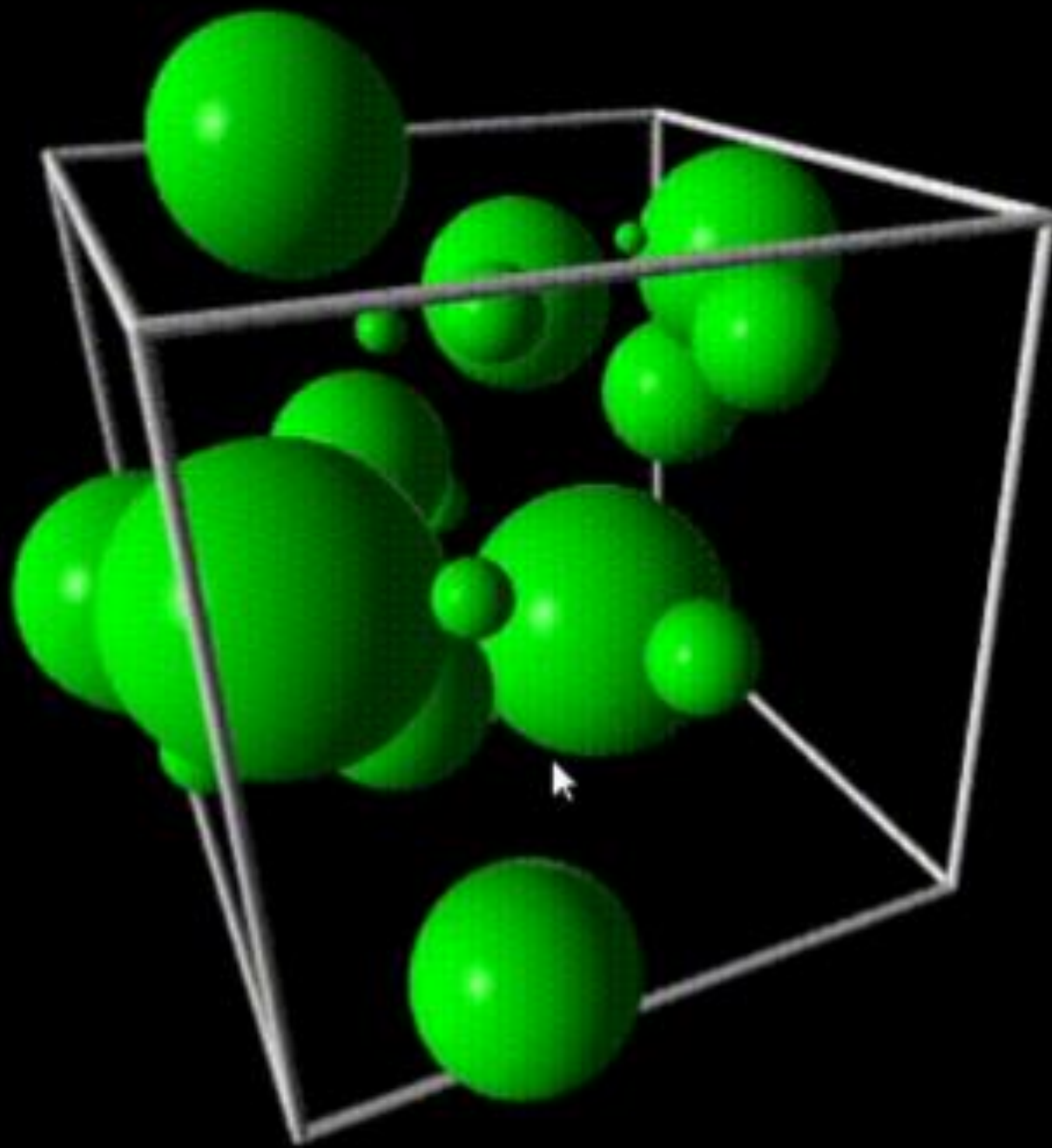
```
from vpython import
```

Зміни в коді

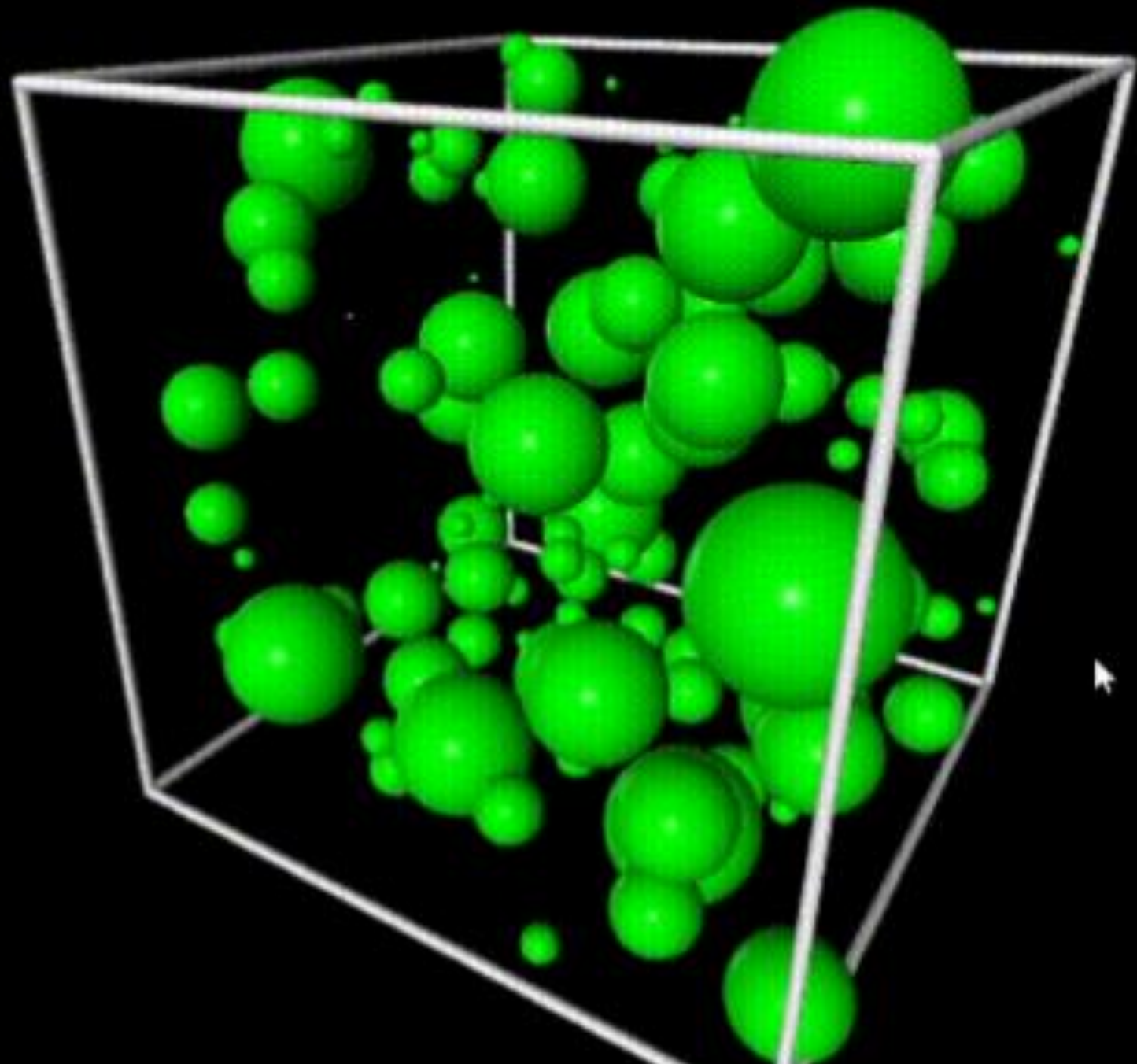
```
bacterias_x = [0]*(T*60) # Coordinate x of bacteria, m
bacterias_y = [0]*(T*60) # Coordinate y of bacteria, m
bacterias_z = [0]*(T*60) # Coordinate x of bacteria, m

distance = np.sqrt((bacterias_x[i]-bacterias_x[k])**2 +
                   (bacterias_y[i]-bacterias_y[k])**2 +
                   (bacterias_z[i]-bacterias_z[k])**2)

# Calculate sum of volumes
volume[t]+=4*np.pi*bacterias_r[i]**3/3
```

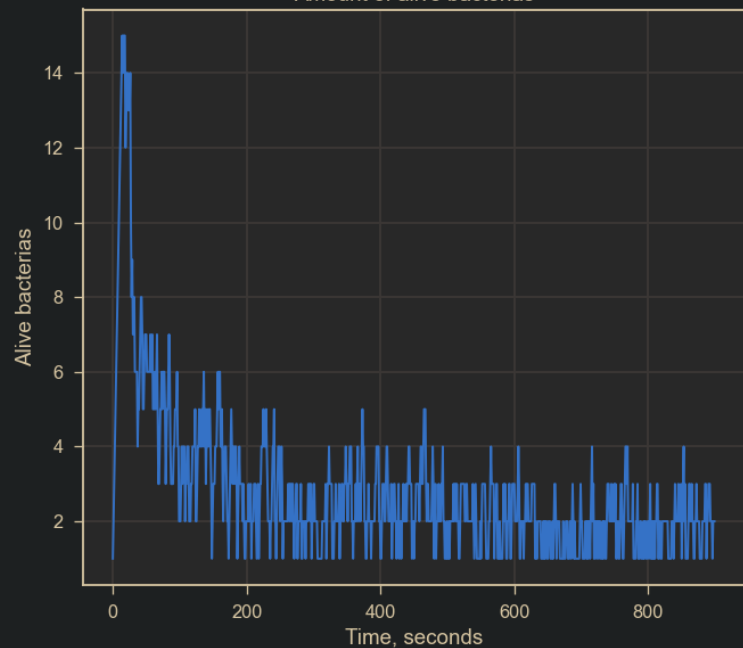


0,01 м/с



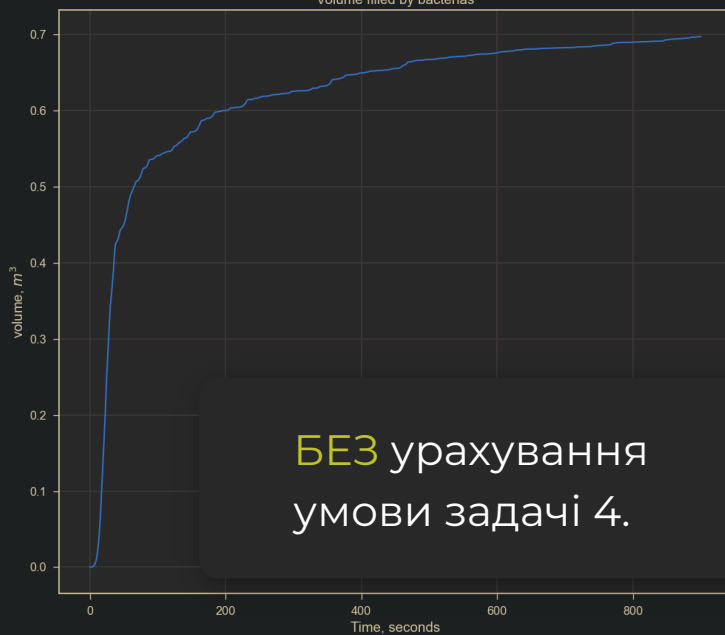
0,001 м/с

Amount of alive bacterias



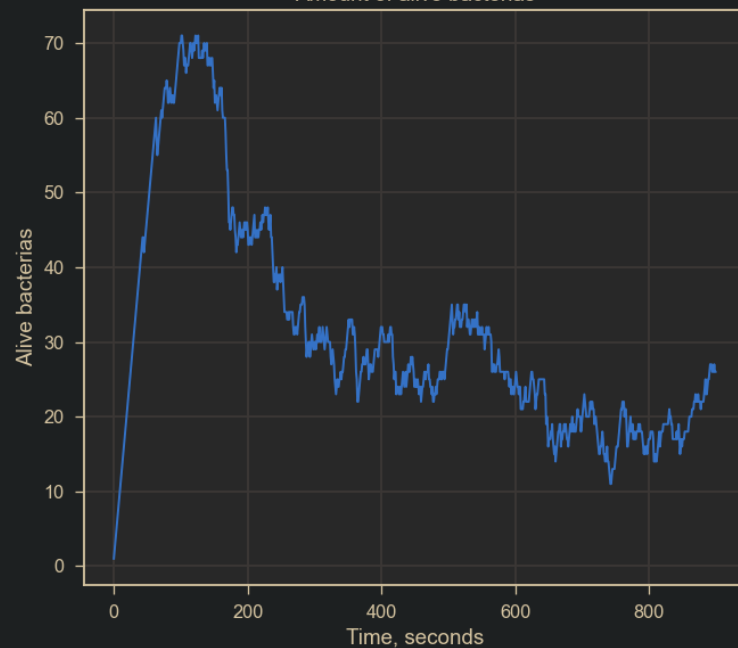
0,01 м/с

Volume filled by bacterias



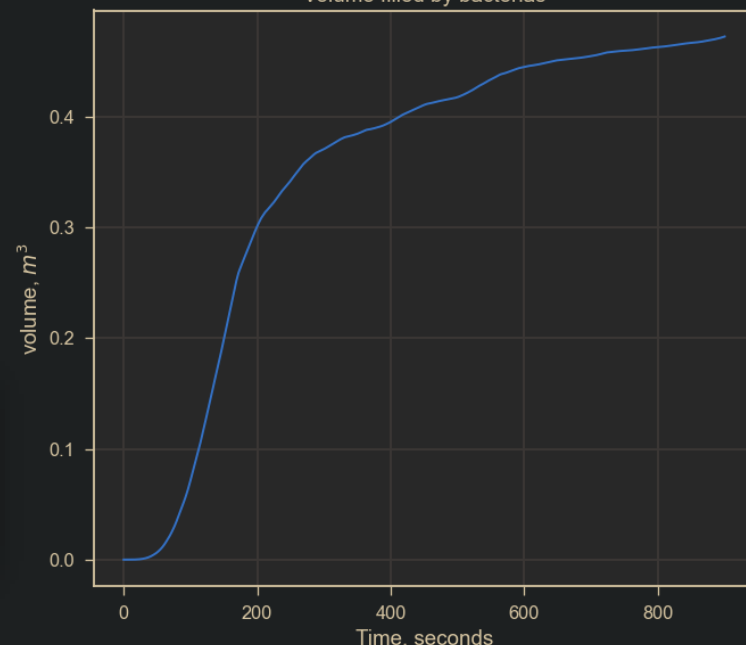
БЕЗ урахування
умови задачі 4.

