

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ  
СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет інформатики та обчислювальної техніки**

**Кафедра інформатики та програмної інженерії**

**Звіт по лабораторній роботі №5**

**«Моделювання систем»**

**«ФОРМАЛІЗАЦІЯ ДИСКРЕТНО-ПОДІЙНИХ СИСТЕМ  
СТОХАСТИЧНОЮ МЕРЕЖЕЮ ПЕТРІ»**

Студент: Галько М.В.

Група: ІІІ-01

**Київ, 2023**

## **ЗМІСТ**

<b>Завдання 1</b>	<b>2</b>
Опис	2
Виконання	3
Статистика	5
Визначення статистичних характеристик	6
<b>Завдання 2</b>	<b>6</b>
Опис	7
Виконання	7
Статистика	11
Визначення статистичних характеристик	14
<b>Завдання 3</b>	<b>15</b>
Опис	15
Виконання	16
Статистика	18
Визначення статистичних характеристик	19
<b>Завдання 4</b>	<b>20</b>
Опис	20
Виконання	21
Статистика	22
Визначення статистичних характеристик	23
<b>Висновок</b>	<b>24</b>

## Завдання 1

### Опис

Розробити мережу Петрі для наступної задачі **(20 балів)**: Конвеєрна система складається з п'ятих обслуговуючих пристроїв, розташованих уздовж стрічки конвеєра. Деталі надходять на опрацювання на перший пристрій із постійною швидкістю, рівної 4 одиниці за 1 хвилину. Тривалість обслуговування на кожному пристрої розподілена за експоненціальним законом з математичним сподіванням 1 хвилину. Вільного місця перед кожним конвеєром немає, тому пристрій може зняти деталь із конвеєра, тільки якщо знаходиться в стані «вільний». Якщо перший пристрій вільний, то деталь обробляється на ньому. По закінченні оброблення деталь залишає систему. Якщо перший пристрій зайнятий у момент надходження деталі, деталь по конвеєру надходить до другого пристрою. Інтервал проходження деталі між пристроями дорівнює 1 хвилину. Якщо при прямуванні деталі по конвеєру всі пристрої були зайняті, вона повертається до першого пристрою з затримкою 5 хвилин. Метою моделювання є визначення статистичних характеристик часу перебування деталі в системі, завантаження обслуговуючих пристроїв і кількості зайнятих пристроїв.

