

תקציר:

בפרויקט זה התבקשנו לייצר סימולציה בה חברת שילוח לה ארבעה מתקני שילוח בעלי מיקומים גיאוגרפים ידועים מקבלת הזמנות שאת ביצוען החברה מבצעת באמצעות רחפנים היוצאים וחוזרים אל מתקן השילוח. במצב הקיים מחצית מן ההזמנות מתקבלות מפאתי העיר ומחציתן ממרכז. המודל אותו יצרנו פועל כך שהוא מקבל את ההזמנות בהתאם להתפלגות קצבי ההגעה בהתאם לשעון הסימולציה, מחשב היכן ממוקם מרכז השילוח הקרוב אליו תשלח ההזמנה. לאחר קבלת ההזמנה תבוצע הגרלה לסוג החבילה בהתאם להסתברויות הידועות ולאחר מכן תצוות כל חבילה לרחפן מתאים.

המדדים שנבדקו:

- זמן מרגע קבלת ההזמנה ועד לסיום השירות.
- מספר ההזמנות שלא סופקו באותו היום.
- העלות התפעולית של החברה.
- תוצאות הסימולציה לאחר הרצה על פני 100 שבועות:
- מרבית החבילות מגיעות בפרק זמן קצר של עד שעה מרגע ההזמנה אך קיימות הזמנות אשר זמן שילוחן עולה על 19 שעות.
- בכל שבוע בממוצע כ 1200 חבילות לא מגיעות באותו היום בו הוזמנו.
- העלות התפעולית הממוצעת עבור מדיניות 1 היא: 7,453,530.35 ₪
- העלות התפעולית הממוצעת עבור מדיניות 2 היא: 15,120,644.66 ₪

מבוא:

המערכת הנחקרת הינה חברת שילוח אשר מבצעת את שילוחיה באמצעות רחפנים. לחברה 4 מתקנים הממוקמים בנקודות (2,2), (2,4), (4,2), (4,4). גודל המרחב הנחקר 36 קמ"ר המחולק ל- 2 חלקים מרכז ופאתי העיר, כאשר הראשון תחום בשטח בין מתקני השילוח ושאר השטח שייך לפאתי העיר. במערכת שלושה סוגי חבילות: קלות – מהוות 60% מסך החבילות, בינוניות 30% וכבדות 10%. בכל מתקן 14 רחפנים בסיסים המסוגלים לשאת חבילות קלות בלבד, 5 רחפנים רגילים המסוגלים לשאת חבילות קלות ובינוניות ו-2 רחפני על המסוגלים לשאת את כל סוגי החבילות. כל רחפן עף במהירות 30 קמ"ש ובכיוון אווירי אל יעד ההזמנה. זמן אספקת ההזמנה מורכב מהזמן הטיסה ליעד בתוספת לזמן משך השירות אשר מתפלג באופן שונה עבור כל סוג רחפן:

$$\text{בסיסי - } y \sim \text{uni}(10,30) \quad \text{רגיל - } y \sim (5 + \exp(5)) \quad \text{על - } y \sim (10 + \exp(10))$$

כל הזמנה מכילה חבילה אחת ומגיעה לטיפול במתקן השילוח הקרוב ביותר (מדיניות ראשונה) ובמדיניות השנייה החבילה מגיעה לטיפול במרכז הפצה הפנוי ביותר (מבחינת כמה רחפנים שלו בשימוש כעת). מחצית מההזמנות מגיעות ממרכז העיר ומחציתן מפאתיה. קצבי הגעת ההזמנות אל חברת השילוח מתקבלות בקצבים משתנים בהתאם לשעה ביום:

- 10:00 – 5:00 - מתקבלות 150 הזמנות בממוצע.
 - 16:00 – 10:00 - מתקבלות 200 הזמנות בממוצע.
 - 22:00 – 16:00 - מתקבלות 80 הזמנות בממוצע.
- תקלות ברחפנים מתרחשות ב- 10% מהמשימות כאשר זמן הטיפול בתקלה מתפלג בהתאם לסוג הרחפן ומתבצע לאחר חזרתו למתקן השילוח. פילוג זמן הטיפול בשעות:

$$\text{בסיסי - } z \sim \text{uni}(1,3) \quad \text{רגיל - } z \sim \text{tri}(2,3,6) \quad \text{על - } z \sim \text{tri}(2,4,8)$$

ק"מ טיסת רחפן עולה לחברה 0.1 ש"ח בנוסף לחברה עלות נוספת של זמן השירות (כוללת את זמן התעופה ומשך השירות של הרחפן אשר ביצע את ההזמנה) והיא משתנה בהתאם לסוג הרחפן :

▪ בסיסי – 100 ש"ח ▪ רגיל – 130 ש"ח ▪ על – 180 ש"ח

את יעילות מדיניות ההקצאת ההזמנות של החברה נבחן על פי המדדים הבאים :

- זמן מרגע קבלת ההזמנה ועד לסיום השירות.
- מספר ההזמנות שלא סופקו באותו היום.
- העלות התפעולית של החברה.