Amount of alive bacterias

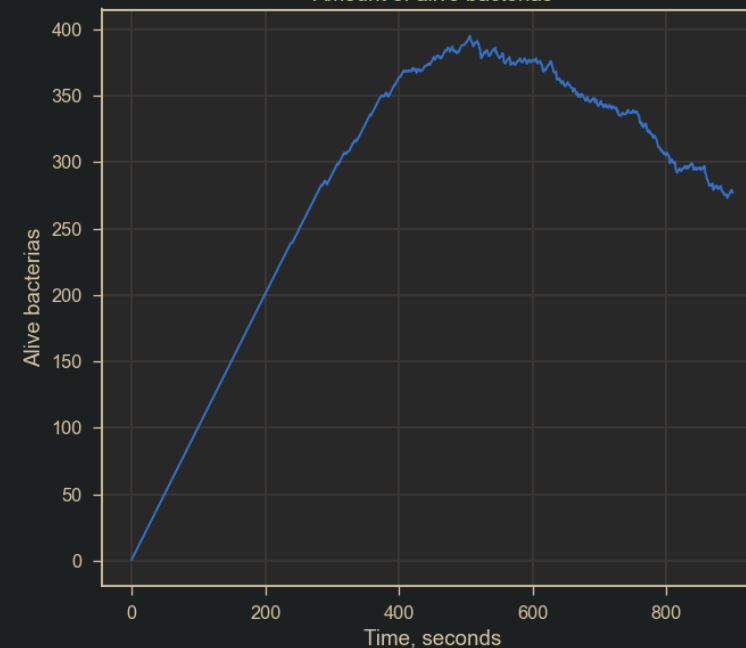


0,001 м/с

Volume filled by bacterias

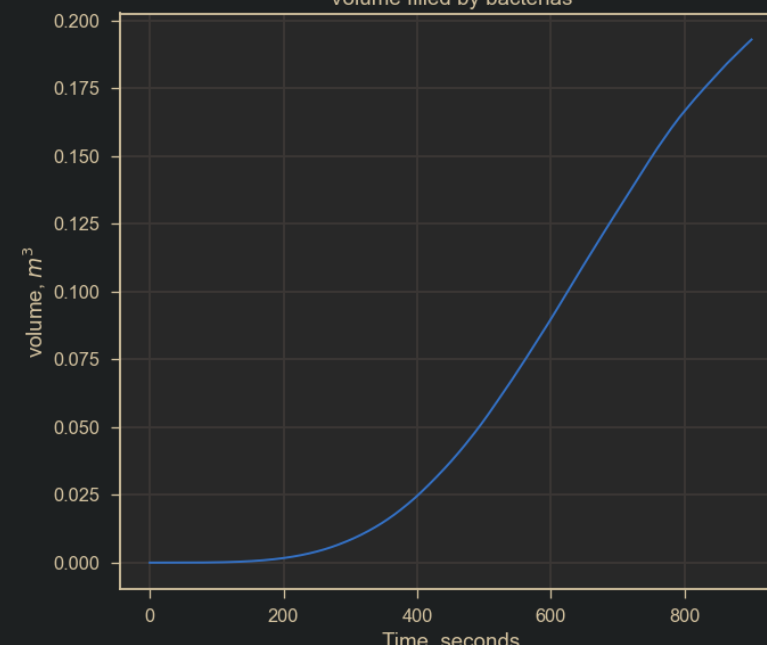


Amount of alive bacterias

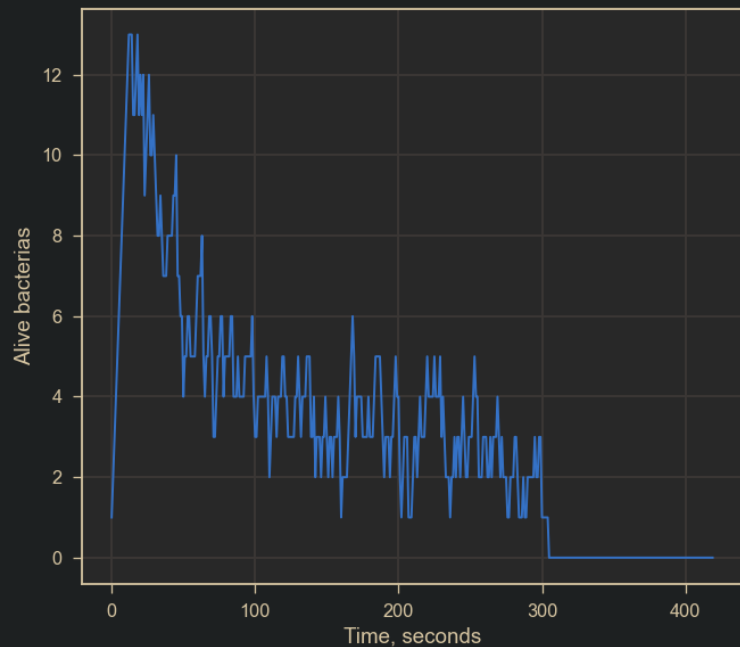


0,0001 м/с

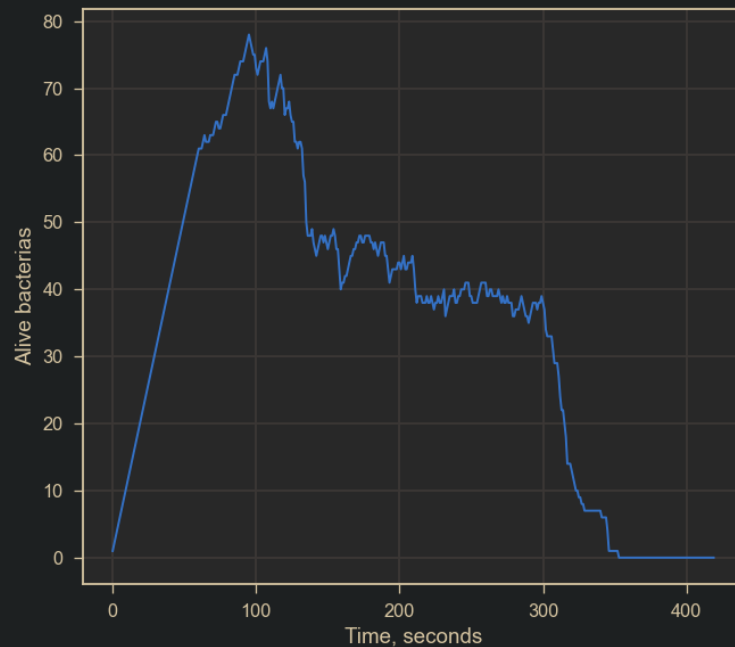
Volume filled by bacterias



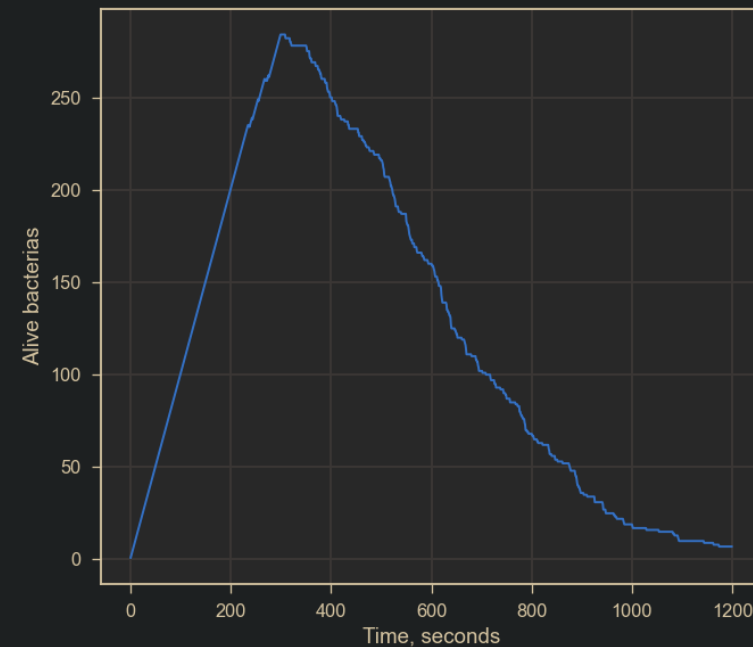
Amount of alive bacteria

**0,01 м/с**

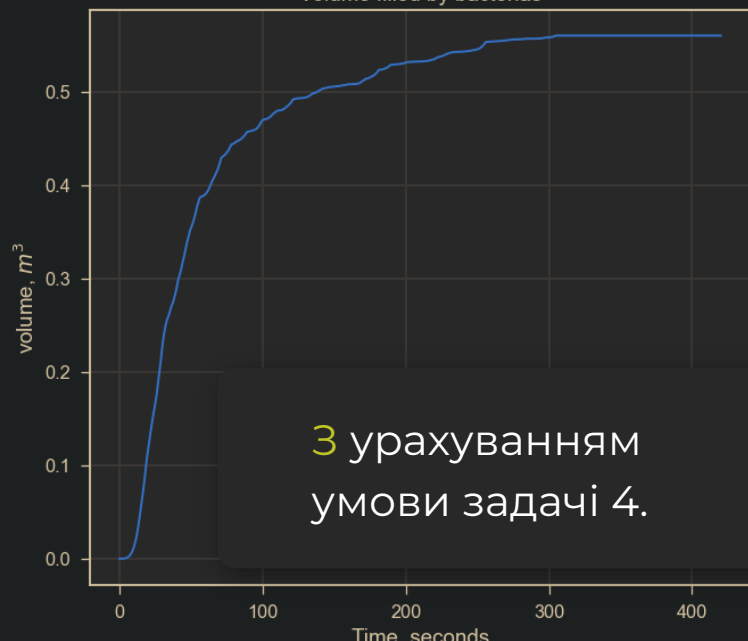
Amount of alive bacteria

**0,001 м/с**

Amount of alive bacteria

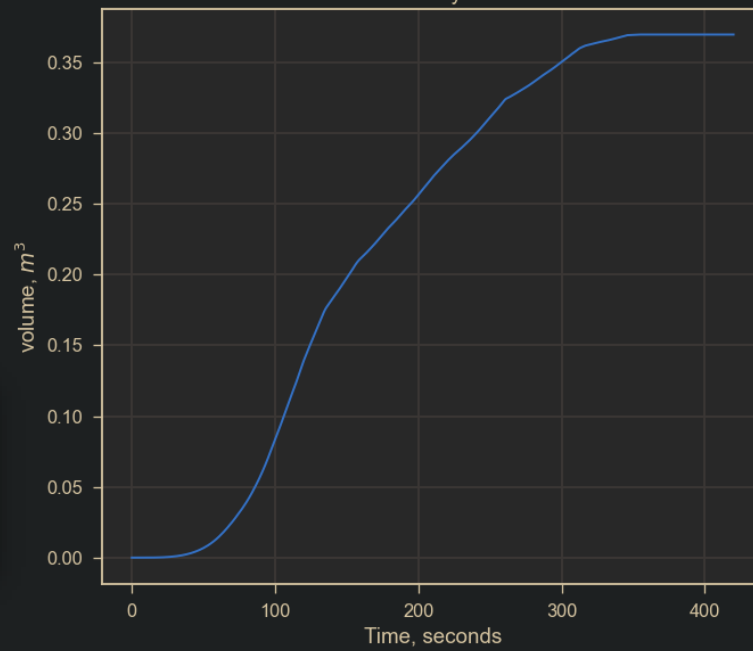
**0,0001 м/с**

Volume filled by bacteria

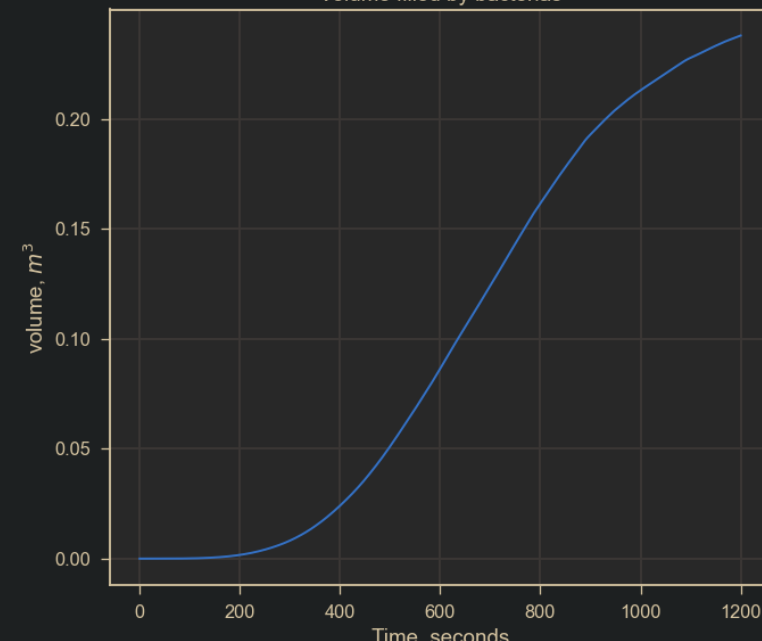


З урахуванням
умови задачі 4.