## Виконання

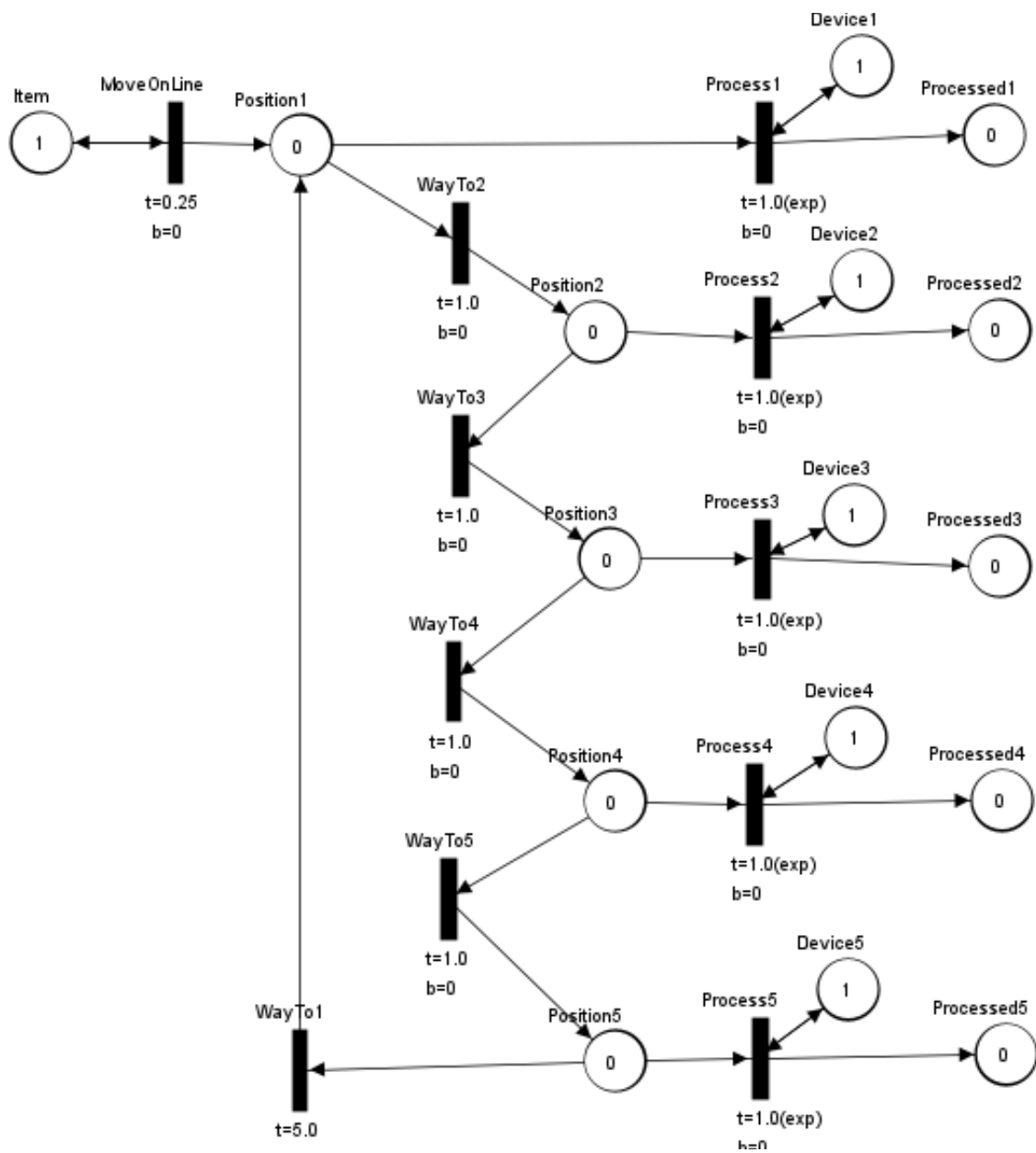


Рисунок 1.1 – Схема мережі Петрі для конвеєрної системи

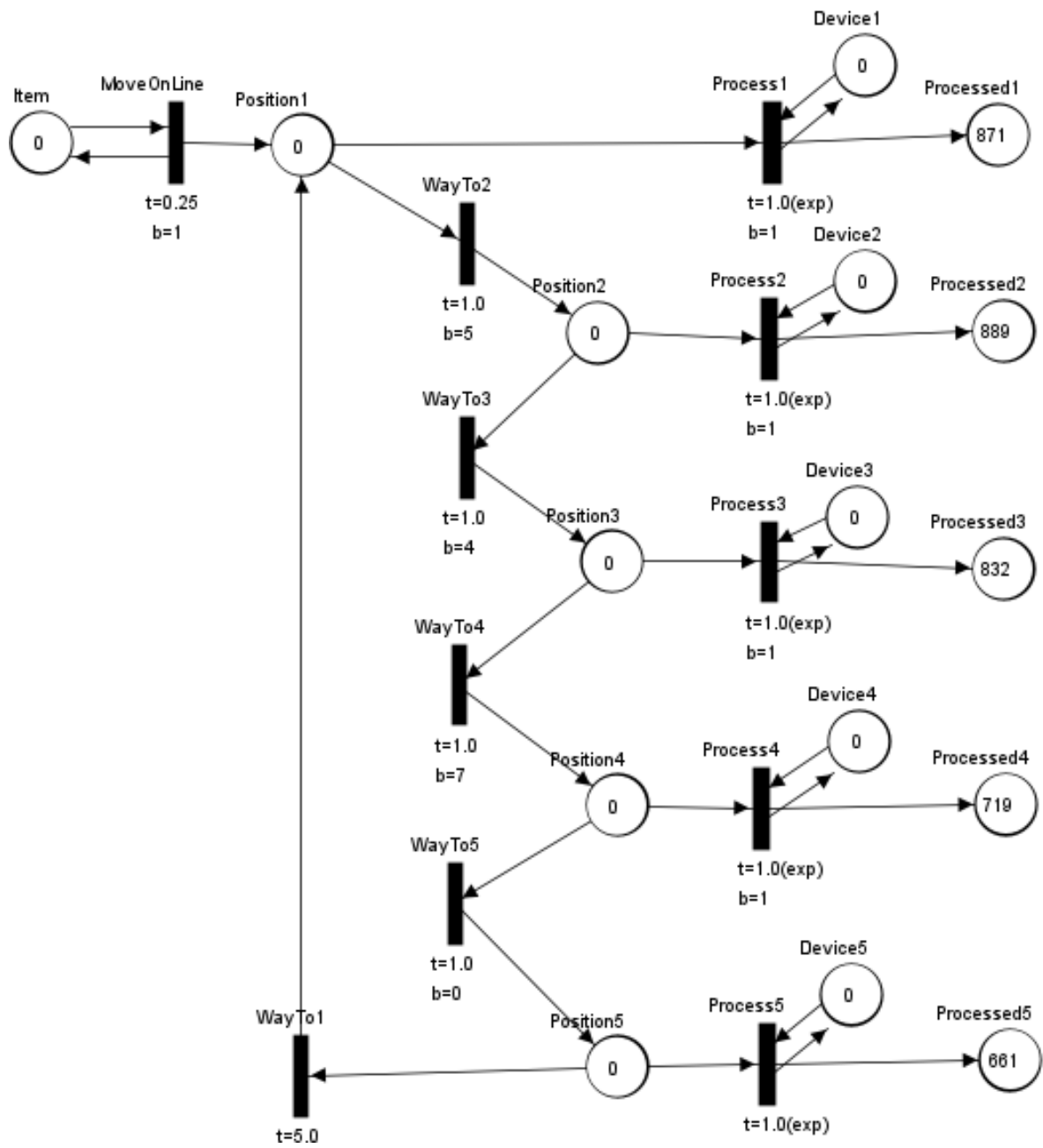


Рисунок 1.2 – Стан мережі після симуляції 1000

## Статистика

Statistics of Petri net places:	Statistics of Petri net s:
<p>Item: mean value = 0.0  max value = 1.0  min value = 0.0</p> <p>Position1: mean value = 0.0  max value = 8.0  min value = 0.0</p> <p>Processed1: mean value = 424.65496242  max value = 871.0  min value = 0.0</p> <p>Device1: mean value = 0.116212420667  max value = 1.0  min value = 0.0</p> <p>Position2: mean value = 0.0  max value = 8.0  min value = 0.0</p> <p>Device2: mean value = 0.151854083434  max value = 1.0  min value = 0.0</p> <p>Processed2: mean value = 439.15410408  max value = 889.0  min value = 0.0</p> <p>Position3: mean value = 0.0  max value = 8.0  min value = 0.0</p> <p>Device3: mean value = 0.208654628283  max value = 1.0  min value = 0.0</p> <p>Processed3: mean value = 402.75665462  max value = 832.0  min value = 0.0</p> <p>Position4: mean value = 0.0  max value = 7.0  min value = 0.0</p> <p>Processed4: mean value = 357.18320453  max value = 719.0  min value = 0.0</p> <p>Device4: mean value = 0.269704532415  max value = 1.0</p>	<p>MoveOnLine has mean value 1.0  max value = 1.0  min value = 0.0</p> <p>Process1 has mean value 0.88378757  max value = 1.0  min value = 0.0</p> <p>WayTo2 has mean value 5.396000000000024  max value = 19.0  min value = 0.0</p> <p>Process2 has mean value 0.8481459165653832  max value = 1.0  min value = 0.0</p> <p>WayTo3 has mean value 4.501749999999993  max value = 18.0  min value = 0.0</p> <p>Process3 has mean value 0.7913453717163449  max value = 1.0  min value = 0.0</p> <p>WayTo4 has mean value 3.663499999999996  max value = 18.0  min value = 0.0</p> <p>Process4 has mean value 0.730295467584167  max value = 1.0  min value = 0.0</p> <p>WayTo5 has mean value 2.9400000000000004  max value = 17.0  min value = 0.0</p> <p>Process5 has mean value 0.6397673625163165  max value = 1.0  min value = 0.0</p> <p>WayTo1 has mean value 11.374499999999998  max value = 36.0  min value = 0.0</p>

min value = 0.0 Processed5: mean value = 343.98198263 max value = 661.0 min value = 0.0 Device5: mean value = 0.360232637483 max value = 1.0 min value = 0.0 Position5: mean value = 0.0 max value = 7.0 min value = 0.0	