הגדרות המודל:

- זמן הרצת המודל 100 שבועות.
- הגעת לקוחות :
 - זמני שיא- $x \sim \exp(150)$
 - אחרת - $x \sim \exp(200)$
 - $x \sim \exp(80)$ - 16:00-22:00
- זמן ביצוע שירות[דקות] :
 - רחפן בסיסי $y \sim \text{uni}(10,30)$
 - רחפן רגיל $y \sim (5 + \exp(5))$
 - רחפן על $y \sim (10 + \exp(10))$
- שעון הסימולציה לפי יומן האירועים.

מטרות המחקר:

- חישוב התפלגות משך אספקת הזמנות.
- חישוב תוחלת מספר ההזמנות הלא מסופקות.
- חישוב העלויות התפעוליות של החברה (כולל קנסות בגין איחור ואי אספקה).

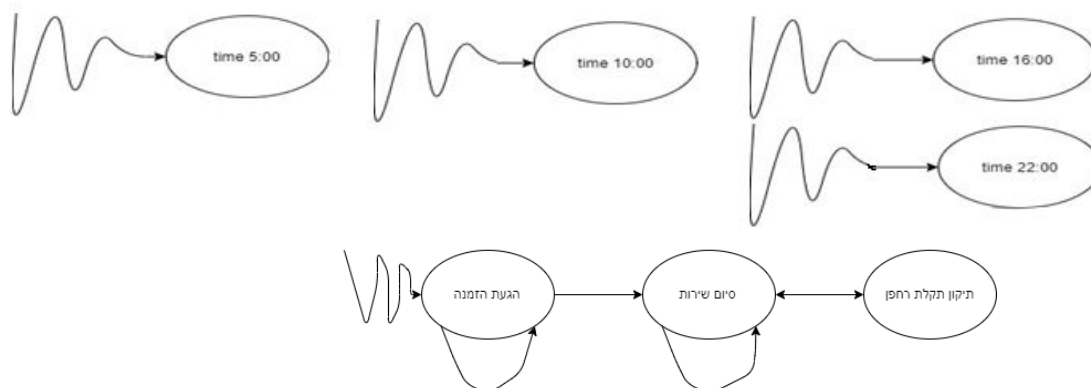
מצבי המערכת:

- | | |
|---|--|
| 14. Day – מספר היום בו נמצאת הסימולציה. | 1. Lq.r - תור לרחפן בסיסי. |
| 15. Q - מספר החבילות שלא סופקו | 2. Lq.m - תור לרחפן רגיל. |
| 16. Sum_comp - סכום הפיצויים הכולל | 3. Lq.h - תור לרחפן על. |
| 17. reg - מספר רחפנים בסיסים פנויים | 4. N – מספר ההזמנות הכולל. |
| 18. mid – מספר רחפנים רגילים פנויים | 5. B – זמן ביום בו אנו נמצאים (0,1,2,3). |
| 19. hev - מספר רחפני על פנויים | 6. P – משקל החבילה (0,1,2). |
| 20. Dis - מרחק היעד ממרכז השירות | 7. O.s – זמן קבלת הזמנה. |
| 21. Q.d - מספר ההזמנות שסופקו | 8. O.e - זמן קבלת חבילה ע"י הלקוח. |
| 22. type - סוג הרחפן המבצע את המשלוח | 9. T.sta - שעת התחלת סימולציה. |
| 23. D.time – זמן תעופה ליעד | 10. T.max - שעת סיום סימולציה. |
| 24. type - סוג הרחפן המבצע את המשלוח | 11. COMP - גודל הפיצוי שמגיע ללקוח ה i |
| 25. T.now - זמן המערכת הנוכחי | 12. Expe - סכום הוצאות החברה |
| 26. policy – סוג מדיניות המופעלת | 13. i - מספר מתקן השילוח (1,2,3,4) |

הנחות:

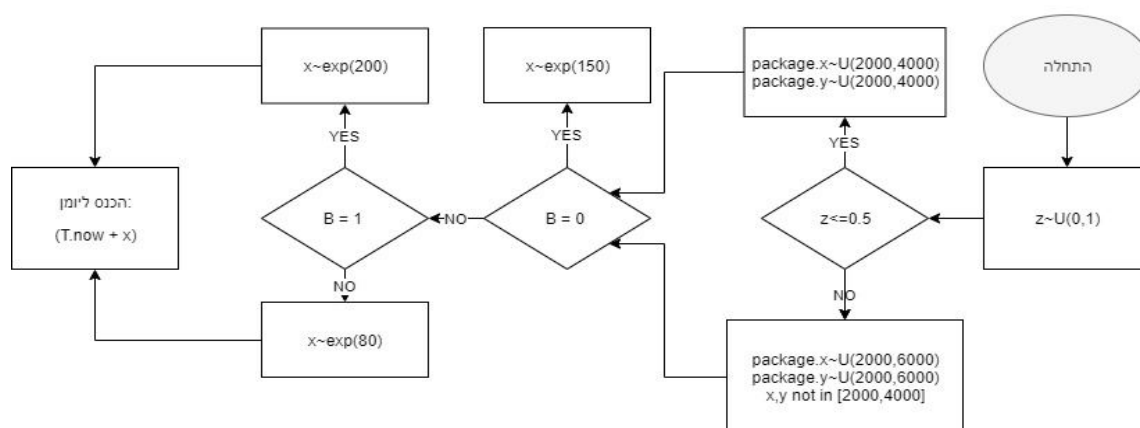
- מספר ההזמנות המגיעות מתפלג מעריכית עם התוחלות הנתונות.
- מודל הפיצויים לפיו פעלנו הוא שעבור כל דקה של איחור על החברה לפצות ב1 ש"ח את הלקוח

מצבי המערכת:

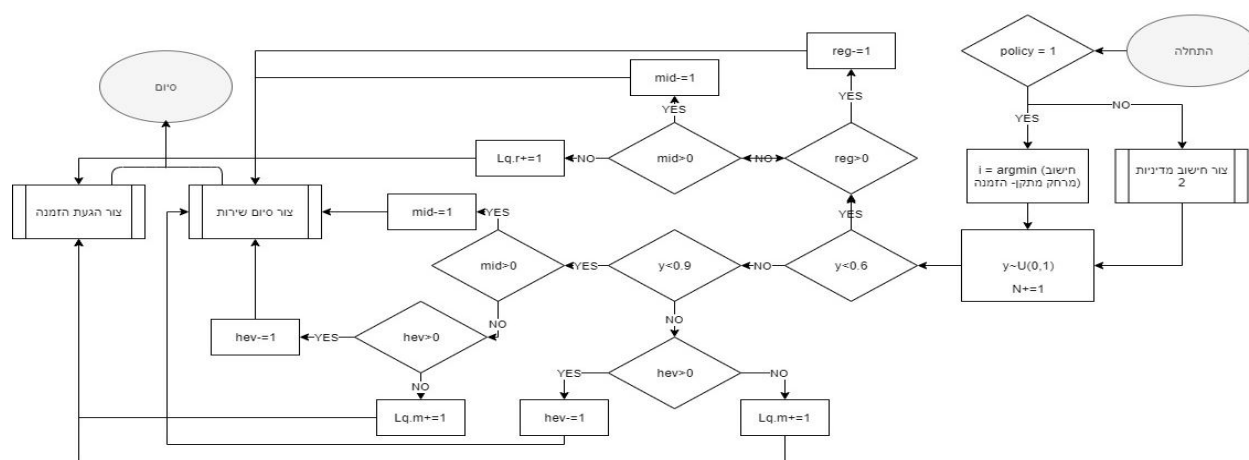


דיאגרמות תהליכי המערכת:

יצירת הגעת הזמנה

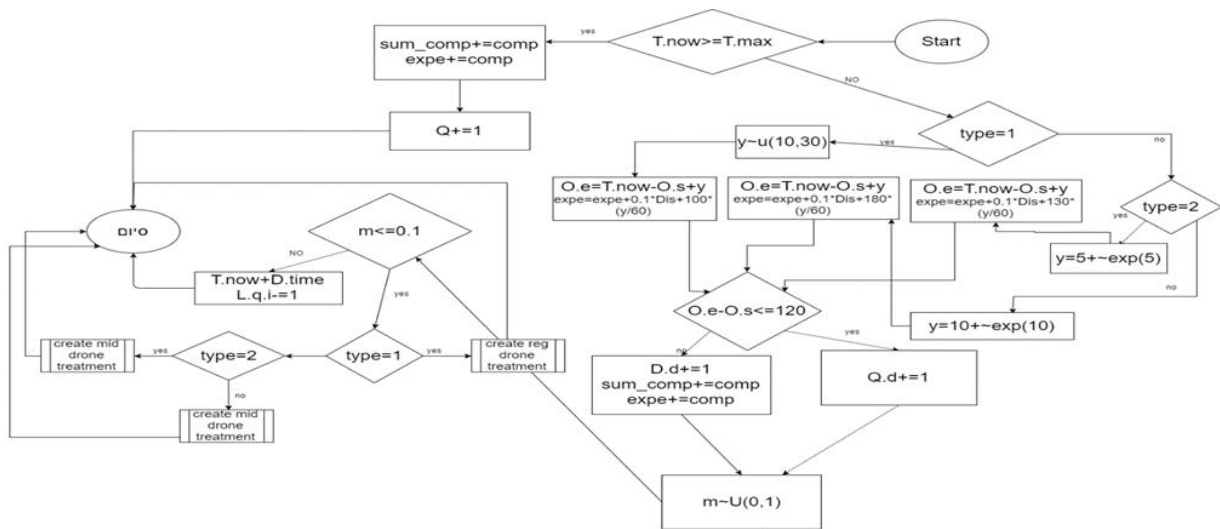


ביצוע הגעת חבילה מדיניות 1:



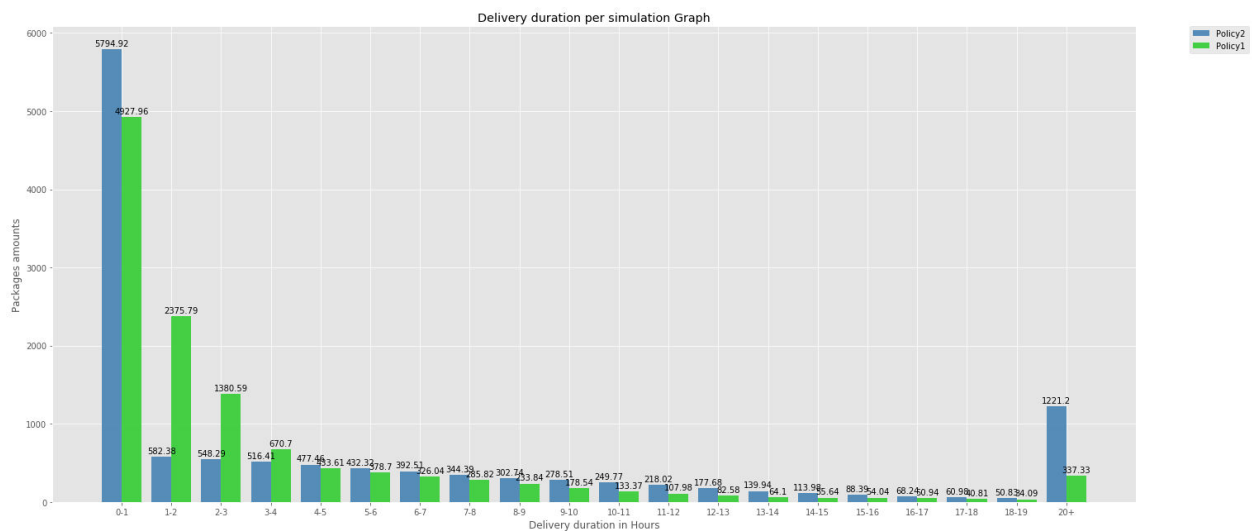
*חישוב מדיניות שנייה- מצורף פסאדו-קוד בנספח 1.6.