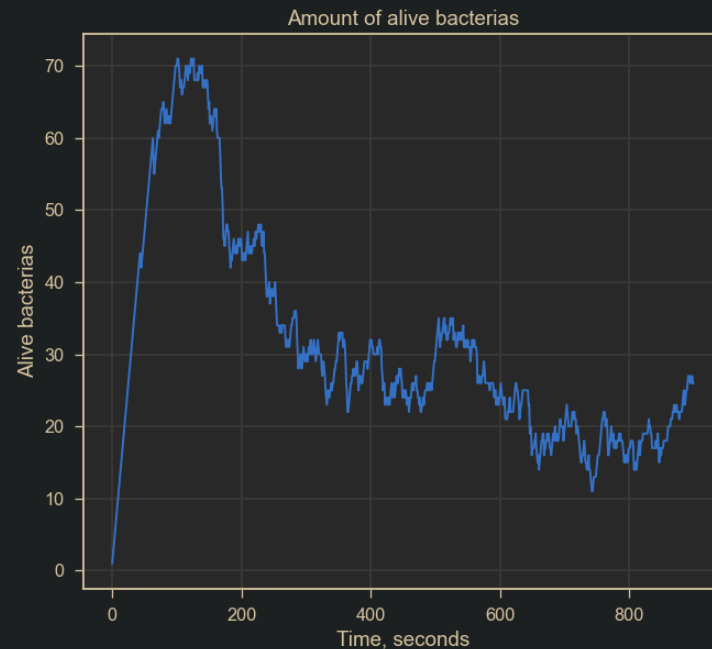
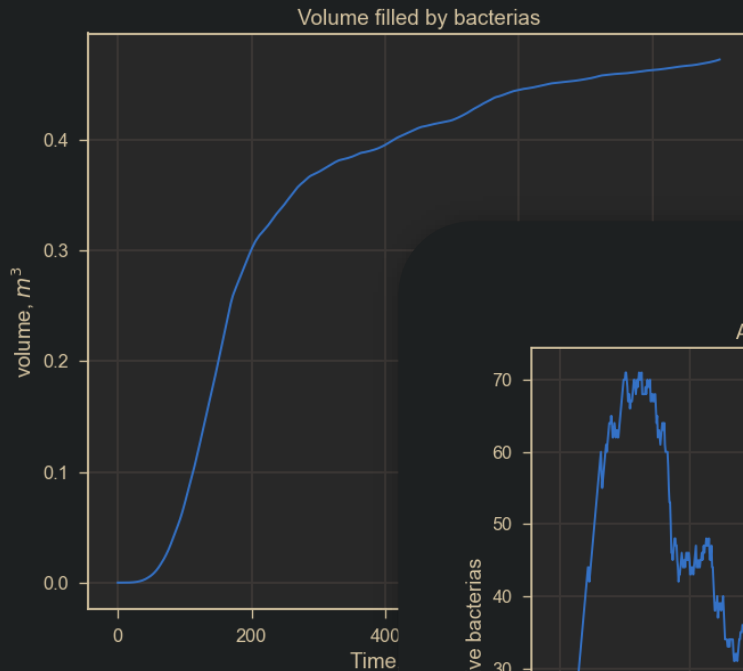
Volume filled by bacteria



Volume filled by bacteria



Завдання 5



0,001 м/с

Особливості графіків:

1. Чим більша швидкість росту колоній, тим менший середній об'єм.
2. Чим **більша швидкість** росту бактерій, тим **менша середня кількість** бактерій.
3. Спочатку кількість активних колоній **росте**, поки багато вільного місця, потім – **спадає**.

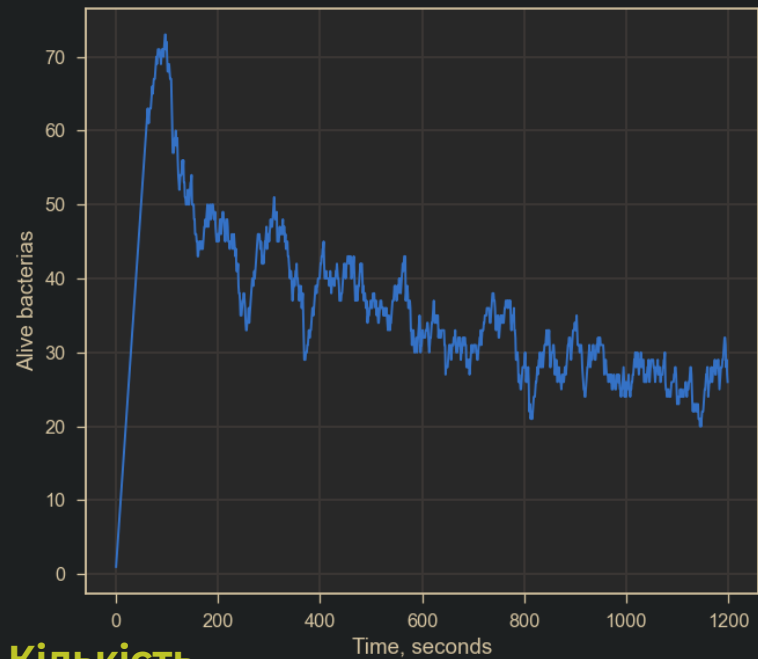
Завдання 6

Голодні колонії: якщо колонія дотикається 5-ти інших вона **зникає** з пробірки повністю і моментально. Дослідіть **чи стабілізується** сумарна **площа** (об'єм колоній) через великий проміжок часу. Чи буде картина якісно інша для іншої кількості дотиків що призводять до зникнення? Тут також цікавим стає випадок **колоній-відрізків** що розмножуються на прямій.

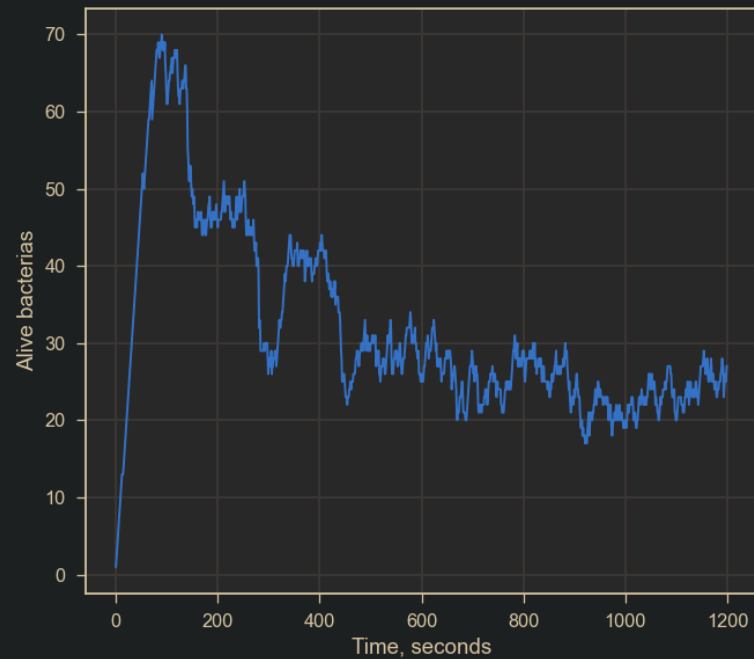
Зміни в коді

```
bacterias_eaten[k] += 1
bacterias_eaten[i] += 1
which_bacterias_eaten[k].append(i)
which_bacterias_eaten[i].append(k)
if bacterias_eaten[k] >= 7:
    bacterias_r[k] = 0
    bacterias_x[k] = -100
    for b in which_bacterias_eaten[k]:
        if b!=-1:
            which_bacterias_eaten[b].remove(k)
            bacterias_eaten[b] -= 1
if bacterias_eaten[i] >= 7:
    bacterias_r[i] = 0
    bacterias_x[i] = -100
    for b in which_bacterias_eaten[i]:
        if b!=-1:
            which_bacterias_eaten[b].remove(i)
            bacterias_eaten[b] -= 1
```

