



הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל
הפקולטה להנדסת תעשייה וניהול



**פרויקט גמר בהנדסת תעשייה:
בניית מודל סימולציה, עבור מלר"ד
גנרי, המשלב ממשקי
Real-Time Location-
Tracking Devices**

פרופ' אבישי מנדלבאום
מר יריב מרמור

[מנחים אקדמיים:](#)

דר' יוסי בן דב
מר ניסן לאטי

[מורי הקורס:](#)

039457791 יעל אופנהיים
060634888 יערה אריאלי
062876123 ברק סטון
039926068 נוית רענן

[צוות הפרויקט:](#)

חורף תשס"ט

תודות

פרויקט זה היווה עבורנו הזדמנות נדירה לבחון וליישם את הידע הנרחב והמגוון, אותו רכשנו במהלך כל שנות לימודנו בפקולטה להנדסת תעשייה וניהול שבטכניון. חשוב לנו, להביע את תודתנו הרבה והערכתנו לכל אלו אשר תמכו, סייעו ועזרו לנו לכל אורך הדרך:

ברצוננו להודות:

- למנחה האקדמי שלנו, פרופסור אבישי מנדלבאום - על הנחיית הפרויקט, והעזרה המקצועית לאורך הדרך. תודה על הסבלנות והשקעת הזמן, תוך דגש על הקידום המקצועי והעשרת חברי הצוות.
- למר יריב מרמור - על העזרה והסיוע הרב, אשר נתן לנו בכל דבר לו נדרשנו, על הליווי וההכוונה, אשר סיפק לנו לכל אורך הדרך, ועל שיתוף הפעולה הרב ששרר בינינו.
- לפרופסור טלי פריד – מומחית RFID באוניברסיטת קליפורניה על הכוונה מקצועית ועל כך ששיתפה אותנו בידע הרב שלה.
- לצוות של מלר"ד רמב"ם על העזרה והנכונות הרבה, שגילו במהלך הפרויקט, על הסיוע באיסוף הנתונים ובעיקר על כך שפתחו בפנינו את דלתם בשמחה ובתחושה של שיתוף ואפשרו לנו ללמוד מניסיונם ומהידע הנרחב שלהם בניהול והפעלת המחלקה לרפואה דחופה. תודה מיוחדת ל:
ד"ר דגן שוורץ – מנהל מלר"ד רמב"ם.
מר קובי שיר מוסקוביץ – מנהל תפעול מלר"ד רמב"ם.

תקציר מנהלים

מחלקות לרפואה דחופה (מלר"ד) מתאפיינות באקראיות רבה והכלים הקיימים כיום מספקים יכולת שליטה מוגבלת.

פתרון באמצעות שילוב מערכת RFID (Radio Frequency Identification) יספק כלי לשליטה ובקרה על המתרחש במערכת. טכנולוגיה זו עדיין בחיתוליה בהקשר למערכות בריאות ונדרשת בדיקת היתכנות תפעולית לבחינת כדאיות ההטמעה. פרויקט זה בא לפתח כלי שייבחן את כדאיותה ויעילותה התפעולית של הטכנולוגיה טרם הטמעתה.

בפרויקט זה פיתחנו כלי סימולציה המדמה מלר"ד גנרי משולב עם מערכת RFID- כלי הסימולציה מורכב משני חלקים: סימולציה עבור אגף המהלכים וסימולציה עבור אגף השוכבים פנימי. כלי זה פותח בהתאם להכוונתם של גורמים בכירים במלר"ד רמב"ם אשר סיפקו את הדרישות מהמערכת. כלי זה יהווה כלי תומך החלטה ובאמצעותו מנהל המלר"ד יוכל לבחון את כדאיות הטמעת מערכת ה- RFID תוך הצגת רמות הדיוק השונות האפשריות המתקבלות מהמערכת ע"י תצורות שונות של המערכת, אל מול עלותן הכספית.

הפרויקט בחן שימוש בטכנולוגיה ה- RFID באמצעות ארבעה פרמטרים שהוגדרו מראש:

- זמן שהייה במערכת.
- עומס איש צוות (אחות/רופא).
- מקום בתהליך.
- עומס מיטות.