ביצוע סיום שירות (ויצירת תקלה ברחפנים):



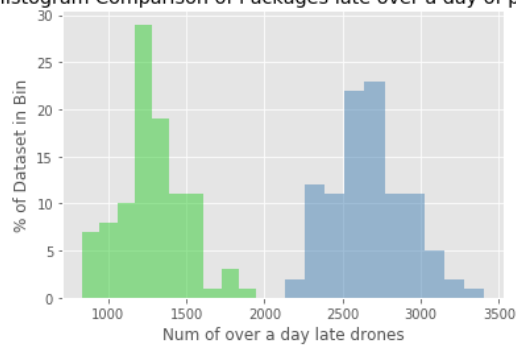
הערה: שאר דיאגרמות תיאור המערכת נמצאות בנספחים

ניתוח מצב קיים:



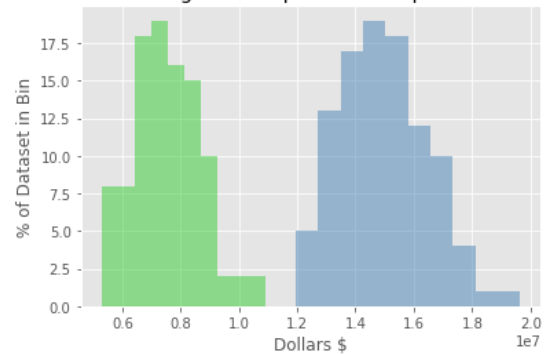
איור 1 – גרף המתאר היסטוגרמה של השוואת את מספר רחפנים כפוקנציה של זמני השירות

Histogram Comparison of Packages late over a day of policies



איור 3 – גרף היסטוגרמה המתאר את ההבדלים בין כמויות הרחפנים המאחרים ביום (ירוק מדיניות 1 כחול מדיניות 2)

Histogram Comparison of Expenses



איור 2 – גרף היסטוגרמה המתאר את ההבדלים בין העלויות של המדיניות (ירוק מדיניות 1 כחול מדיניות 2)

לפי התבוננות בגרפים אשר הפקנו מן הסימולציה, ניתן לראות כי מצד אחד כמות הרחפנים שמגיעים מהר יותר לפי המדיניות השניה גדולה יותר אך מצד שני על פי ההיסטוגרמות ניתן לראות כי העלויות גדלות בצורה משמעותית כאשר פועלים לפי מדיניות שניה בנוסף ניתן להסיק מן ההיסטוגרמות שמספר הרחפנים אשר מאחרים מעבר ליום גדל גם גן בערך פי 2. והעובדה שבין ההתפלגויות של שתי המדיניות אין חפיפה אף מחזקת את העובדה שמדיניות הראשונה עדיפה. אנחנו בחרנו לפצות את הלקוח לפי שקל חדש לדקת איחור מה שגרר לדעתנו את העלות הגבוהה של המדיניות השנייה, כיוון שכפי שצינו כמות הרחפנים שהגיעו באיחור של יום גדלה בצורה משמעותית.

סיכום:

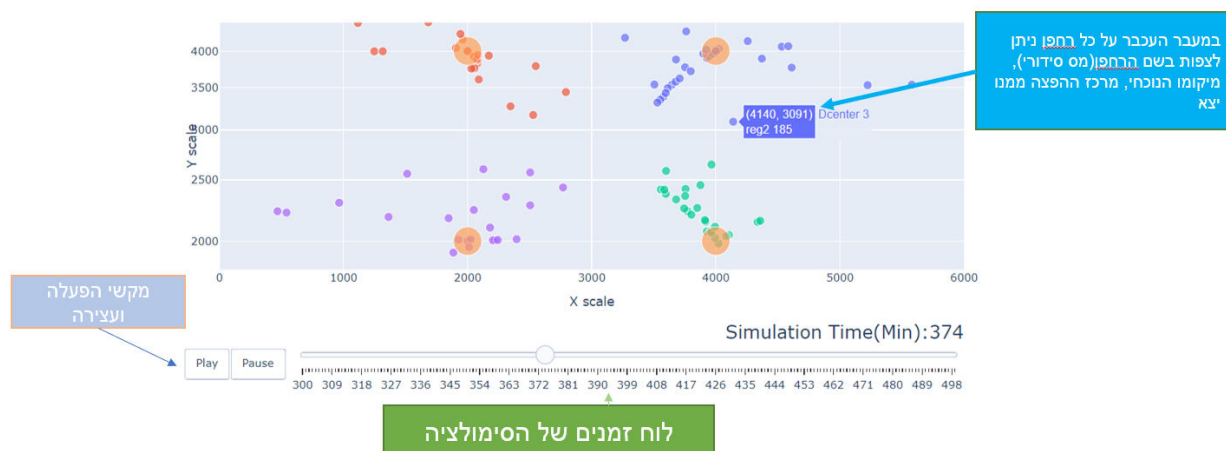
עבור שתי הגישות ניתן לראות כי המערכת מתפוצצת. כלומר ניתן לראות כי היא אינה מספיקה במהלך שבוע העבודה לספק את כל החבילות אשר מגיעות למרכזי ההפצה באותו היום, קיימת חריגה של מספר שעות ומספר ימים בהגעת החבילות. בהשוואה בין שתי הגישות ניתן לראות בתוצאות המדיניות אשר נקבעה על ידינו שמספר החבילות המגיעות במשכי זמן קצרים יותר עלה אך עובדה זאת באה על חשבון כך שמספר החבילות אשר מסופקות לאחר 19 שעות או יותר עלתה פי 2 כלומר מצד אחד המדיניות שלנו מספקת יותר חבילות בפרק זמן קצר יותר אך מצד שני מספר החבילות אשר התעכבו מעבר ליום עלה ולכן ידרשו פיצויים רבים עבור אותם לקוחות. הצעות לטיוב המודל: הגדלת מספר הרחפנים בכל מרכז, התחשבות במזג אויר ומכשולים בדרך, הוספת איזורי NFZ בהם אסור להטיס רחפנים, תקופת חגים, עומס קניות (Black Friday), שימוש ברחפנים עם זמני שירות וטעינה קצרים יותר ושינוי מיקום מרכזי ההפצה.