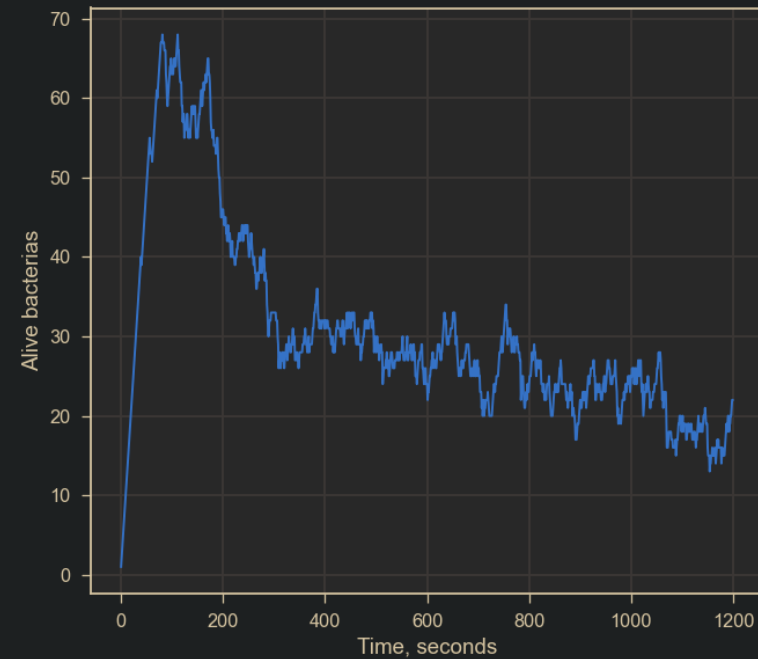
Amount of alive bacterias



Amount of alive bacterias



Amount of alive bacterias



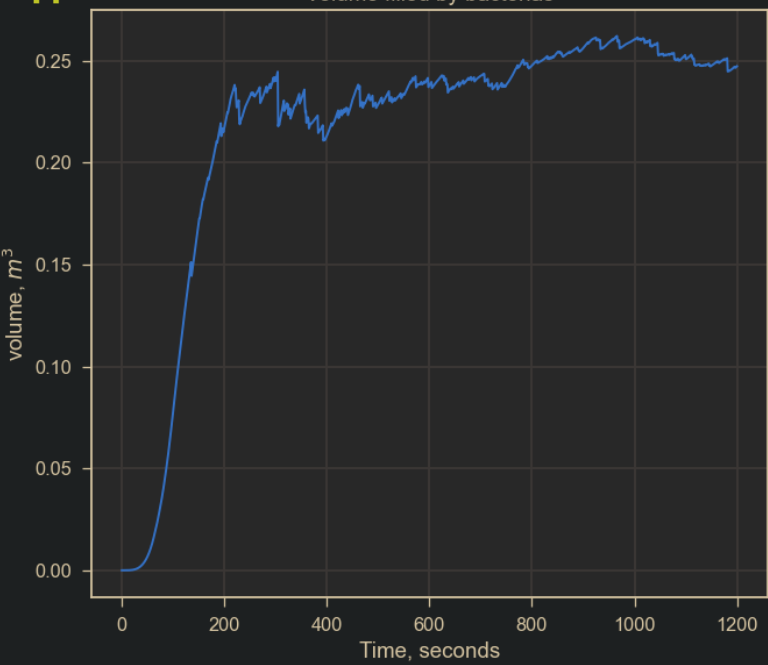
Кількість
дотиків

3

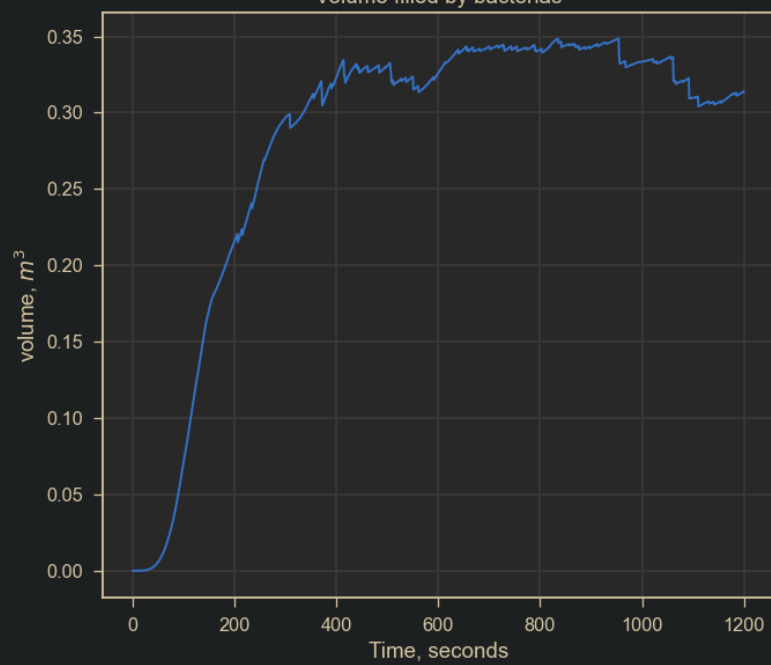
5

7

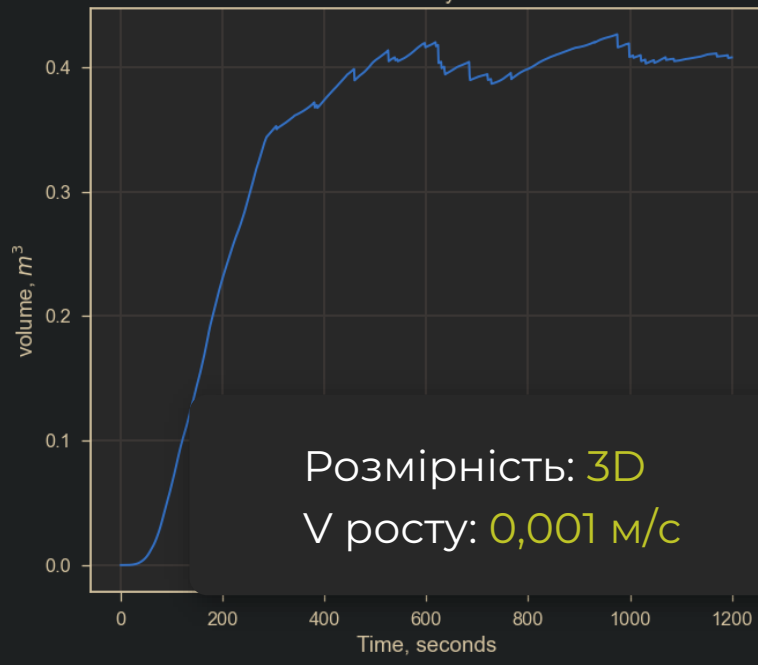
Volume filled by bacterias



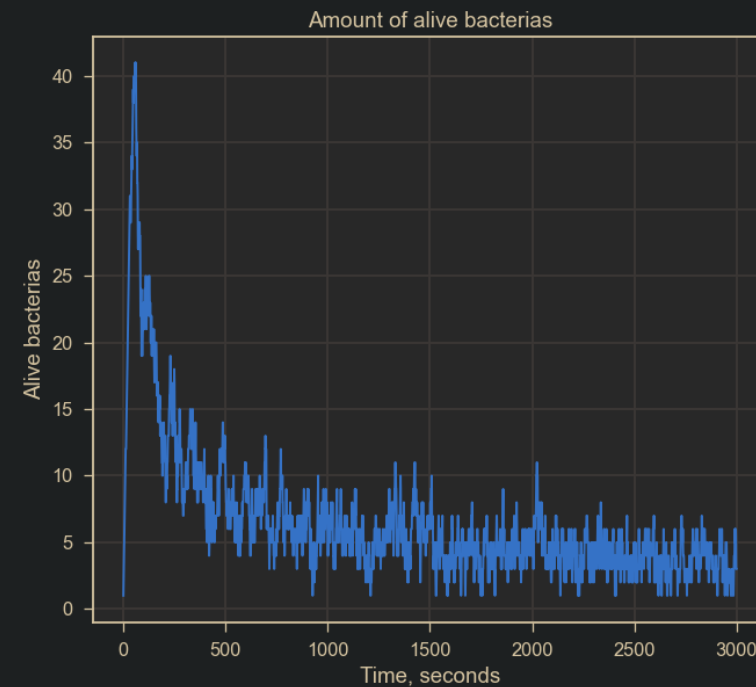
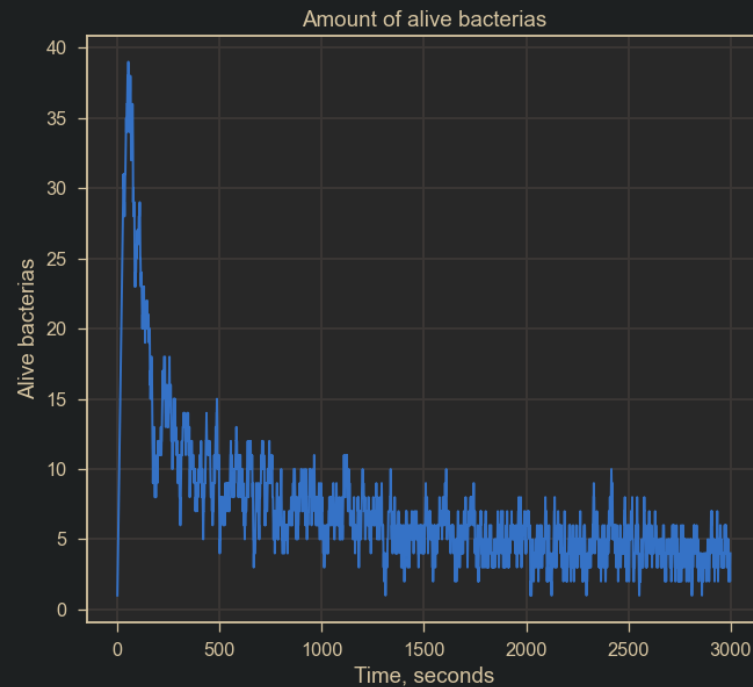
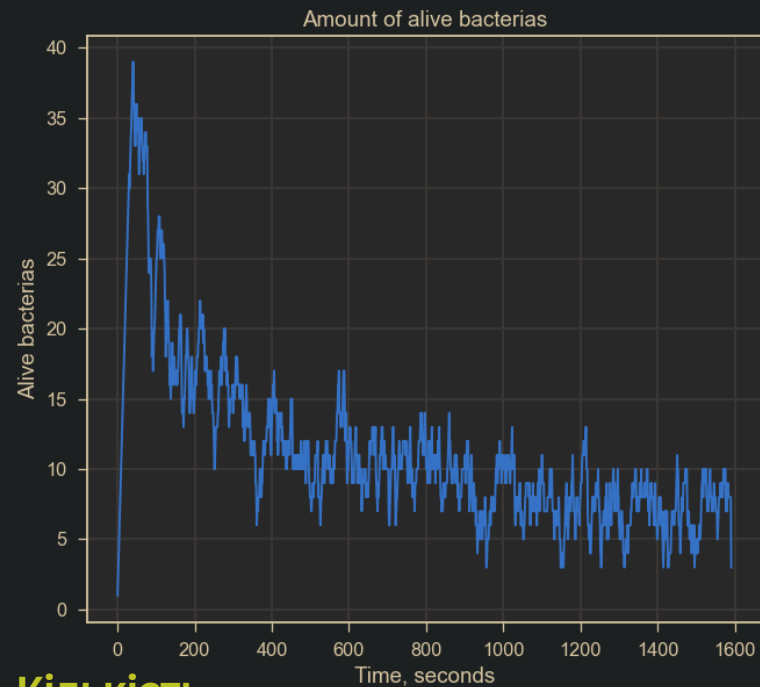
Volume filled by bacterias



Volume filled by bacterias



Розмірність: 3D
V росту: 0,001 м/с

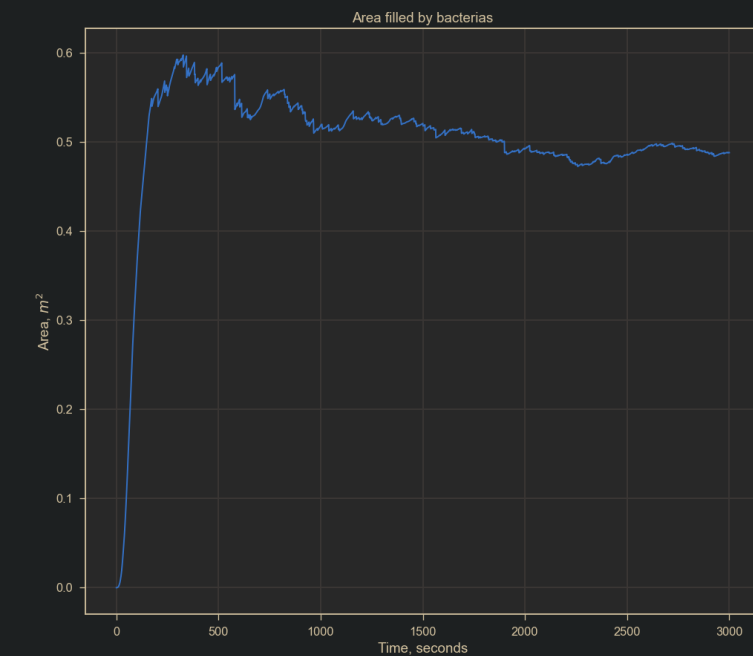


Кількість
дотиків

3

5

7



Розмірність: 2D
V росту: 0,001 м/с

Завдання 6

Для випадку **1D** я вирішив використати той самий спосіб візуалізації, що і в **2D**, але змінивши те, що бактерії тепер з'являються на однаковій координаті **y**.



Зміни в коді

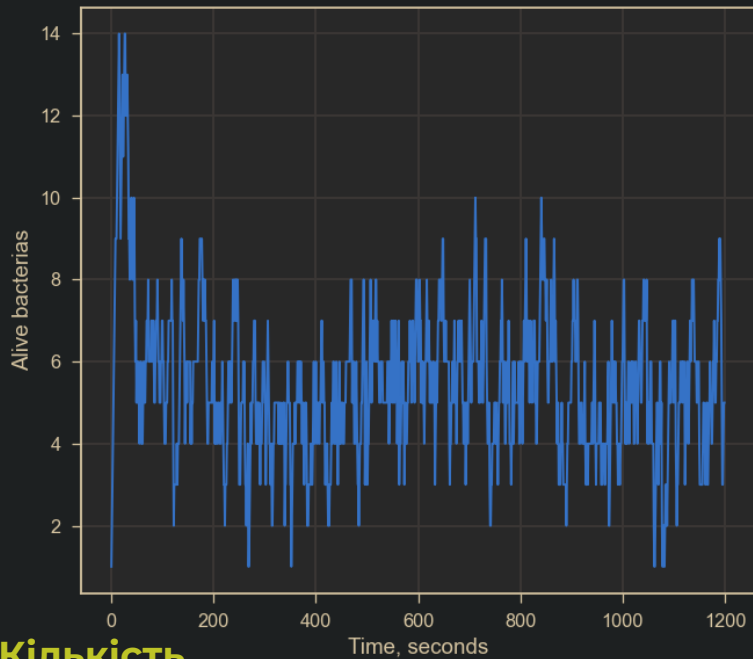
```
bacterias_y = [0.5]*(T*60)
```

```
distance = abs(bacterias_x[i]-bacterias_x[k])
```

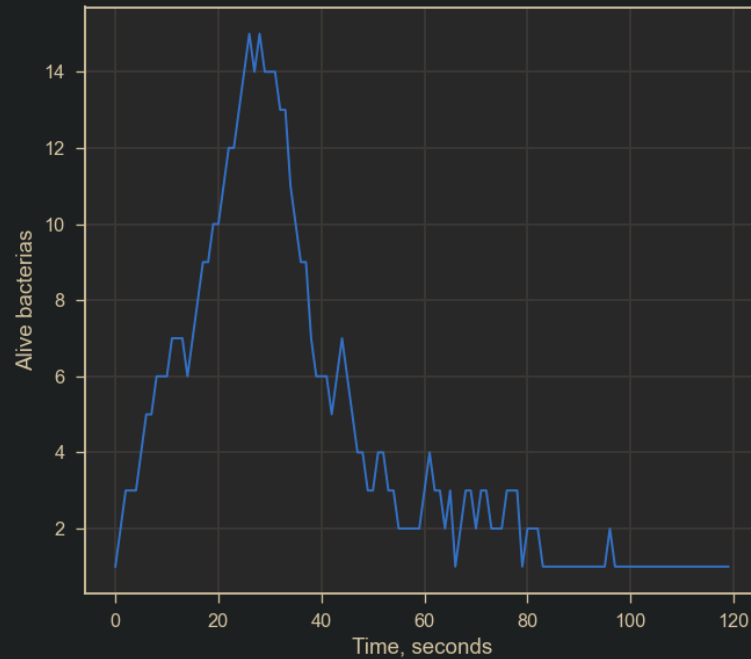
```
# Calculate sum of lengths
```

```
length[t]+=2*bacterias_r[i]
```