מידול המערכת נעשה בשני חלקים בהתאם למבנה המלר"ד: אגף "מהלכים" ואגף "שוכבים" פנימי. לכל אגף נבנו מספר תצורות למיקום מערכות ה- RFID במלר"ד בהתאם למגבלות הטכנולוגית ומבנה המלר"ד כאשר לנגד עינינו עמדו דרישות המלר"ד מהמערכת. בהתאם לזאת, באגף המהלכים נבחרו שתי תצורות הנבדלות זו מזו בכיסוי איזור ההמתנה ובאגף השוכבים נבחרו שלוש תצורות הנבדלות זו מזו במספר המיטות שמכסה כל אנטנה. תצורות אלו נבחנו במהלך הפרויקט כאשר כל תצורה אופיינה ברמת רזולוציה ועלות כספית שנגזרה מכך. על סמך התצורות שנקבעו נבנה מודל הסימולציה בתכנת ARENA אשר מתאר את התהליך הרפואי והפיזי שעובר החולה במלר"ד.

כלי הסימולציה מספק חיווי לתהליך שעובר החולה במלר"ד כפי שמתקבל ממערכת ה- RFID וכן חיווי על התהליך האמיתי שעובר החולה. נתונים אלו נותחו כאשר בסופו של התהליך נתקבלו רמות דיוק שונות עבור הפרמטרים שהוגדרו בהתאם לתצורות השונות. בניתוח רמות הדיוק שנתקבלו, למדנו כי ברוב הפרמטרים מערכת ה- RFID על כל תצורותיה מספקת פתרון טוב עד מלא למדידת פרמטרים אלו. באגף המהלכים, הוכחנו כי המערכת נותנת רמת דיוק של 100% עבור פרמטרים של זמן שהייה ועומס רופא. חולשת המערכת התגלתה בדיוק עומס האחיות ומקום בתהליך, כאשר שני האחרונים מושפעים ממבנה המלר"ד ומיקום דלפק האחיות כחלק מאזור ההמתנה. עם זאת, דיוק ה- RFID בפרמטר מקום בתהליך הוא כ-96% - דיוק טוב לכל הדעות. מכיוון שהתצורות נבדלות זו מזו רק בכיסוי איזור ההמתנה וזה אינו משפיע על מדידת הפרמטרים, ההחלטה על בחירת התצורה המתאימה תושפע מעלות המערכות בלבד וזו

תלויה בגודלו הפיזי של חדר ההמתנה. חדר המתנה גדול ידרוש מספר אנטנות רב יותר לשם כיסוי מלא של אזור ההמתנה בתצורה השנייה וייקר את עלות מערכת ה-RFID.

באגף השוכבים, בדומה לאגף המהלכים, הוכחנו כי המערכת נותנת רמת דיוק של 100% בזמן השהייה. כמו כן, עבור תצורות 1 ו-2 ניתן לקבל רמת דיוק של 100% עבור מדידת עומס המיטות ובתצורה השלישית רמת הדיוק גבוהה ועומדת על 97%. בפרמטר המודד את עומס אנשי הצוות, ראינו כי בשלושת התצורות קיבלנו רמת דיוק טובה הנעה בין 95-98%. חולשת המערכת היא במדידת פרמטר מקום בתהליך ותצורת המערכת משפיעה מאוד על רמת הדיוק שתתקבל ורמות הדיוק נעות בין 51%-ל-99%. כלומר, בבוא הגורמים המוסמכים להחליט על תצורת המערכת עליהם לשקול את ההחלטה בהתאם לחשיבות כל אחד מהפרמטרים עבורם ונכונות ההשקעה הכספית.

לסיכום, הפרויקט מהווה נדבך חשוב בדרך להטמעת מערכות RFID. אפיון המערכת והגדרת התצורות בצורה גנרית מאפשרת לכל מנהל מלר"ד לבחור את המערכת המועדפת עליו. כלי הסימולציה הינו חסכוני ומאפשר לבחון כדאיות תפעולית וכלכלית של מערכות אלו ללא צורך בהשקעה כספית.

הפרויקט מניח את היסודות להמשך שלבי ההטמעה של מערכות נחוצות אלו, עד ליישום הטכנולוגיה במלר"דים השונים במלואה.