ויזואליזציה

השתמשנו בחבילות csv, plotly על מנת ליצור את הויזואליזציה של הסימולציה. בחלק הראשון, הפקנו נתונים אשר נכתבו לקובץ csv בנוגע לתנועות הרחפנים בסימולציה. בחלק השני קראנו מן הקובץ csv את תנועות רחפנים בטווח הזמנים שהגדרנו, והשתמשנו בPotly להציג את התנועות על המפה/גרף.

מצורף סרטון המחשה של הויזואליזציה:

<https://youtu.be/NQjKHtVR86Y>

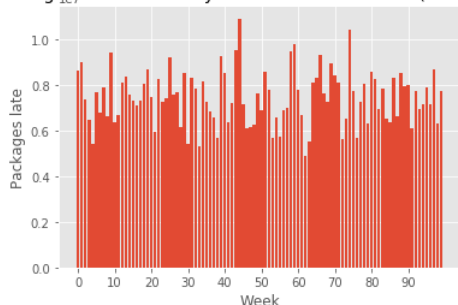


נספחים

נספח 1.0 : הגרפים המלאים של עלות שבועית ומספר הרחפנים שאיחרו ביום מהם הופקו ההיסטוגרמות:

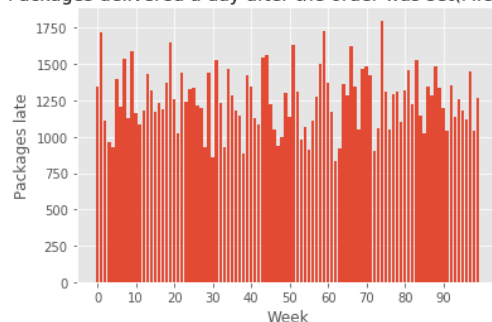
מדיניות לפי תנאי הפרויקט:

Packages delivered a day after the order was set(First policy)



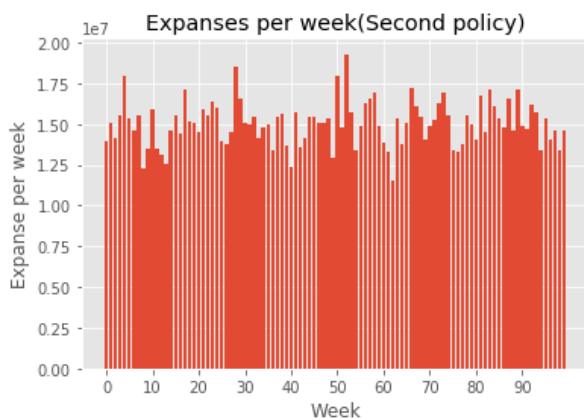
איור 5 – גרף המתאר העלות כפונקציה של שבוע

Packages delivered a day after the order was set(First policy)



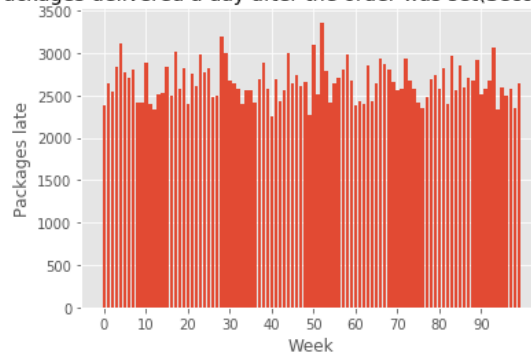
איור 4 – גרף המתאר את מספר הרחפנים שאיחרו כפונקציה של שבוע