Amount of alive bacterias



Amount of alive bacterias

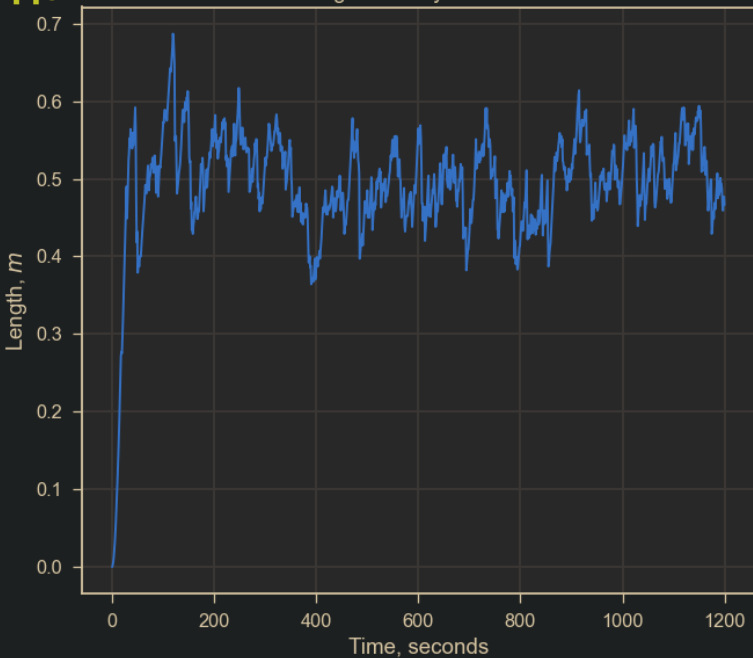


Кількість дотиків має не перевищувати 2.

Кількість дотиків

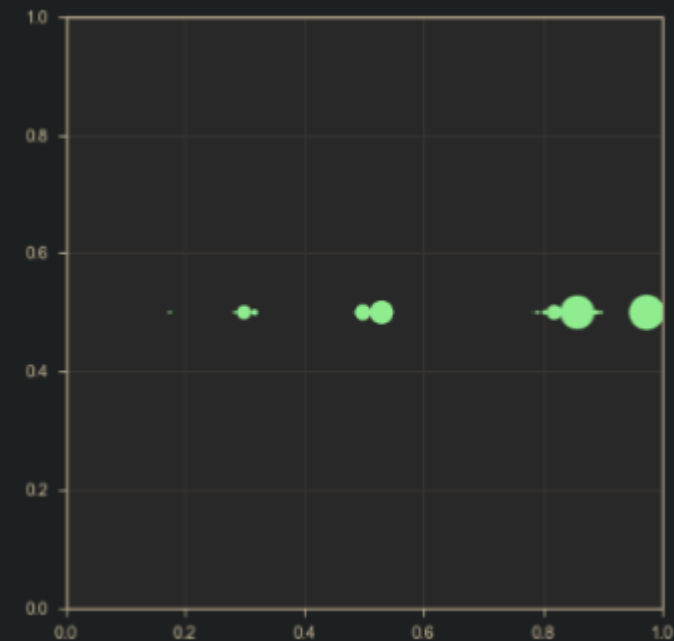
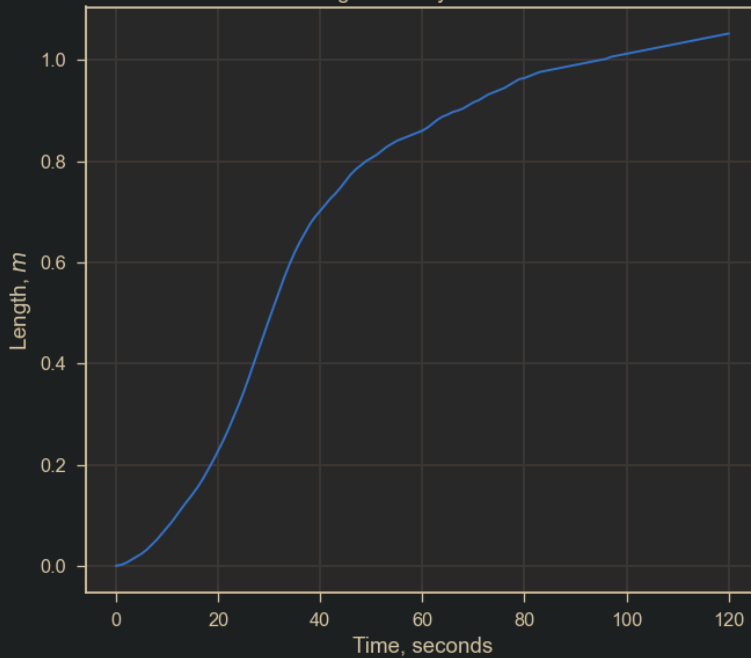
2

Length filled by bacterias



3

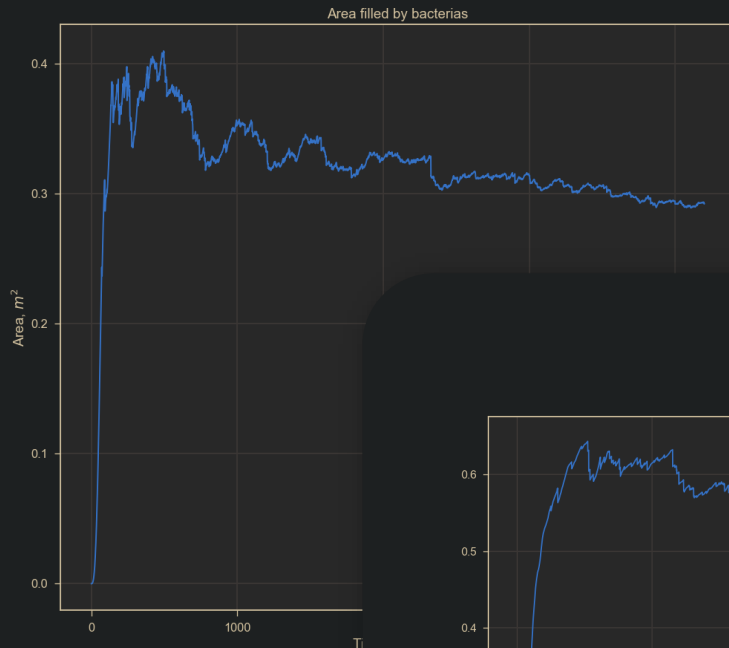
Length filled by bacterias



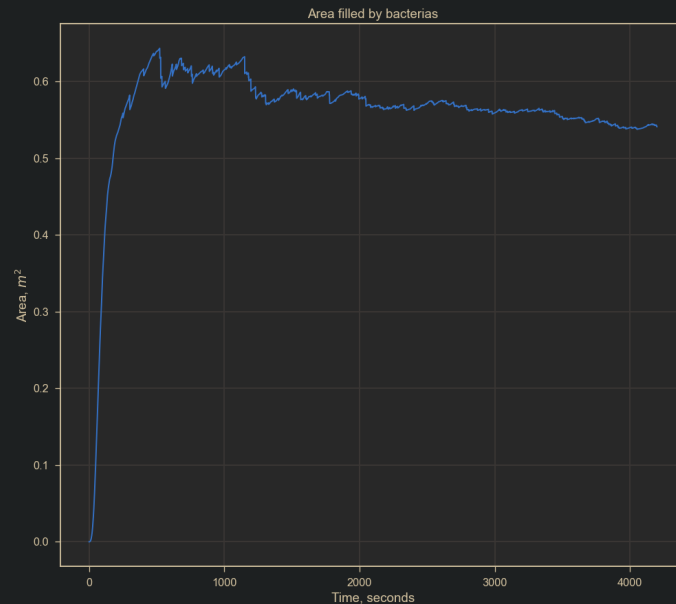
Розмірність: 1D
V росту: 0,001 м/с

Завдання 6

$N = 3$



$N = 7$



Особливості графіків:

1. Сумарна площа дійсно відносно **стабілізується**.
2. Чим більша кількість дотиків, тим краще стабілізується графік.
3. Результуюча площа пропорційна кількості дотиків.
4. Відносно стабілізується також кількість живих бактерій.

Завдання 7

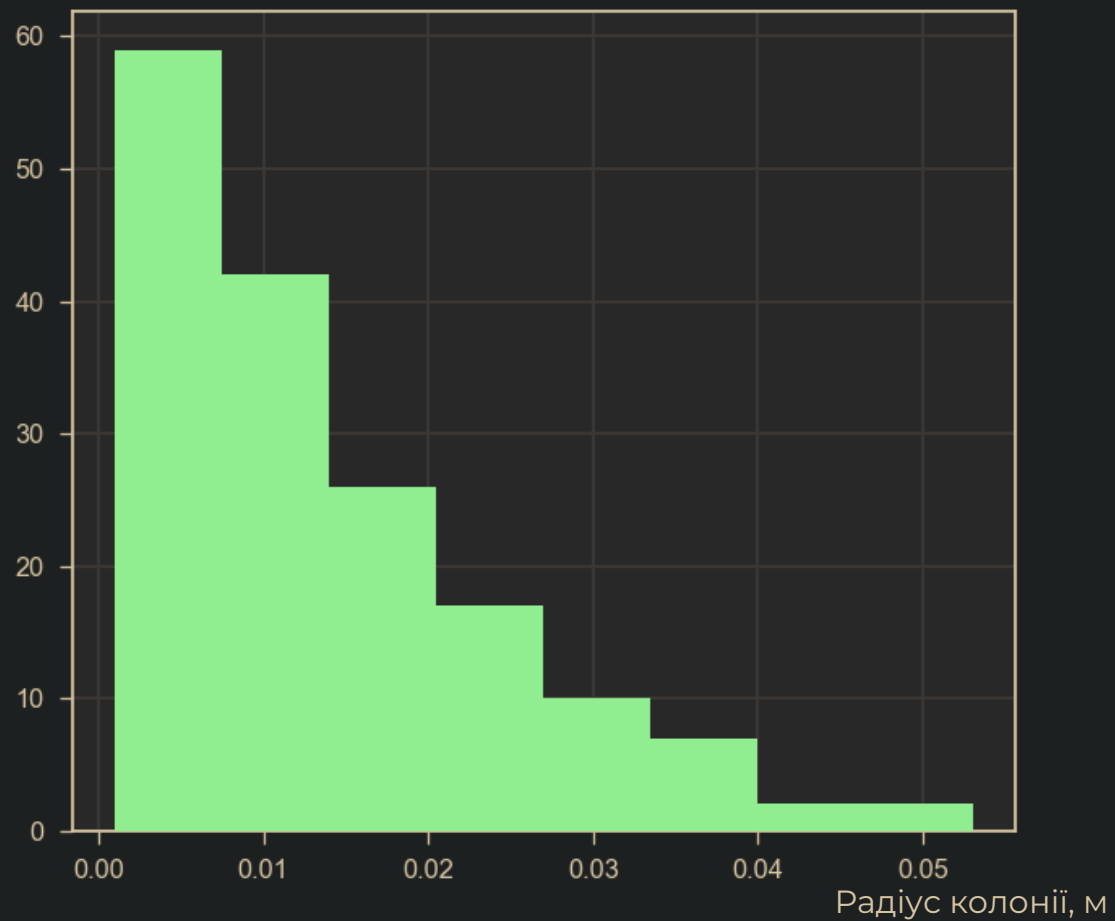
За умов пунктів 5 і 6, знайдіть як через великий проміжок часу колонії будуть розподілені за розмірами?

```
x=[]  
for i in range(0, 10):  
    x+=avg()  
num_bins = 8  
n, bins, patches = plt.hist(x, num_bins, zorder=10, facecolor='lightgreen')  
plt.show()
```

Провести 10 експериментів та записати усі живі бактерії до масиву.

Малювання гістограми з розподілом за розмірами.

Кількість



Розмірність: 3D

В росту: 0,001 м/с

Кількість зіткнень: 7

Час симуляції: 1 година

Кількість експериментів: 10

Опис гістограм

В середньому, чим більше розмір, тим менше бактерій. Це є логічним, оскільки площа зіткнення у колоній із меншим розміром є меншою, тому ймовірність зіткнення також зменшується.



Дякуємо за увагу!