תוכן עניינים

5	רשימת טבלאות	
5	רשימת איורים	
6	רשימת איורים נספחים :	
6	רשימת טבלאות נספחים :	
7	רקע כללי	1.
7	רקע על הארגון – בית חולים רמב"ם בחיפה	1.1.
7	רקע על היחידה הנחקרת – מחלקה לרפואה דחופה בית חולים רמב"ם	1.2.
8	התועלת הצפויה לארגון מהפרויקט והמוטביציה לביצועו	2.
9	סקר ספרות	3.
9	בעיות תפעוליות בחדרי מיון	3.1.
10	טכנולוגיות ה- RFID (Radio Frequency Identification)	3.2.
11	מחקרים וניסיונות יישום של טכנולוגיית ה- RFID בבתי חולים	3.3.
13	כלי הסימולציה הקיימים	3.4.
15	התועלת הפוטנציאלית משילוב ממשקי RFID בכלי סימולציה	3.5.
17	מיקום קוראים אופטימאלי בחללים שונים	3.6.
19	תאור המצב הקיים	4.
19	תאור המצב הקיים במלר"דים כיום	4.1.
20	בעיות במצב הקיים	4.2.
21	מטרת הפרויקט	5.
21	שיטת המחקר	6.
21	שיטת פתרון מוצעת	6.1.
22	הדרישות משיטת הפתרון	6.2.
22	הפתרון המוצע	7.
22	בניית התצורות (קונפיגורציות)	7.1.
22	מערכת ה- RFID	7.1.1.
23	הגדרת התצורות (קונפיגורציות)	7.2.
23	קונפיגורציות אגף מהלכים	7.2.1.
26	קונפיגורציות אגף שוכבים	7.2.2.
30	אפיון המערכת	7.3.
30	אפיון אגף המהלכים	7.3.1.
34	אפיון אגף השוכבים	7.3.2.
42	בניית מודל הסימולציה	7.4.
43	ניתוח תוצאות המודל	8.
44	ניתוח תוצאות אגף המהלכים	8.1.
45	מדד זמן שהייה במערכת	8.1.1.
46	מדד עומס אחות	8.1.2.
49	מדד עומס רופא	8.1.3.
49	מדד מקום בתהליך	8.1.4.
51	ניתוח תוצאות אגף השוכבים	8.2.
52	מדד זמן שהייה במערכת	8.2.1.
53	מדד עומס איש צוות	8.2.2.
56	מדד עומס מיטות :	8.2.3.
59	מדד מקום בתהליך :	8.2.4.
62	עלויות מערכת ה- RFID	9.
62	עלויות מערכת RFID ביי"ח רמב"ם	9.1.
63	אגף מהלכים	9.1.1.
63	אגף שוכבים	9.1.2.
63	טבלת עלויות מסכמת	9.1.3.
64	דיון ומסקנות	10.
64	דיון ומסקנות - אגף מהלכים	10.1.
64	דיון ומסקנות - אגף שוכבים	10.2.
66	דיון ומסקנות - סיכום	10.3.
67	דיון ומסקנות – מתווה להמשך	10.4.
68	ביבליוגרפיה	11.

רשימת טבלאות

11	טבלה 1 – סוגי תגים פאסיביים
43	טבלה 2 – דוגמא לפלט סימולציה עבור טיפול אחות אגף מהלכים
44	טבלה 3 – קצב הגעת החולים באגף מהלכים
44	טבלה 4 – זמני טיפול אגף מהלכים
45	טבלה 5 – רמת האיוש אגף מהלכים
47	טבלה 6 – מבחן T עומס אחות מהלכים : הבדלים בין RFID למדד האמיתי
47	טבלה 7 – מבחן T עומס אחות מהלכים : הבדלים קונפיגורציות וסוגי ימים
50	טבלה 8 – מבחן T מקום בתהליך מהלכים : הבדלים קונפיגורציות וסוגי ימים
51	טבלה 9 – קצב הגעת החולים באגף שוכבים
52	טבלה 10 – זמני הטיפול אגף שוכבים
52	טבלה 11 – רמת איוש אגף שוכבים
55	טבלה 12 – מבחן T עומס רופא שוכבים : הבדלים בין RFID למדד האמיתי
55	טבלה 13 – מבחן T עומס רופא שוכבים : הבדלים קונפיגורציות וסוגי ימים
58	טבלה 14 – מבחן T עומס מיטות : הבדלים בין RFID למדד האמיתי
58	טבלה 15 – מבחן T עומס מיטות : הבדלים בסוגי ימים
60	טבלה 16 – מבחן T מקום בתהליך שוכבים : הבדלים בסוגי ימים וקונפיגורציות
62	טבלה 17 – עלויות רכיבי RFID
62	טבלה 18 – חישוב עלות כללית לקונפיגורציה
63	טבלה 19 – חישוב עלות קונפיגורציות אגף מהלכים
63	טבלה 20 – חישוב עלות קונפיגורציות אגף שוכבים
63	טבלה 21 – סיכום עלויות לקונפיגורציה – מהלכים ושוכבים
66	טבלה 22 – טבלת סיכום עלויות מול רמות דיוק