מדיניות שלנו:



איור 7 – גרף המתאר העלות כפונקציה של שבוע

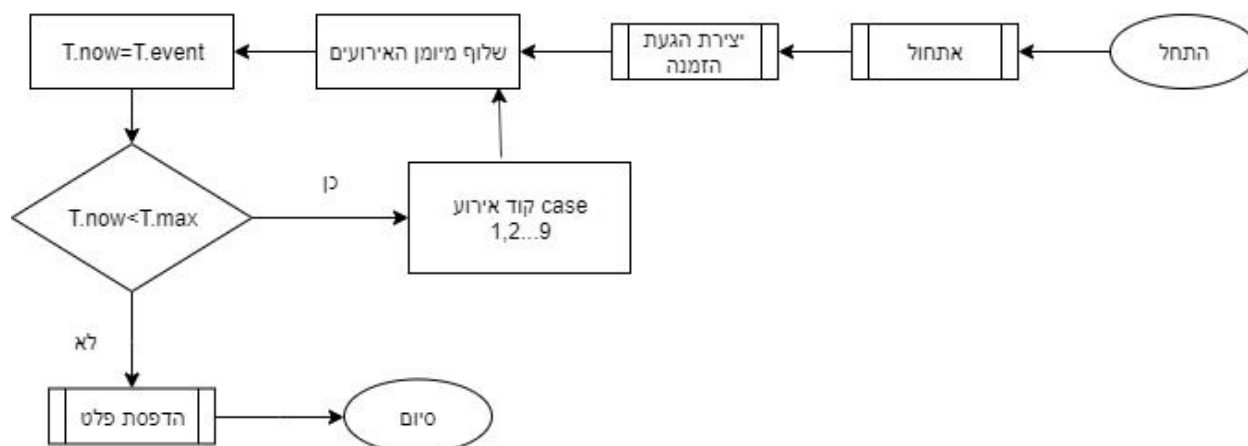
Packages delivered a day after the order was set(Second policy)



איור 6 – גרף המתאר את מספר הרחפנים שאיחרו כפונקציה של שבוע

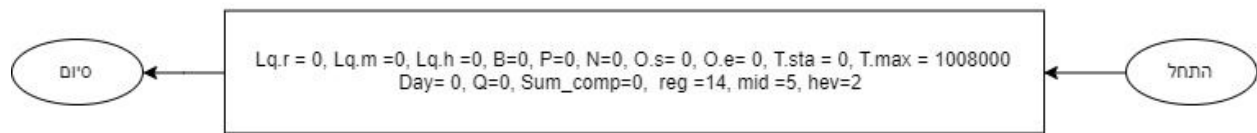
נספח 1.1:

ראשי



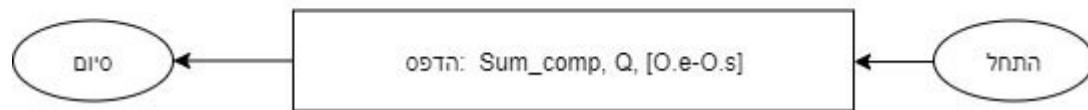
נספח 1.2 :

אתחול



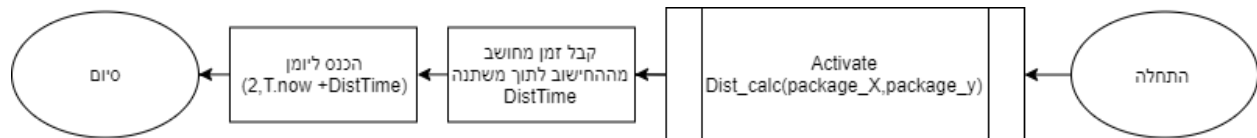
נספח 1.3 :

הדפסת פלט



נספח 1.4 :

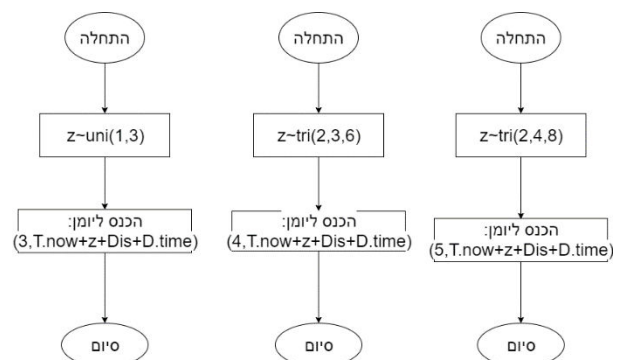
יצירת סיום שירות:



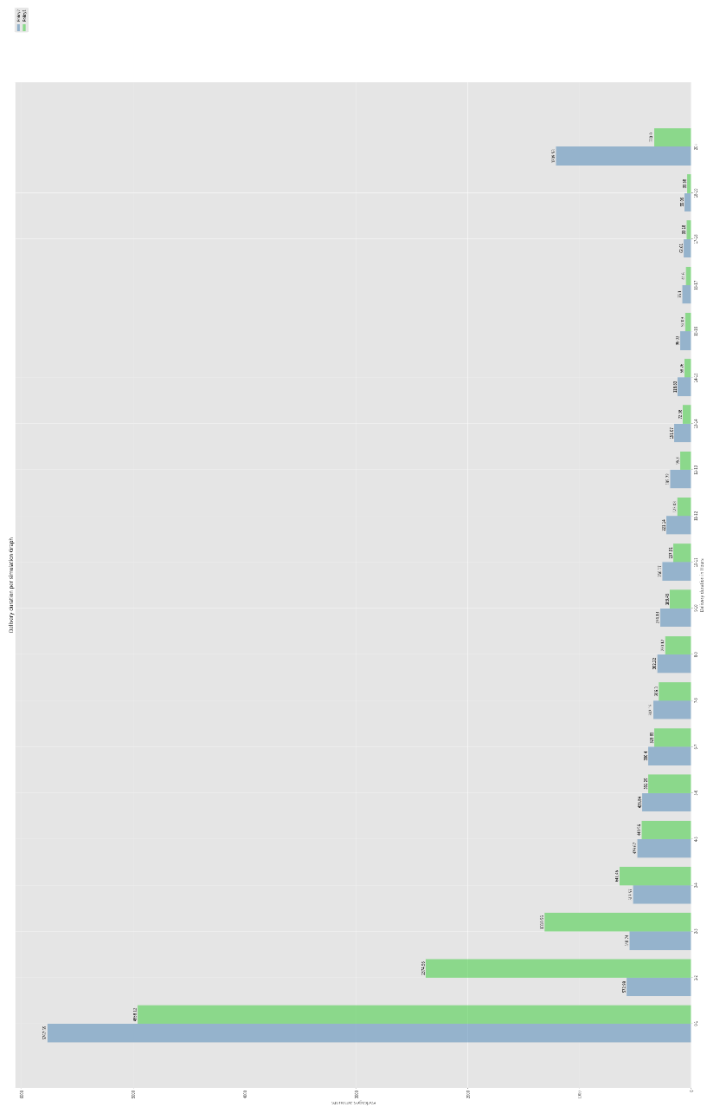
* (הפונקציה מתוארת בנספח 1.6)

נספח 5.1 :

יצירת תיקוני רחפנים



נספח 1.6 : גרף היסטוגרמה מאוחד לשני סוגי המדיניות :



נספח 1.6 : חישוב החלטת שליחת משימת משלוח למרכז הפצה עבור מדיניות שנייה (פסאדו-קוד)

קבע ערך מקסימום זמני $Temp=19$
 צור משתנה $Temp_i$ שיחזיק את ה i המינימלי
רוץ בלולאה על רשימת מרכזי ההפצה:
 $Sum=0$
 הוסף ל Sum את reg (מספר הרחפנים הרגילים הפנוים)
 הוסף ל Sum את mid (מספר הרחפנים הרגילים הפנוים)
 הוסף ל Sum את hev (מספר הרחפנים הרגילים הפנוים)
אם $Sum < Temp$ אז :
 משתנה $Sum = Temp$
 משתנה $i = Temp_i$
החזר משתנה $Temp_i$

נספח 1.7 : חישוב DisCalc מרחק בין נקודה בה נמצא הרחפן ליעד והחזרת זמן תעופה (פסאדו-קוד)

קבל שני משתנים לפונקציה $package_X, package_y$
קבל מיקום מרכז הפצה $package.Dcenter.x, package.Dcenter.y$
 חשב לפי משפט פיתגורס מרחק אירי של ארבעת המשתנים לתוך משתנה
 $distance$
 $Velocity=3000$
החזר $distance / Velocity$

נספח 1.8 : יצירת וביצוע תהליכי שעות