Презентацію і розв'язок підготував:
Шеламанов Артем



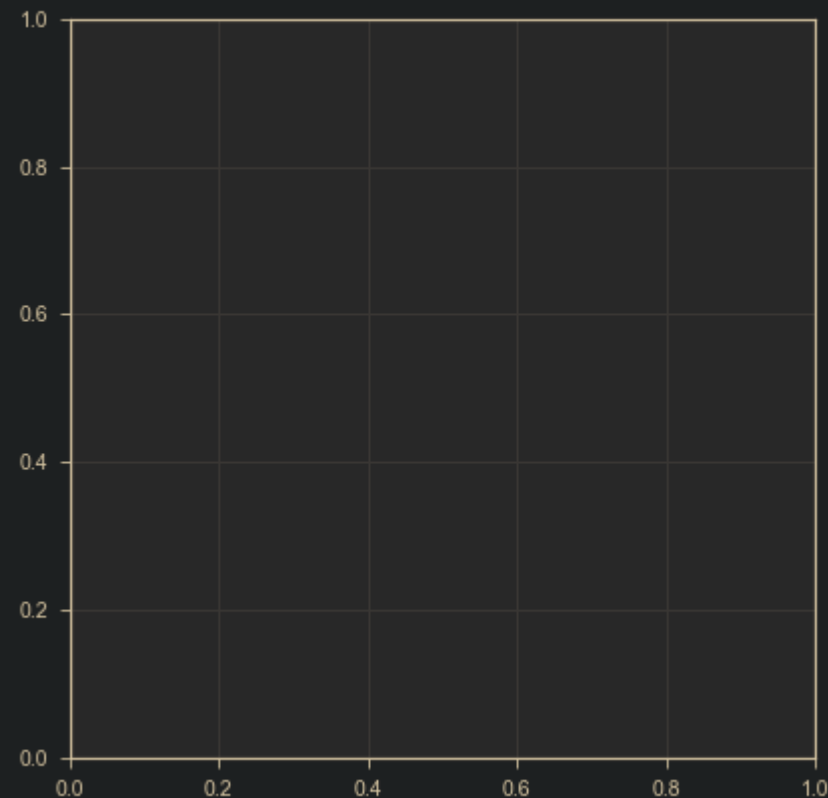
Дніпровський науковий ліцей
інформаційних технологій при ДНУ

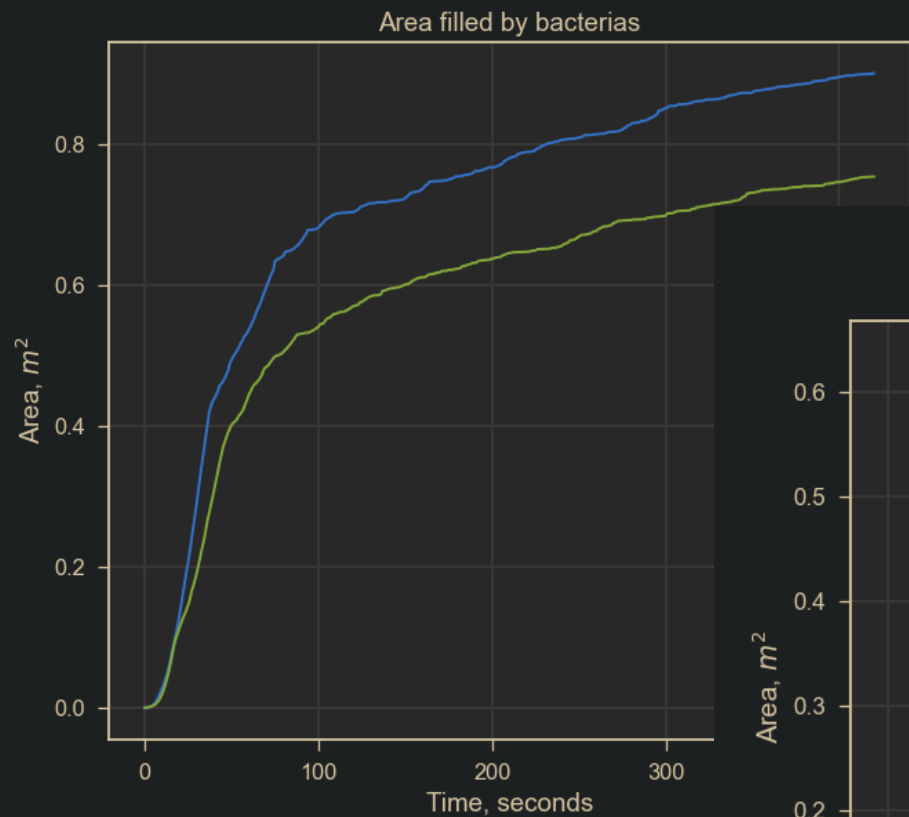
Додаток

Якщо бактерії будуть становитись пасивними під час зіткнень зі стінками, як це вплине на розрахунки?

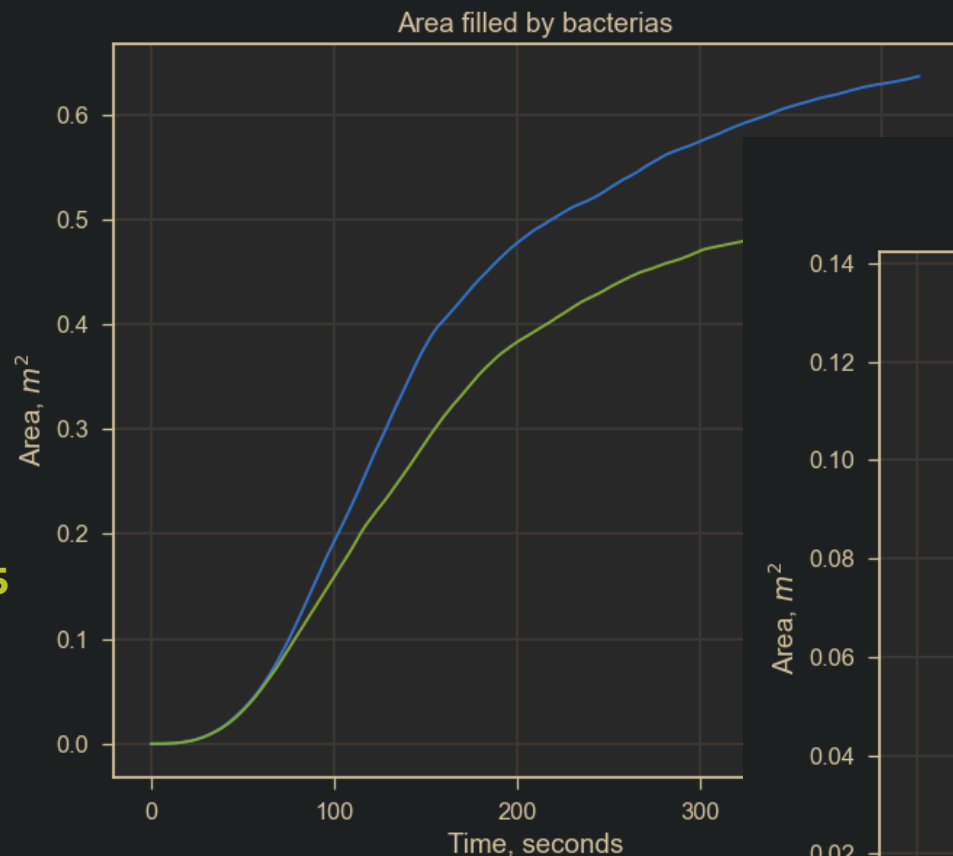
Зміна в коді

```
if collidingWithWalls:
    if bacterias_x[i]<bacterias_r[i]\
    or 1-bacterias_x[i]<bacterias_r[i]\
    or bacterias_y[i]<bacterias_r[i]\
    or 1-bacterias_y[i]<bacterias_r[i]:
        hasCollided = True
        bac_is_growing[i] = False
```

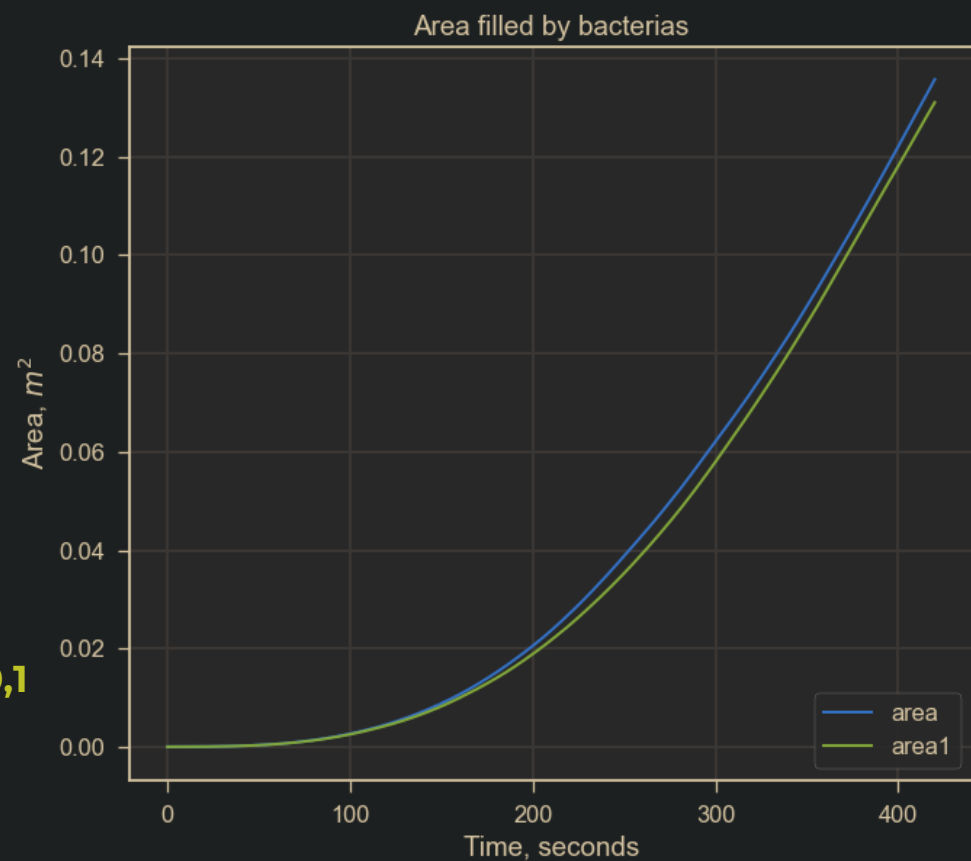




0,005 м/с, похибка – 0,15



0,0005 м/с , похибка – 0,1



0,00005 м/с , похибка – 0,01

Похибка спадає із зменшенням швидкості.

Завдання 6, коли зіткнення не одночасні

Голодні колонії: якщо колонія дотикається 5-ти інших вона зникає з пробірки повністю і моментально. Дослідіть чи стабілізується сумарна площа (об'єм колоній) через великий проміжок часу. Чи буде картина якісно інша для іншої кількості дотиків що призводять до зникнення? Тут також цікавим стає випадок колоній-відрізків що розмножуються на прямій.

Зміни в коді

```
bacterias_eaten = [0]*(T*60)
```

В алгоритмі зіткнення колоній:

```
bacterias_eaten[k]+=1
```

```
bacterias_eaten[i]+=1
```

```
if bacterias_eaten[k]>=5:
```

```
    bacterias_r[k] = 0
```

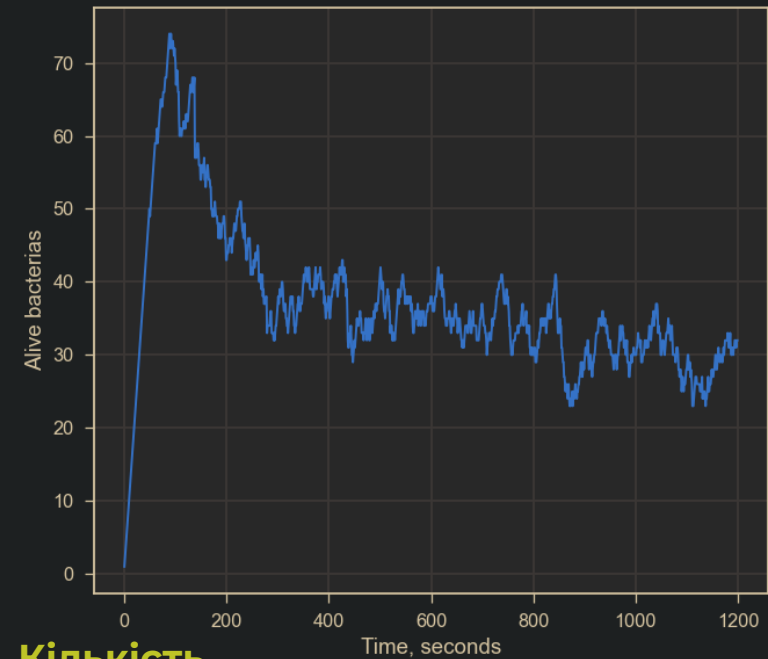
```
    bacterias_x[k] = -100
```

```
if bacterias_eaten[i]>=5:
```