רשימת איורים

24	איור 1 – מיקום האנטנות אגף מהלכים עפ"י קונפיגורציה 1
25	איור 2 – מיקום האנטנות אגף מהלכים עפ"י קונפיגורציה 2
26	איור 3 – מיקום אנטנת מיטה אגף שוכבים עפ"י קונפיגורציה 1
27	איור 4 – מיקום אנטנות אגף שוכבים עפ"י קונפיגורציה 1
28	איור 5 – מיקום אנטנת מיטה אגף שוכבים עפ"י קונפיגורציה 2
28	איור 6 – מיקום אנטנות אגף שוכבים עפ"י קונפיגורציה 2
29	איור 7 – מיקום אנטנת מיטה אגף שוכבים עפ"י קונפיגורציה 3
30	איור 8 – מיקום אנטנות אגף שוכבים עפ"י קונפיגורציה 3
36	איור 9 – מיקום איש צוות ליד מיטה
40	איור 10 – שטח החפיפה בין אנטנות
40	איור 11 – חישוב שטח מקטע
40	איור 12 – שטח טווח הקליטה של אנטנת המיטה
42	איור 13 – מידול אנטנת שער במודל ה- ARENA
45	איור 14 – זמן שהייה אגף מהלכים
46	איור 15 – סטייה בעומס אחות לפי סוג יום
47	איור 16 – טווח קריאת האנטנה בדלפק האחות – אגף מהלכים
48	איור 17 – אחוז סטייה מול עומס אחות בימים השונים
48	איור 18 – סטיית RFID בעומס אחות לפי סוג יום
49	איור 19 – קצב ההגעה למלר"ד אגף מהלכים
50	איור 20 – אחוז דיוק מקום בתהליך – אגף מהלכים
53	איור 21 – זמן שהייה כתלות בעומס
54	איור 22 – סטייה בעומס רופא לפי סוג יום
54	איור 23 – סטייה בעומס רופא לפי קונפיגורציה

56	איור 24 – סטייה בעומס רופא לפי קונפיגורציה ביום ממוצע
56	איור 25 – סטייה בעומס רופא לפי סוג יום בקונפיגורציה 2
58	איור 26 – סטייה בעומס מיטות לפי סוג יום – קונפיגורציה 3
58	איור 27 – הפרש בעומס מיטות לפי סוג יום – קונפיגורציה 3
59	איור 28 – אחוז דיוק לפי קונפיגורציה וסוג יום
60	איור 29 – התפלגות מצטברת של אחוז דיוק לפי קונפיגורציה
66	איור 30 – עלות מול דיוק עבור עומסי איש הצוות אגף שוכבים
66	איור 31 – עלות מול דיוק עבור מקום בתהליך אגף שוכבים

רשימת איורים נספחים:

71	איור 1 – מודל הסימולציה של 2008 Hoot et al
71	איור 2 – בסיס הנתונים של 2005 Isken & Sugumara
78	איור 3 – תרשים זרימה אגף מהלכים קונפיגורציה 1
78	איור 4 – תרשים זרימה אגף מהלכים קונפיגורציה 2
79	איור 5 – תרשים זרימה אגף שוכבים קונפיגורציה 1
80	איור 6 – תרשים זרימה אגף שוכבים קונפיגורציה 2
81	איור 7 – תרשים זרימה אגף שוכבים קונפיגורציה 3
82	איור 8 – ניצולת על פני שעות היום – יום חלש, קונפיגורציה 1
82	איור 9 – ניצולת על פני שעות היום – יום ממוצע, קונפיגורציה 1
82	איור 10 – ניצולת על פני שעות היום – יום חזק, קונפיגורציה 1
83	איור 11 – סטיית RFID בעומס אחות לפי סוג יום
83	איור 12 – סטיית RFID בעומס אחות לפי קונפיגורציה
84	איור 13 – התפלגות מצטברת של אחוז דיוק לפי קונפיגורציה (יום חלש)
84	איור 14 – התפלגות מצטברת של אחוז דיוק לפי קונפיגורציה (יום חזק)

רשימת טבלאות נספחים:

83	טבלה 1 – מבחן T עומס אחות שוכבים: הבדלים בין RFID למדד האמיתי
84	טבלה 2 – מבחן T עומס אחות שוכבים: הבדלים קונפיגורציות וסוגי ימים

1. רקע כללי

הביקוש הגובר לשירותי בריאות איכותיים והמחסור במשאבים הינם חלק מהפקטורים, אשר מדגישים את הצורך בניצולם היעיל של המשאבים וניהולם במערכת הבריאות. בענף הבריאות קיים צורך משמעותי לבחינה קפדנית של שיטות תפקודיות ותכנון מראש של ניהול המשאבים הנחוצים למתן הטיפול הרפואי. איכות השירות וניהול אפקטיבי נחשבים לנושאים מרכזיים בארגון מחדש של ענף הבריאות הציבורי, כך שבהתאם לכך, כלים המבוססים על טכנולוגיית המידע בחקר ביצועים בהחלט עשויים להוות כלי מרכזי וקריטי לניהול יעיל, כלכלי ומוצלח ולהשגת השינויים הרצויים. כלי סימולציה גנרי יספק פתרונות משביעי רצון למצבים פרקטיים ותובעניים ויכול לדמות מערכות מסובכות מבחינה תפעולית. הסימולציה מאפשרת לבצע הדמיות וניתוחן, זאת מבלי להסתכן בהתערבות ישירה במערכות האמיתיות.

1.1. רקע על הארגון – בית חולים רמב"ם בחיפה

רמב"ם - הקריה הרפואית לבריאות האדם, קרויה על שמו של הרמב"ם, רבי משה בן מימון, גדול הרופאים היהודיים בעת העתיקה. המרכז הרפואי רמב"ם נוסד בשנת 1938 והוא הגדול ביותר בצפונה של מדינת ישראל ובית החולים השלישוני (על אזורי) היחיד בו, הנותן מענה בכל תחומי הרפואה ומשלב גישה רב תחומית באבחון ובטיפול בחולה. בין מחלקות בית החולים גם מחלקות ייחודיות, שאינן נמצאות בבתי החולים השונים בצפון כמו: מרכז טראומה, נירוכירורגיה, אונקולוגיה, המטולוגיה, טיפול נמרץ ילדים ועוד. כמו כן, משמש ביה"ח כמתקן הרפואי העיקרי לפיקוד הצפון של צה"ל.

רמב"ם הינו בית חולים ממשלתי ובו 36 מחלקות אשפוז ובהן כ- 1,000 מיטות אשפוז, 45 יחידות רפואיות, 9 מכונים, 6 מעבדות ו- 30 מחלקות מנהליות ומשקיות. מידי שנה מתאשפזים בביה"ח כ- 75,000 איש ועוד כ- 500,000 נמצאים בטיפול ובמעקב מרפאות החוץ ובמכונים.

1.2. רקע על היחידה הנחקרת – מחלקה לרפואה דחופה בית חולים רמב"ם

מחלקה לרפואה דחופה (מלר"ד) בבית חולים רמב"ם במיקומה הישן מורכבת מחמישה אולמות:

1. אולם טראומה: בו מטופלים חולים המגיעים למלר"ד עם פגיעות חיצונית או שברים ומכיל 13 מיטות.