---	--

### Визначення статистичних характеристик

1. Час перебування деталі в системі:

$$\sum_{i=1}^5 DeviceMean_i * (\sum_{t=2}^i WayTo_t)$$

де DeviceMean – значення навантаження пристрою і;

$\sum_{t=2}^i WayTo_t$  – загальний час необхідний деталі, щоб дістатися до

пристрою.

2. Завантаження обслуговуючих пристроїв відображено у таблиці як і-ий Process mean value;

3. Кількість зайнятих пристроїв:

$$\sum_{i=1}^5 DeviceMean_i$$

де DeviceMean – значення навантаження пристрою і.

## Завдання 2

### Опис

Розробити мережу Петрі для наступної задачі **(25 балів)**:

Експериментальна роботизована гнучка виробнича система має два верстати із числовим пультом керування, три роботи, пункт прибуття і склад оброблених деталей. Деталі прибувають на пункт прибуття кожні 40 секунд згідно з експоненціальним законом розподілу, захоплюються одним з вільних роботів і переміщуються ним до першого верстата, після чого робот звільняється. Після завершення обробки на першому верстаті деталь захоплюється одним з роботів і переміщується на другий верстат, а після обробки на другому верстаті – одним з роботів переміщується на склад оброблених деталей. Кожний з верстатів може одночасно обробляти до трьох деталей. Час переміщення робота між пунктом прибуття та першим верстатом, першим і другим верстатом, другим верстатом та пунктом зберігання оброблених деталей складає відповідно 6, 7, і 5 секунд незалежно від того, холостий це хід, чи ні. Роботу потрібний час  $8 \pm 1$  секунд на захоплення або вивільнення деталей. Час обробки на першому верстаті розподілений за нормальним законом із середнім значенням 60 секунд і стандартним відхиленням 10 секунд. Середній час обробки на другому верстаті дорівнює 100 секунд і має експоненціальний закон розподілу. Метою моделювання є визначення найкращого (з точки зору підвищення пропускну здатності гнучкої виробничої системи) способу закріплення роботів до операцій. Варіанти закріплення:

- 1) по одному роботу на кожний з трьох шляхів переміщення деталей (пункт прибуття – перший верстат, перший верстат – другий верстат, другий верстат, склад);
- 2) кожний робот може використовуватися на кожному шляху переміщення деталей (при цьому повинен займатися найближчий з роботів).