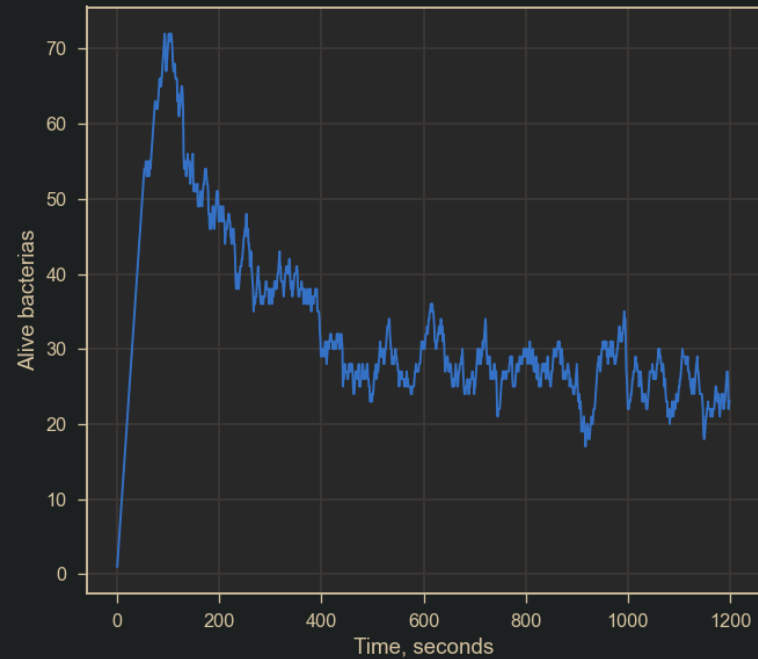
```
    bacterias_r[i] = 0
```

```
    bacterias_x[i] = -100
```