## Виконання

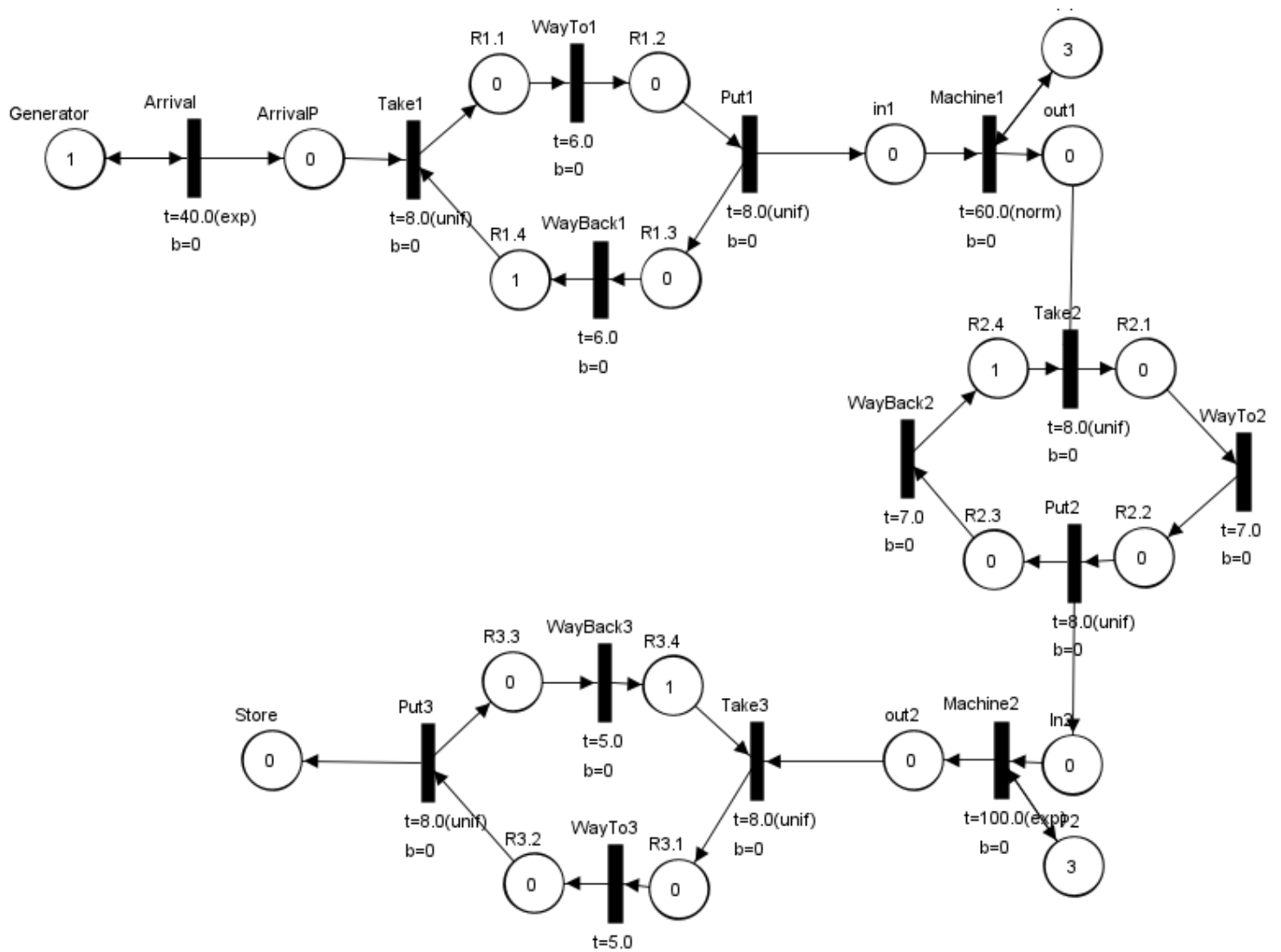


Рисунок 2.1 – Схема мережі Петрі для роботизованої системи варіант 1

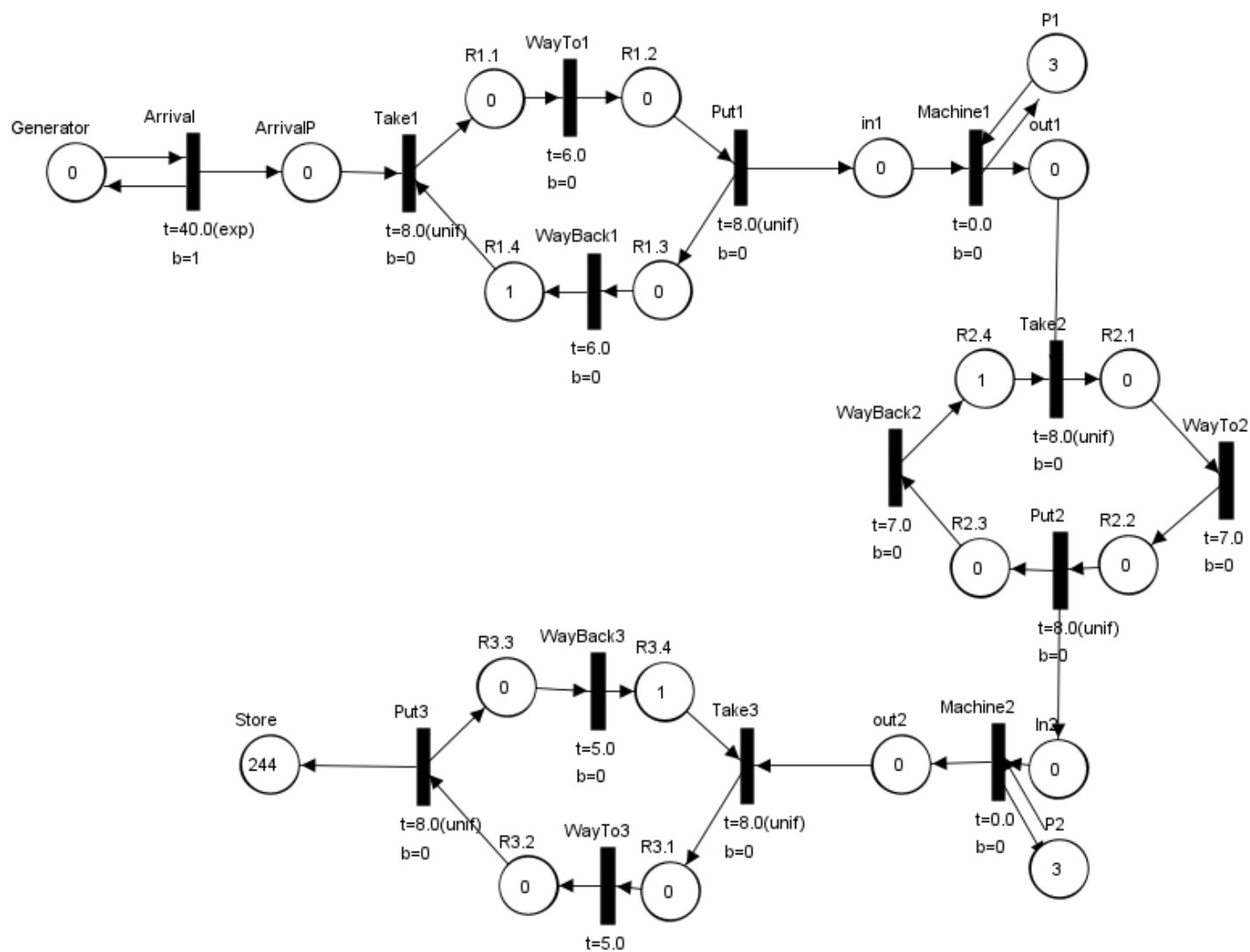


Рисунок 2.2 – Стан мережі після симуляції 10 000 варіант 1

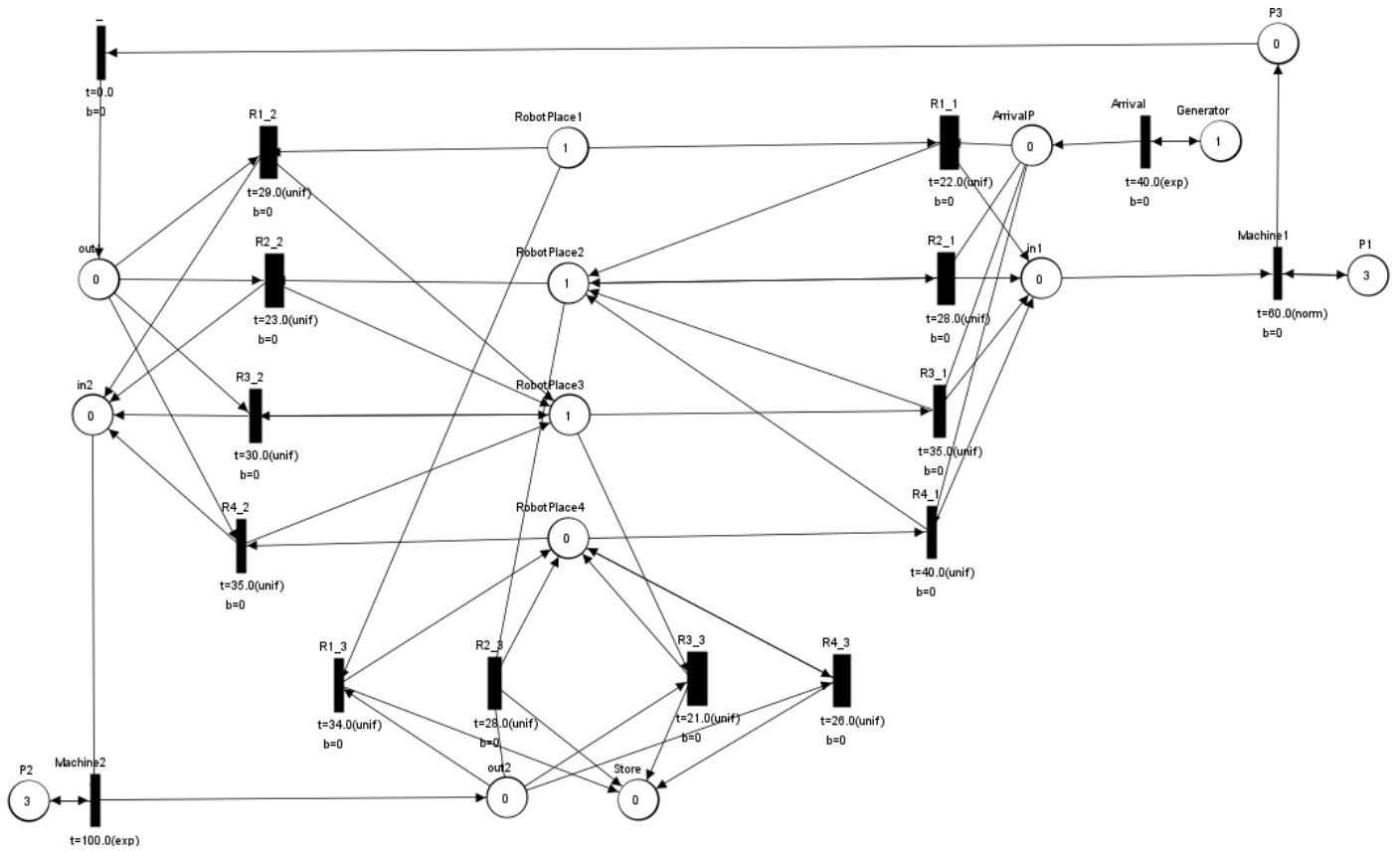


Рисунок 2.3 – Схема мережі Петрі для роботизованої системи варіант 2

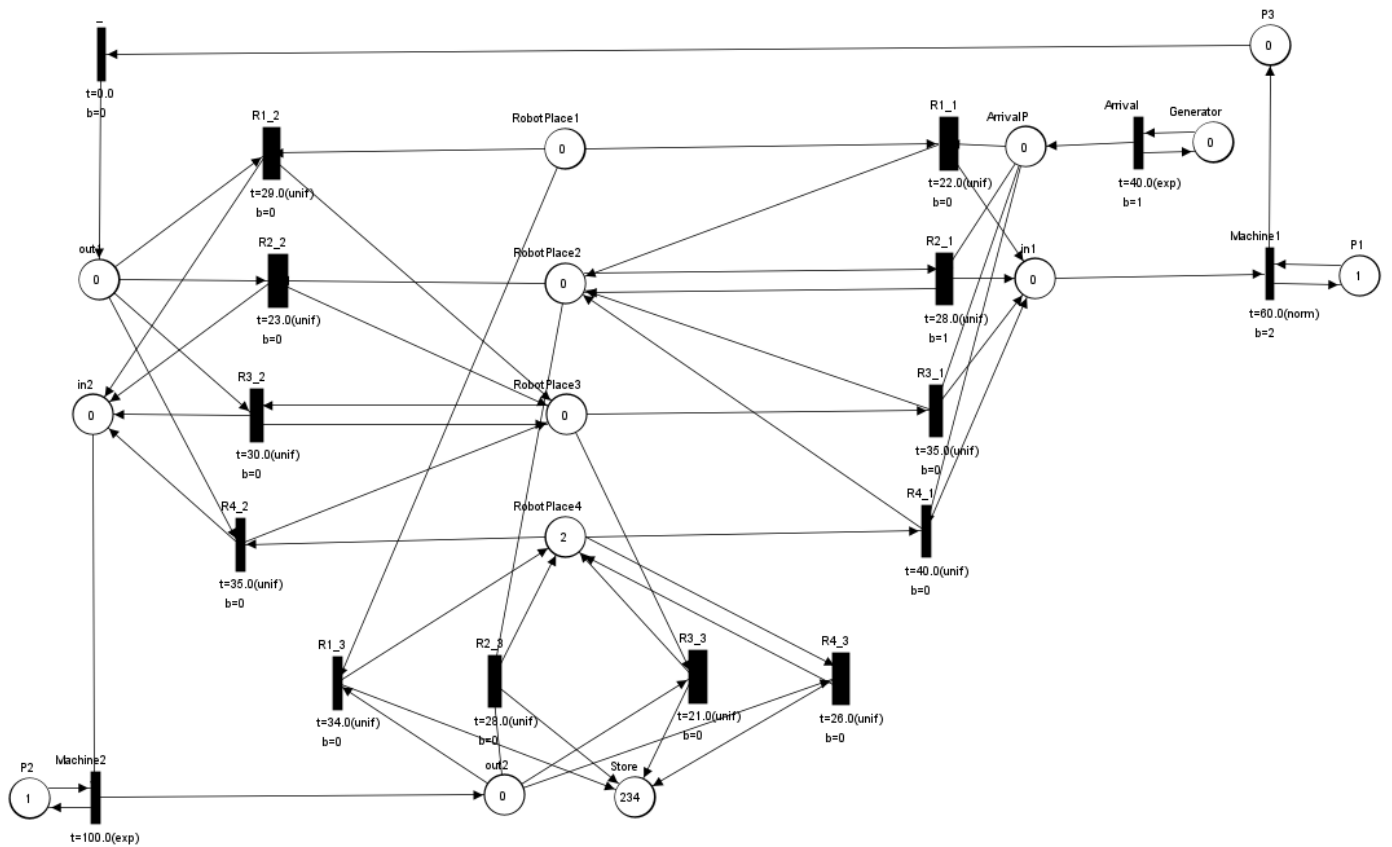


Рисунок 2.4 – Стан мережі після симуляції 10 000 варіант 2

## Статистика

Petri net places вариант 1	Petri net s вариант 1
Generator: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 ArrivalP: mean value = 0.551956092755775 max value = 4.0 min value = 0.0 R1.4: mean value = 0.3167999999999988 max value = 1.0 min value = 0.0 P1: mean value = 3.0 max value = 3.0 min value = 2.0 R1.1: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 R1.2: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 in1: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 R1.3: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 R2.4: mean value = 0.268 max value = 1.0 min value = 0.0 R2.3: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 R2.1: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 R2.2: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 out1: mean value = 0.14400037243374667 max value = 2.0	Take1 has mean value 0.1951999999999962 max value = 1.0 min value = 0.0 Arrival has mean value 1.0 max value = 1.0 min value = 0.0 Machine1 has mean value 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 WayTo1 has mean value 0.1463999999999998 max value = 1.0 min value = 0.0 WayBack1 has mean value 0.1463999999999992 max value = 1.0 min value = 0.0 Put1 has mean value 0.19520000000000002 max value = 1.0 min value = 0.0 Put2 has mean value 0.1951999999999996 max value = 1.0 min value = 0.0 WayBack2 has mean value 0.1707999999999998 max value = 1.0 min value = 0.0 WayTo2 has mean value 0.17079999999999976 max value = 1.0 min value = 0.0 Take2 has mean value 0.1952 max value = 1.0 min value = 0.0 Machine2 has mean value 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 WayTo3 has mean value 0.12199999999999989 max value = 1.0 min value = 0.0 Put3 has mean value 0.1951999999999997 max value = 1.0

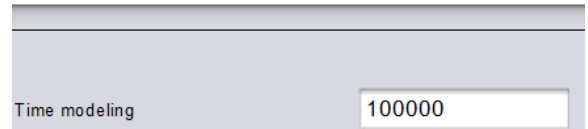
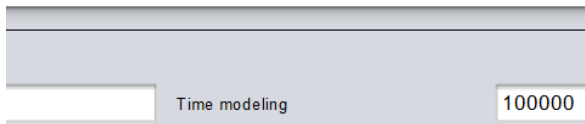