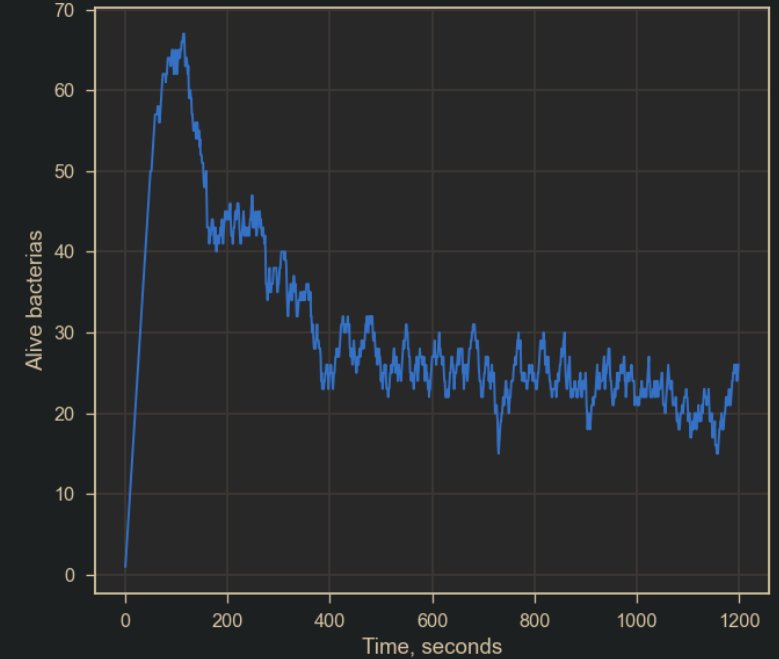
Amount of alive bacterias



Amount of alive bacterias



Amount of alive bacterias



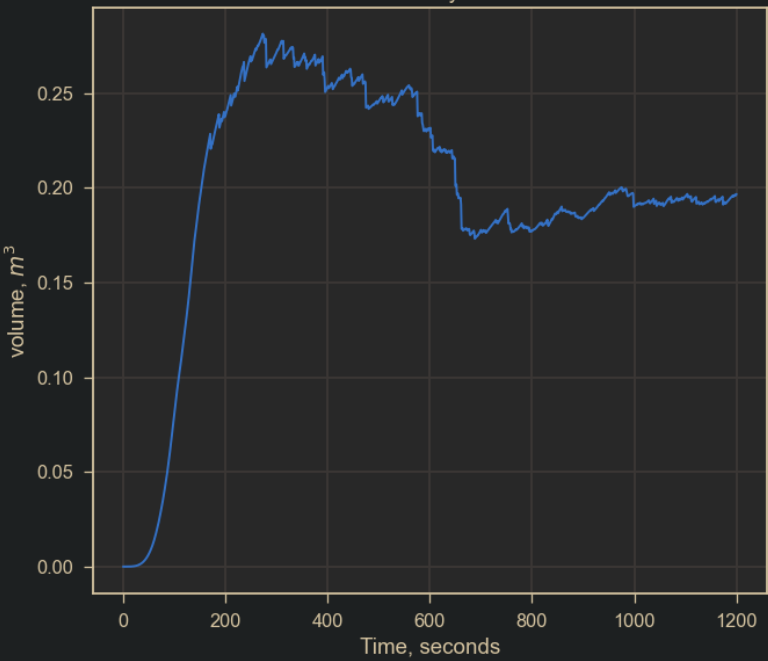
Кількість
дотиків

3

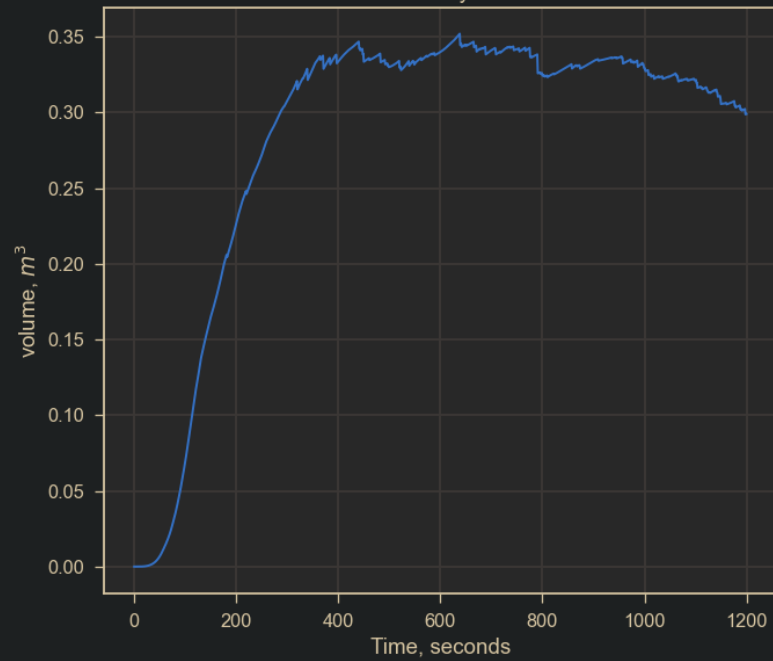
5

7

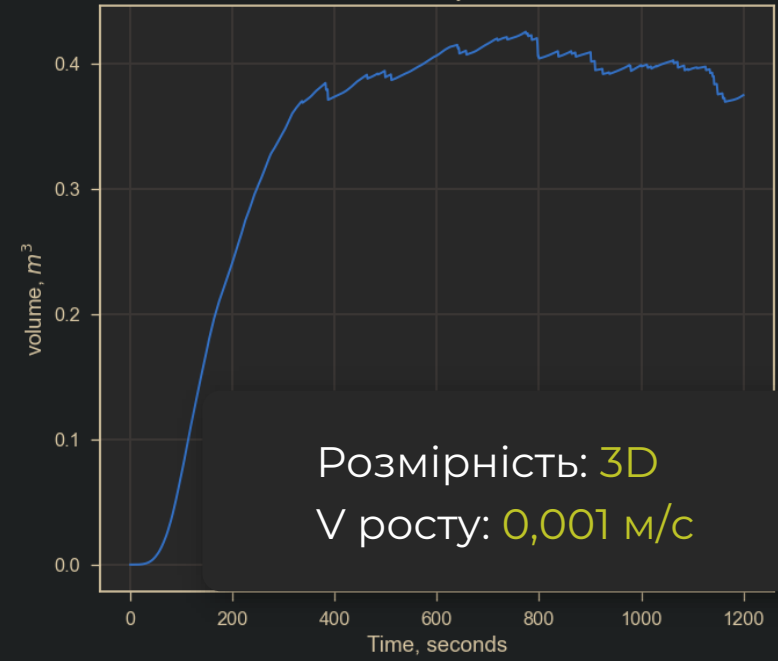
Volume filled by bacterias



Volume filled by bacterias

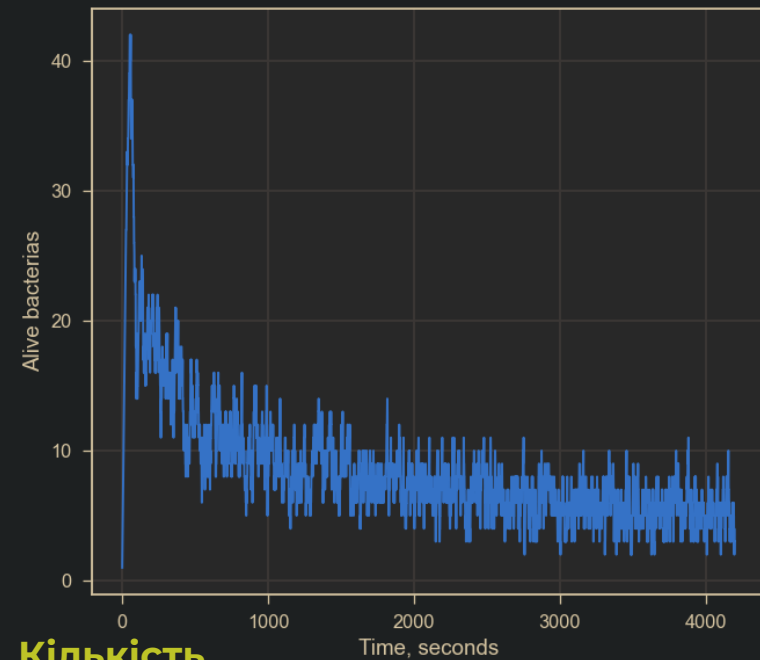


Volume filled by bacterias

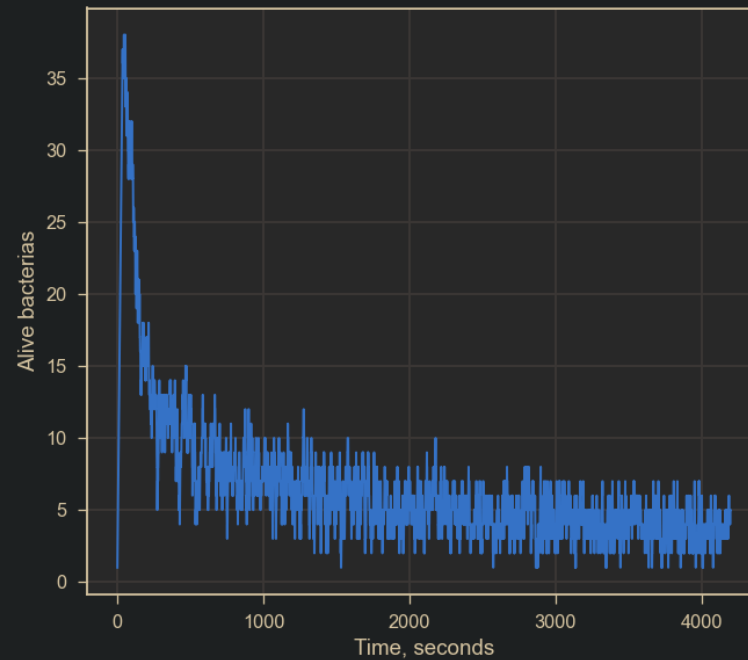


Розмірність: 3D
V росту: 0,001 м/с

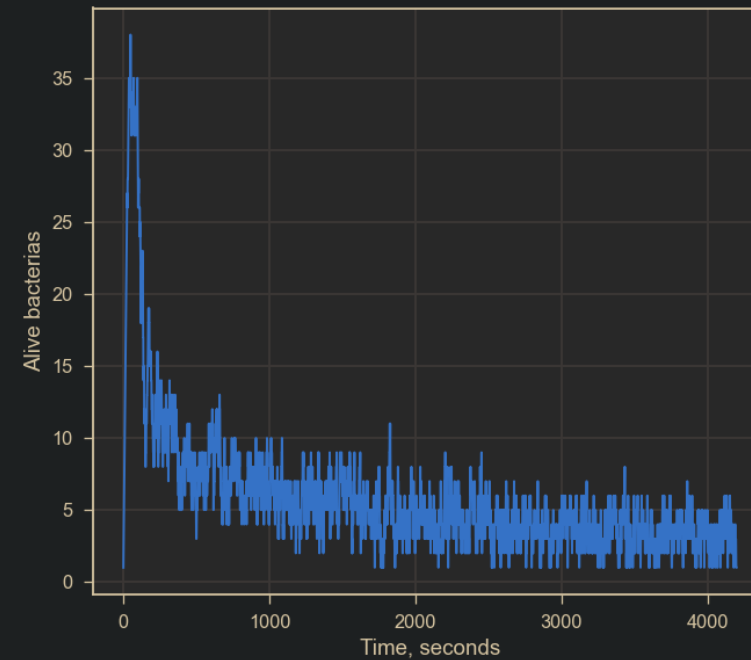
Amount of alive bacterias



Amount of alive bacterias



Amount of alive bacterias



Кількість
дотиків

3

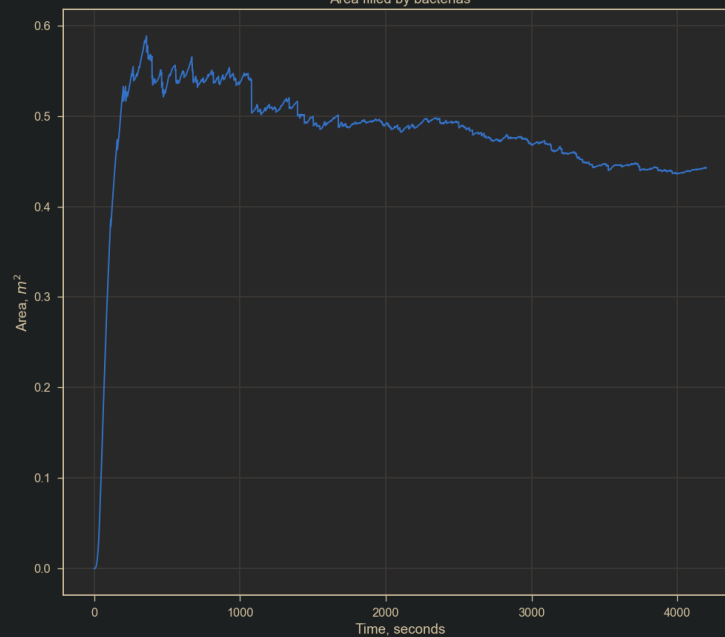
5

7

Area filled by bacterias



Area filled by bacterias

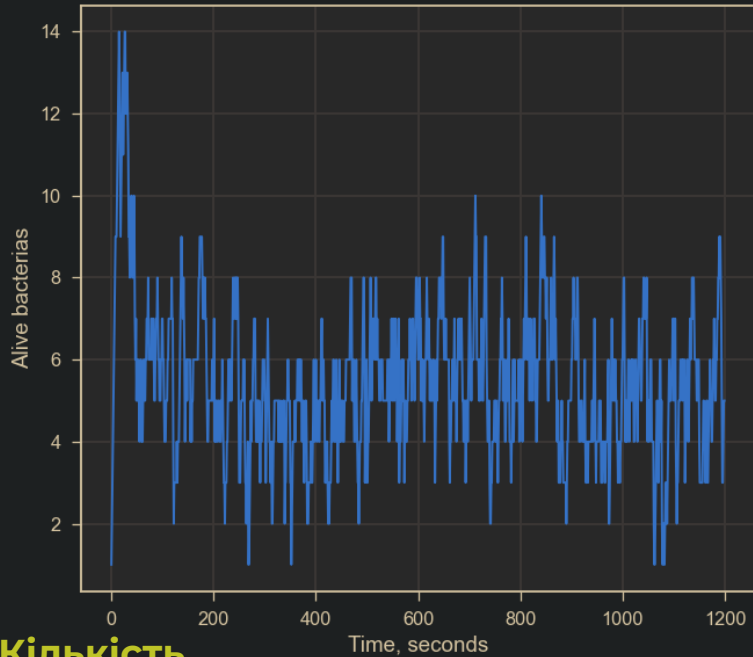


Area filled by bacterias

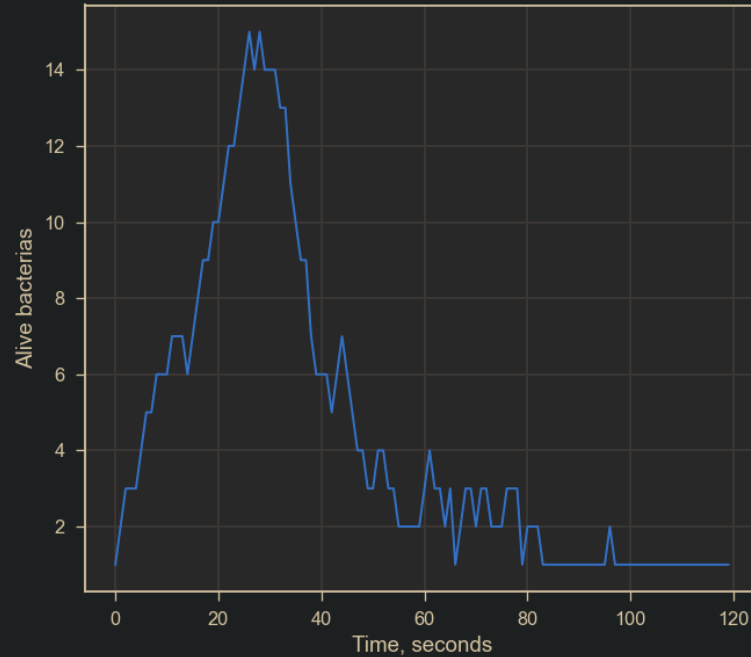


Розмірність: 2D
V росту: 0,001 м/с

Amount of alive bacterias



Amount of alive bacterias

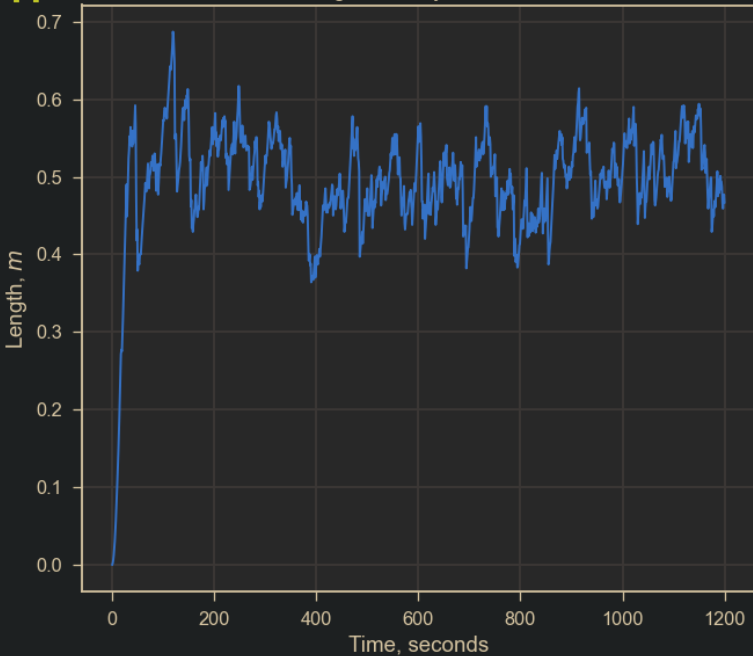


Кількість дотиків має не перевищувати 2.

Кількість дотиків

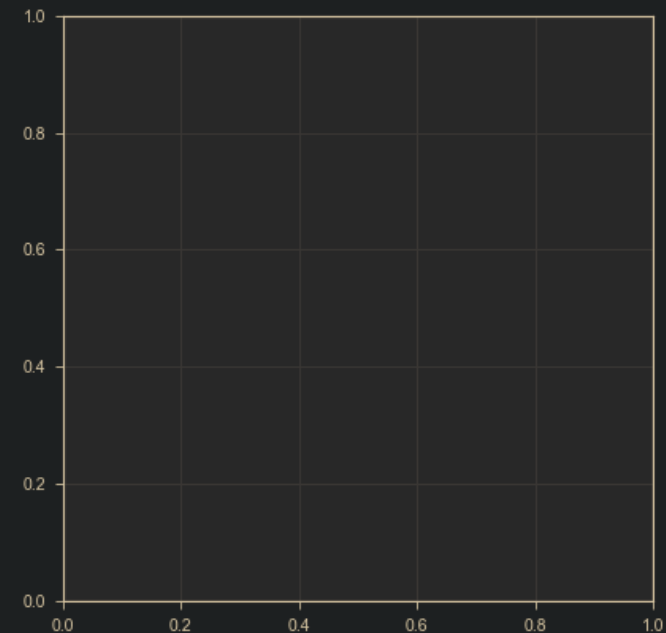
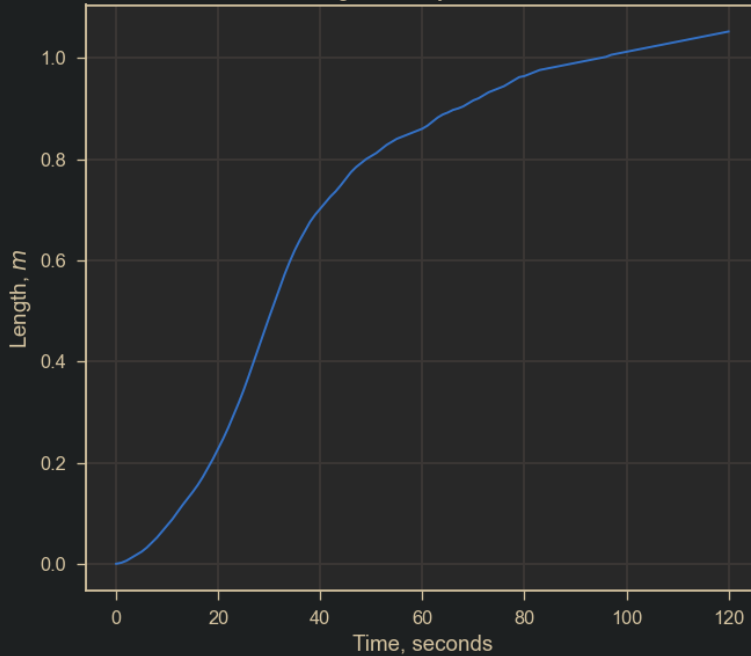
2

Length filled by bacterias



3

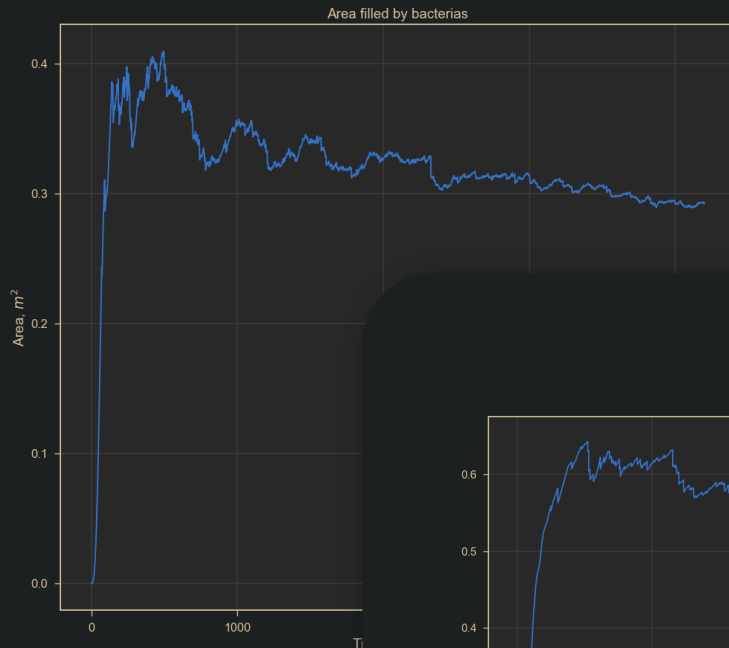
Length filled by bacterias



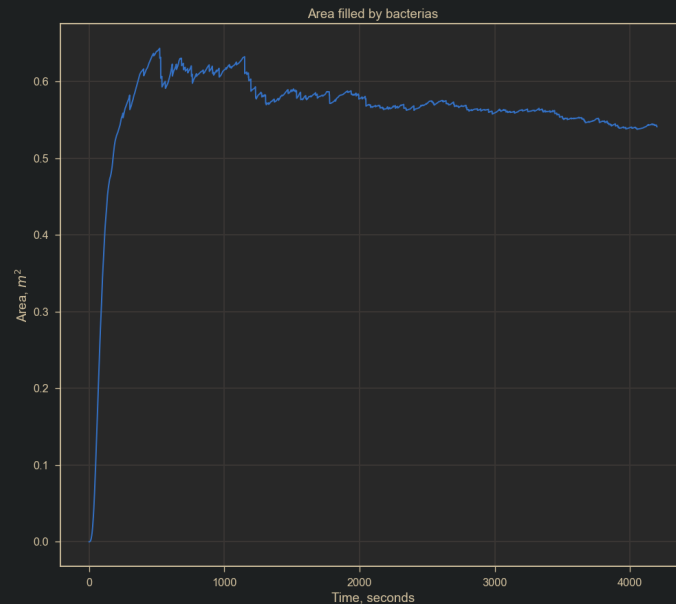
Розмірність: 1D
V росту: 0,001 м/с

Завдання 6

$N = 3$



$N = 7$



Особливості графіків:

1. Сумарна площа дійсно відносно **стабілізується**.
2. Чим більша кількість дотиків, тим краще стабілізується графік.
3. Результуюча площа пропорційна кількості дотиків.
4. Відносно стабілізується також кількість живих бактерій.