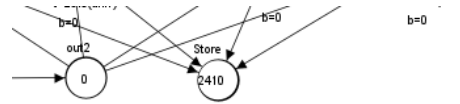
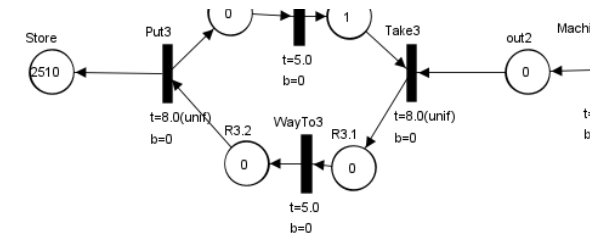
min value = 0.0 In2: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 out2: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 R3.3: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 R3.4: mean value = 0.36559999999999987 max value = 1.0 min value = 0.0 R3.1: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 R3.2: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 P2: mean value = 3.0 max value = 3.0 min value = 2.0 Store: mean value = 115.36505936612697 max value = 244.0 min value = 0.0	min value = 0.0 WayBack3 has mean value 0.12199999999999998 max value = 1.0 min value = 0.0 Take3 has mean value 0.19520000000000004 max value = 1.0 min value = 0.0
--	--

Statistics of Petri net places вариант 2	Statistics of Petri net s вариант 2
Generator: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 ArrivalP: mean value = 0.1813662149822202 max value = 3.0 min value = 0.0 P1: mean value = 1.5656126852523233 max value = 3.0 min value = 0.0 in1: mean value = 0.0642468378385888 max value = 3.0	Arrival has mean value 1.0 max value = 1.0 min value = 0.0 Machine1 has mean value 1.4343873147476767 max value = 3.0 min value = 0.0 Machine2 has mean value 2.620412988992055 max value = 3.0 min value = 0.0 R1_1 has mean value 0.0021222317447277743 max value = 1.0 min value = 0.0

min value = 0.0 out1: mean value = 0.1124187612129249 max value = 3.0 min value = 0.0 out2: mean value = 0.10254780410326227 max value = 3.0 min value = 0.0 P2: mean value = 0.3795870110079422 max value = 3.0 min value = 0.0 RobotPlace1: mean value = 0.009578992074398036 max value = 1.0 min value = 0.0 RobotPlace2: mean value = 0.3052497838799837 max value = 3.0 min value = 0.0 RobotPlace3: mean value = 0.2571346884526378 max value = 3.0 min value = 0.0 RobotPlace4: mean value = 0.3954321646315742 max value = 3.0 min value = 0.0 P3: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 in2: mean value = 2.653571940209171 max value = 13.0 min value = 0.0 Store: mean value = 107.85250533054555 max value = 234.0 min value = 0.0	R2_1 has mean value 0.24502621980411807 max value = 3.0 min value = 0.0 R3_1 has mean value 0.28038791998481766 max value = 3.0 min value = 0.0 R4_1 has mean value 0.28233561281097175 max value = 3.0 min value = 0.0 R4_2 has mean value 0.19584564603656304 max value = 3.0 min value = 0.0 R2_2 has mean value 0.27485566791030425 max value = 3.0 min value = 0.0 R3_2 has mean value 0.18148903511036638 max value = 2.0 min value = 0.0 R1_2 has mean value 0.0 max value = 0.0 min value = 0.0 _ has mean value 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 R1_3 has mean value 0.0 max value = 0.0 min value = 0.0 R3_3 has mean value 0.20373692179797506 max value = 2.0 min value = 0.0 R2_3 has mean value 0.08897985645599919 max value = 2.0 min value = 0.0 R4_3 has mean value 0.27782525930556573 max value = 2.0 min value = 0.0
---	---

## Визначення статистичних характеристик

За однаковий час симуляції до Store надійшло 244 та 234 відповідно до 1-го та 2-го варіантів. Ці значення є доволі однакові. Отже спробуємо зробити симуляцію для обох на 100 000:



Різниця у 100 деталей вже є більш вагомою, але загалом ситуація не змінюється. Другий варіант має пропускну здатність на 4% менше за перший.

### Завдання 3

#### Опис

Розробити мережу Петрі для наступної задачі (25 балів):

На маршруті приміського сполучення працюють два мікроавтобуси (А і В), кожний з яких має  $n$  місць. Мікроавтобус А користується більшою популярністю, ніж автобус В, оскільки водій мікроавтобуса А їздить акуратніше і швидше. Тому пасажир, який підійшов до зупинки, сідає в мікроавтобус В тільки у випадку, коли автобуса А немає. Мікроавтобус відправляється на маршрут, якщо всі місця в ньому зайняті. Пасажири підходять до зупинки через  $0,5 \pm 0,2$  хвилин і, якщо немає мікроавтобусів, утворюють чергу. Якщо черга більша, ніж 30 осіб, то пасажир не стає у чергу і йде до іншого маршруту. Припускається, що всі пасажири їдуть до кінця маршруту. На проходження маршруту мікроавтобус А витрачає  $20 \pm 5$  хвилин, а мікроавтобус В –  $30 \pm 5$  хвилин. Після того, як пасажири звільнили автобус (протягом часу  $5 \pm 1$  хвилин), він їде у зворотному напрямку тим же чином.

Плата за проїзд складає 20 гривень. Авто підприємство стільки ж втрачає (недоотримує), якщо пасажир, прийшовши на зупинку, не стає у чергу і обирає інший маршрут.

Метою моделювання є визначення таких характеристик:

1. час очікування пасажирів у черзі;
2. виручку автопідприємства за день від маршруту, якщо мікроавтобуси працюють 10 годин на добу.



## Виконання

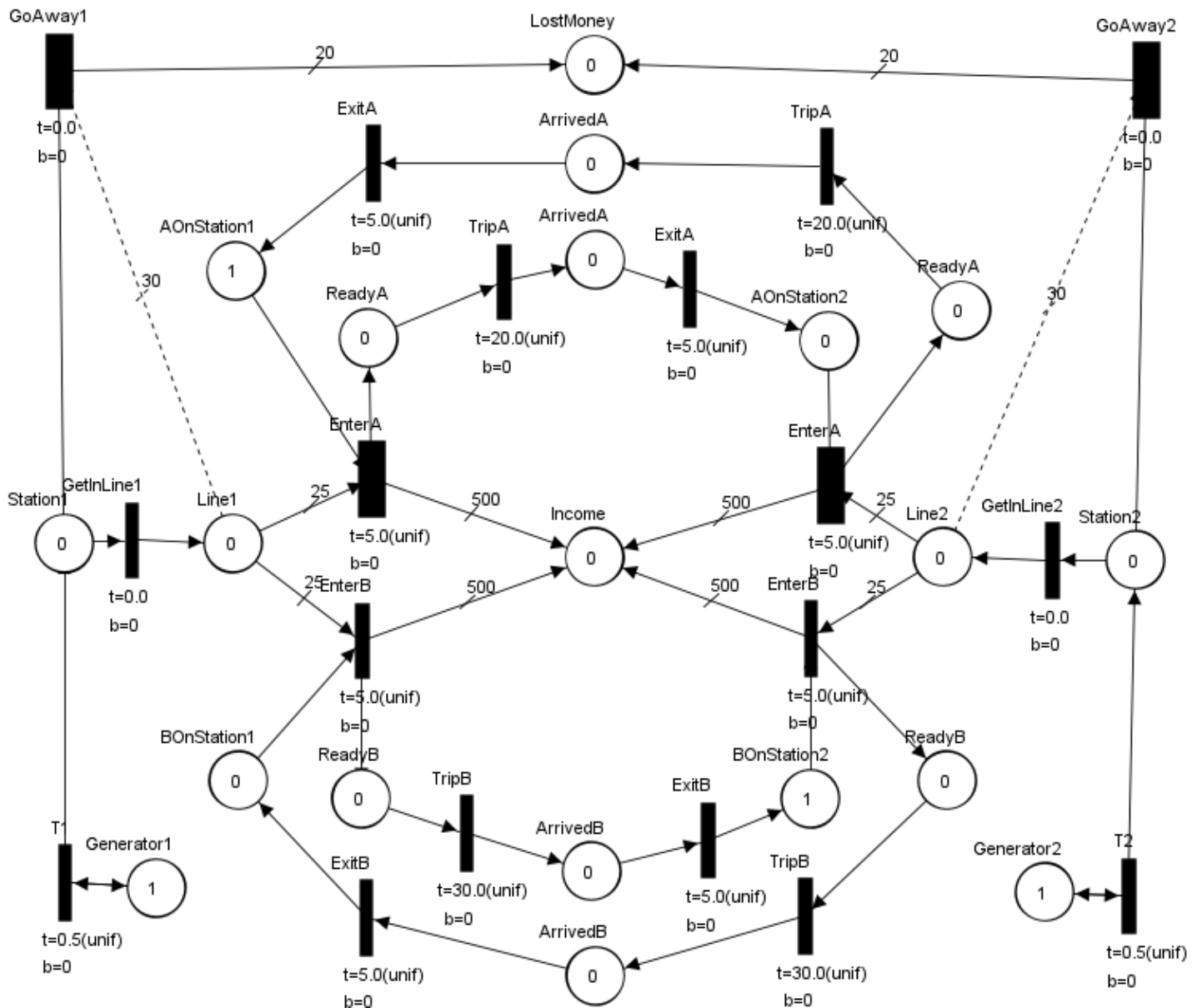


Рисунок 3.1 – Схема мережі Петрі для автобусної системи

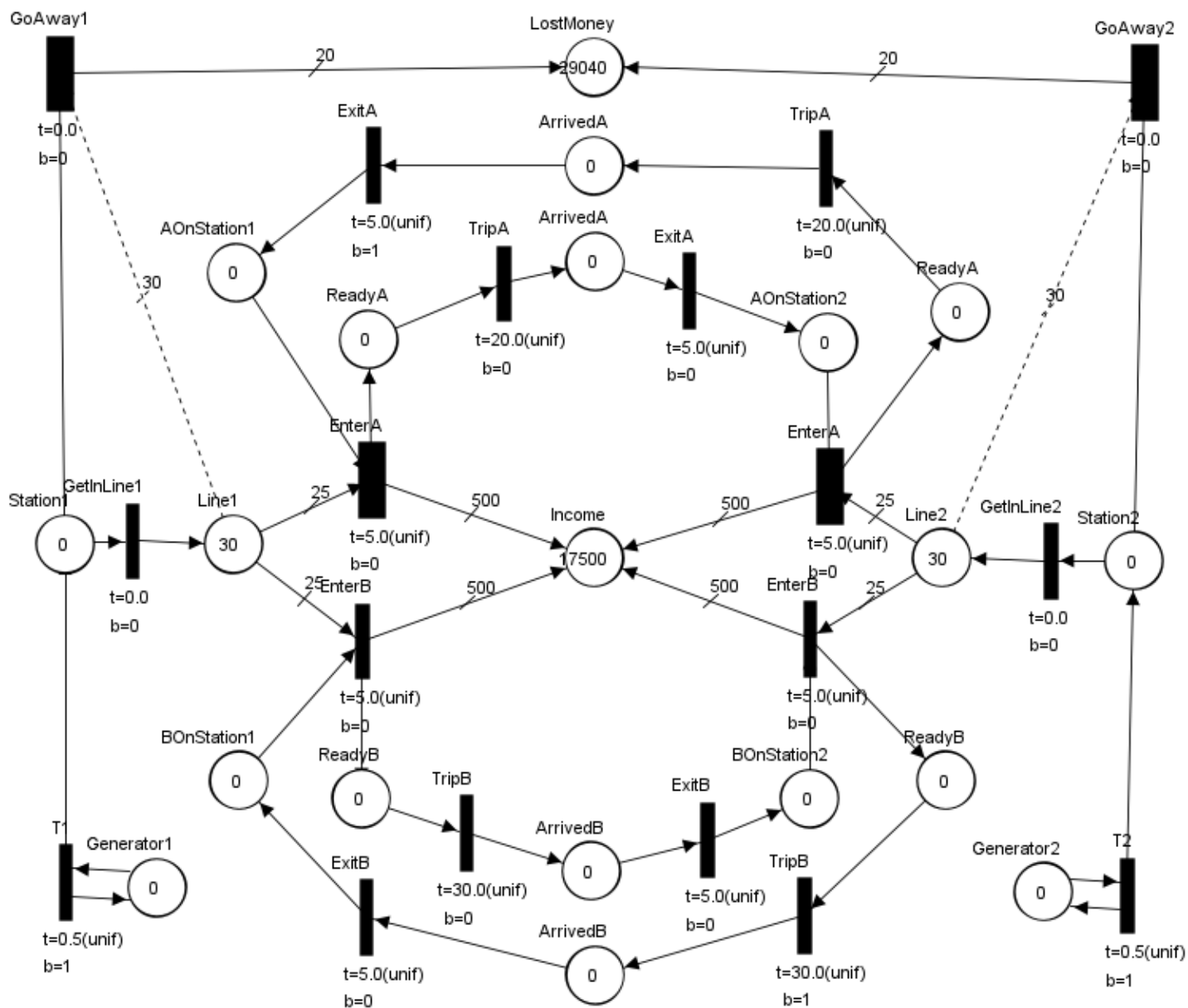


Рисунок 3.2 – Стан мережі після симуляції 600

## Статистика

Petri net places	Petri net s
Generator1: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 Line1: mean value = 24.66591571932393 max value = 30.0 min value = 0.0 ReadyA: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 ReadyB: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 ArrivedA: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 ArrivedB: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 AOnStation2: mean value = 0.0014643788737 max value = 1.0 min value = 0.0 BOnStation2: mean value = 0.0434563221462 max value = 1.0 min value = 0.0 Line2: mean value = 24.41357767203378 max value = 30.0 min value = 0.0 ReadyA: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 ReadyB: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 ArrivedA: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 AOnStation1: mean value = 0.0323767730603 max value = 1.0	T1 has mean value 1.0 max value = 1.0 min value = 0.0 EnterA has mean value 0.08339891872245146 max value = 1.0 min value = 0.0 EnterB has mean value 0.05725910574886863 max value = 1.0 min value = 0.0 ExitA has mean value 0.08323601797942634 max value = 1.0 min value = 0.0 ExitB has mean value 0.05927793701355694 max value = 1.0 min value = 0.0 EnterB has mean value 0.06474736035555598 max value = 1.0 min value = 0.0 EnterA has mean value 0.07931498834437259 max value = 1.0 min value = 0.0 TripA has mean value 0.32599115186042577 max value = 1.0 min value = 0.0 TripB has mean value 0.3477930907781294 max value = 1.0 min value = 0.0 TripB has mean value 0.3622720459991688 max value = 1.0 min value = 0.0 ExitB has mean value 0.055233172875670936 max value = 1.0 min value = 0.0 ExitA has mean value 0.0786374432175764 max value = 1.0 min value = 0.0 TripA has mean value 0.31558032794171675 max value = 1.0

min value = 0.0 ArrivedB: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 BOnStation1: mean value = 0.0099609650828 max value = 1.0 min value = 0.0 Station2: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 Generator2: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 Station1: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 LostMoney: mean value = 13994.2552835836 max value = 29040.0 min value = 0.0 Income: mean value = 8842.830306645537 max value = 17500.0 min value = 0.0	min value = 0.0 GetInLine2 has mean value 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 GoAway2 has mean value 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 T2 has mean value 1.0 max value = 1.0 min value = 0.0 GetInLine1 has mean value 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 GoAway1 has mean value 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0
--	--

### **Визначення статистичних характеристик**

1. Час очікування пасажирів у черзі:

Line1: mean value = 24.66591571932393

Line2: mean value = 24.41357767203378

2. Виручку автопідприємства за день від маршруту, якщо мікроавтобуси працюють 10 годин на добу: 17500 грн.

## Завдання 4

### Опис

Розробити мережу Петрі для наступної задачі (**30 балів**):

У супермаркеті планується ввести систему управління запасами холодильників. Час між надходженнями замовлень на холодильники має експоненціальний розподіл з математичним сподіванням 0,2 тижні. Якщо покупцю знадобився холодильник тоді, коли його в запасі немає, він у 80% випадків відправляється в інший найближчий магазин, представляючи тим самим продаж, що не відбувся для даного універмагу. У 20% таких випадків робиться повторне замовлення, і покупці чекають надходження наступної партії вантажу. Магазин використовує періодичну систему перегляду стану запасів, у якому запас проглядається кожні 4 тижні і приймається рішення про необхідність здійснення замовлення. Стратегія прийняття рішення складається в розміщенні замовлення, що доводить запас до контрольного рівня, що складає 72 холодильники. Поточний стан запасу визначається як наявний запас плюс замовлені раніше приймачі і мінус невдоволений попит. Якщо поточний стан запасів менше або дорівнює 18 холодильникам (точка замовлення), здійснюється розміщення замовлення. Час доставки (час між розміщенням замовлення і його одержання) постійний і складає 3 тижні. Початкові умови: стан запасу - 72 холодильника, невдоволеного попиту немає.

Визначити середню кількість холодильників у запасі, середній час між продажами, що не здійснилися.

## Виконання

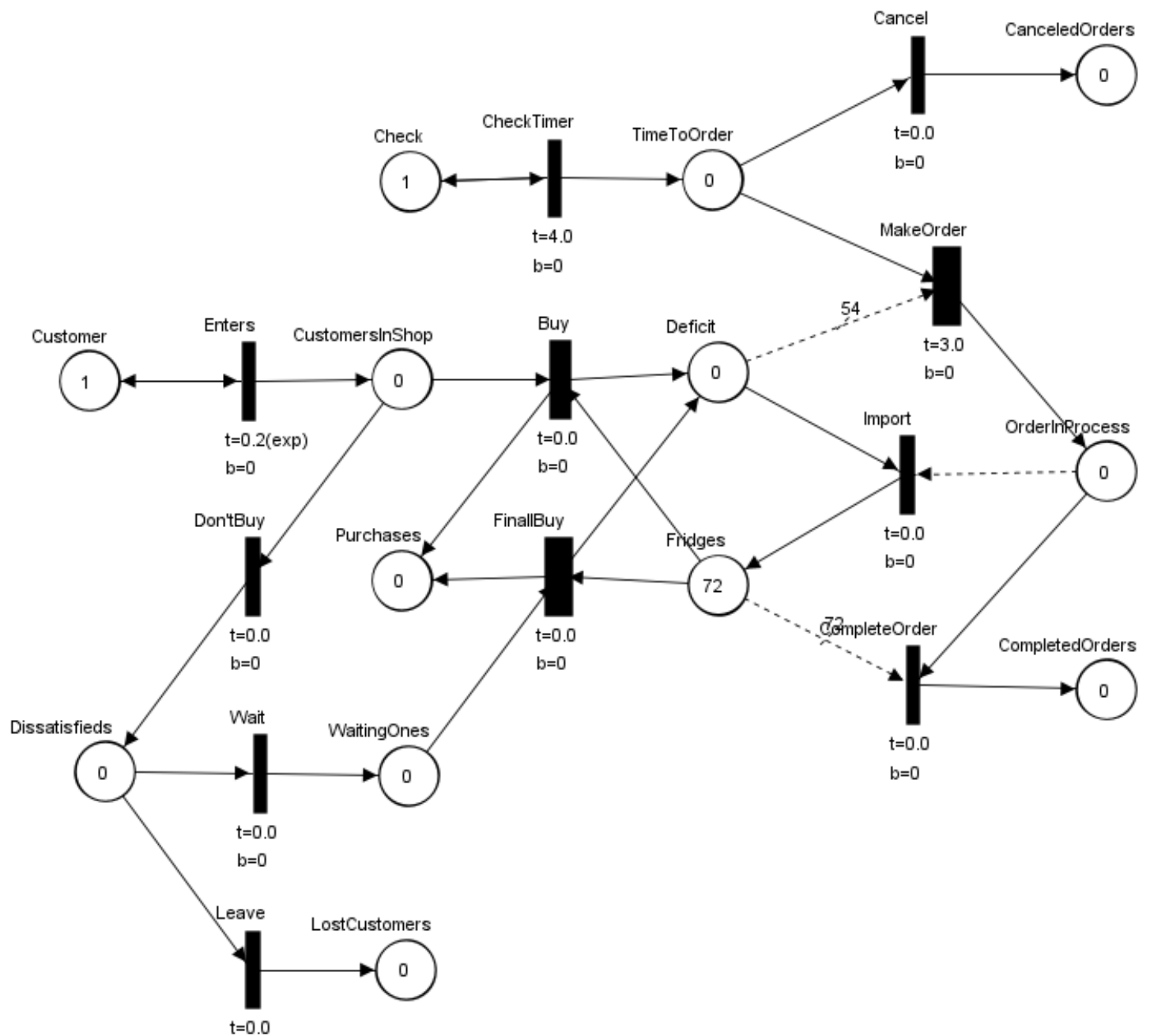


Рисунок 4.1 – Схема мережі Петрі для системи магазину холодильників

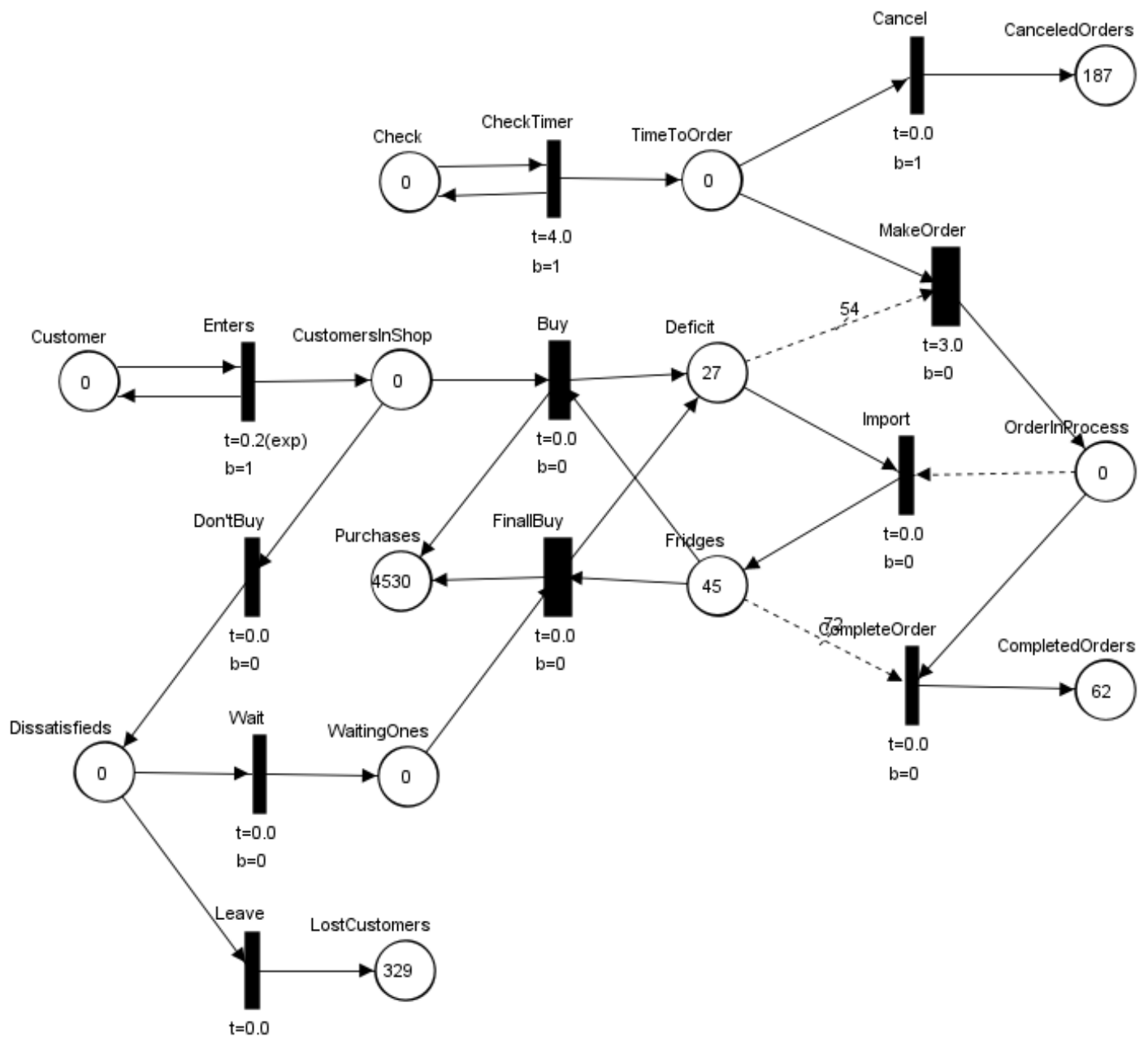


Рисунок 4.2 – Стан мережі після симуляції 1000

### Статистика

Petri net places	Petri net trasitions:
Customer: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 LostCustomers: mean value = 167.089688623 max value = 329.0	Enters has mean value 1.0 max value = 1.0 min value = 0.0 Leave has mean value 0.0 max value = 1.0

min value = 0.0 CustomersInShop: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 Dissatisfieds: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 Deficit: mean value = 38.15048744863585 max value = 72.0 min value = 0.0 OrderInProgress: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 TimeToOrder: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 Check: mean value = 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 CanceledOrders: mean value = 93.5839999999 max value = 187.0 min value = 0.0 Fridges: mean value = 33.84951255136415 max value = 72.0 min value = 0.0 Purchases: mean value = 2271.889487448639 max value = 4530.0 min value = 0.0 CompletedOrders: mean value = 30.73 max value = 62.0 min value = 0.0 WaitingOnes: mean value = 0.1094743622866 max value = 7.0 min value = 0.0	min value = 0.0 Don'tBuy has mean value 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 Buy has mean value 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 MakeOrder has mean value 0.185999999999999 max value = 1.0 min value = 0.0 Import has mean value 0.0 max value = 72.0 min value = 0.0 CheckTimer has mean value 1.0 max value = 1.0 min value = 0.0 Cancel has mean value 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 CompleteOrder has mean value 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 Wait has mean value 0.0 max value = 1.0 min value = 0.0 FinallBuy has mean value 0.0 max value = 7.0 min value = 0.0
---	---

### **Визначення статистичних характеристик**

1. Середню кількість холодильників у запасі:  
Fridges mean value = 33.84951255136415;
2. Середній час між продажами, що не здійснилися:  
 $AllTime / LostCustomers = 1000 / 329 = 3,0675$  тижні.



## Висновок

В результаті виконання лабораторної роботи було досліджена розробка схем мереж Петрі на прикладі 4 задач. Також, для кожної з яких, був проведений аналіз статистики. Загалом розглядалися задачі наступних типів:

1. Конвеєрна кругова система із 5 обробляючими пристроями. Вона по своїй суті складається з 2-х шаблонних частин: перехід між позиціями конвеєра та робота обробляючих пристроїв. Після виконання симуляції моделі було продемонстровано декілька формул для підрахунку визначених характеристик (перебування деталі в системі, завантаження обслуговуючих пристроїв та кількість зайнятих пристроїв);
2. Роботизована виробнича система. Метою дослідження було визначення найкращого варіанту реалізації цього виробництва зі сторони пропускнуї здатності. Для першого була властива точне розташування роботів на відміну від другого, де роботи мали змогу переміщуватись між точками виробництва. Статистичний аналіз продемонстрував, що перший спосіб є кращим на 4%;
3. Маршрутна система із двома пунктами посадки/висадки пасажирів і двома мікроавтобусами. В ході розв'язані задачі стало очевидно, що система набуде дзеркального вигляду через подібну діяльність системи відносно зупинок. Додаткової складності додала умова, щодо максимальної черги, через яку додатковий пасажир вважається втраченим. Через це, було необхідно застосовувати новий елемент – Informational arc.
4. Супермаркет холодильників із можливістю поповнення складу. Поточна задача була найскладніша зі сторони кількості умов, що загалом потребувало реалізацію наступних паралельних процесів: покупка холодильника покупцем, очікування покупців нових холодильників, перевірка дефіциту товару та поповнення складу. Тому були застосовані пріоритетні переходи та, вперше, за ймовірністю.