2. שני אולמות פנימיים: בהם מטופלים חולים עם בעיות פנימיות אשר אינן דורשות התערבות כירורגית או ניתוח. בכל אולם פנימי ישנן 11 מיטות.

3. אולם פנימי מתהלכים + גניקולוגיה: בו מטופלים החולים שתסמיניהם אינם מצריכים מיטה, והם יכולים לשבת או לעמוד. בנוסף לכך מגיעות לאולם זה גם נשים הכורעות ללדת.

4. חדר מולטי טראומה: נפתח רק במקרי חרום כגון אירוע רב נפגעים ומכיל חמש מיטות.

בהתאם למצבם הרפואי, מופנים חלק מהחולים מן המלר"ד לאשפוז באחת מחמש המחלקות הפנימיות של בית החולים. כל המחלקות הפנימיות הן הטרוגניות (מטפלות בחולים בעלי בעיות מגוונות), כאשר המחלקה היחידה יוצאת הדופן היא פנימית ה', שבה מאושפזים אך ורק חולים עצמאיים (חולים "קלים" יותר).

אולם המלר"ד נמצא כעת במהלך של שיפוץ נרחב הנמשך כשנתיים ובמהלך תקופה זו, עבר זמנית למרתף הבניין. בתום תקופת השיפוץ, המחלקה לרפואה דחופה תעבור שינוי ארגוני משמעותי ואולם המלר"ד

יהיה משותף לכל סוגי החולים, כלומר הרופאים המאיישים את המלר"ד יהיו בעלי התמחות ברפואה דחופה. משמעות השינוי היא כי קיים צוות אחד המטפל בכל סוגי החולים – פנימי, כירורגי וטראומה.

2. התועלת הצפויה לארגון מהפרויקט והמוטביציה לביצועו

למלר"ד השפעה מרכזית על פעילות בית החולים. המלר"ד הוא גם צוהר דרכו שופט הציבור (מאושפזים, משפחותיהם, קוראי עיתונים ומאזינים לחדשות) את איכות הטיפול הרפואי בבית החולים אליו שייך המלר"ד. ברור לכן כי שליטה ובקרה בפעילות המלר"ד חשובים להצלחת בית החולים, אך מאידך, הם מציבים אתגר ניהולי מורכב.

המוטביציה העיקרית לביצוע הפרויקט הגיעה ממנהל המלר"ד – ד"ר דגן שוורץ והמנחה האקדמי – פרופ' אבישי מנדלבאום, אשר רצו לבחון את ההיבטים התפעוליים בתפקוד המלר"ד מתוך מטרה לייעל את השירות הניתן בו וזאת ע"י הטמעת מערכות Real Time Location Tracking (RTLT) במלר"ד. פרויקט זה, מהווה אבן דרך בדרך להטמעת מערכות אלו בארגון ומשמש ככלי תומך החלטה למנהל המלר"ד בשאלות כדאיות המערכת ודרך היישום הכדאית ביותר לארגון.

לא קל לכמת את מידת התרומה בהתקנת מערכות RTLT ובקבלת מידע רציף ועדכני של מצב המערכת מבחינת הצוות, החולים וההוצאות. מצד שני, מלר"ד עמוס, הנותן שירות גרוע ללקוחותיו ולצוות העובדים, אינו מצב רצוי עקב השלכות ארוכות טווח על רמת התפוסה בבית החולים, על שחיקת הצוות בו ועל רווחיותו. בהטמעת מערכות RTLT מצפה המלר"ד לשיפור בפרמטרים הבאים:

- קיצור זמני ההמתנה (שאינם חלק מהנוהל הטיפולי), יקצר את זמן שהיה של חולים במערכת ולפיכך גם את העומס על הצוות. מערכות RTLT יספקו למלר"ד את הכלים להתמודד עם כמות גדולה של חולים ואקראיות רבה בהגעתם.
 - שליטה טובה במצבם הקליני והסיעודי של החולים יעזור לשפר את מידת האטרקטיביות של בית החולים ולמזער את חשיפתו לסיכונים.
 - מעקב רציף אחר ההוצאות הקשורות לחולה, יכול לעזור לבית החולים לזהות גורמי עלות חריגים ובכך לצמצם עלויות ולבחון הרחבה של שירותים עבור חולים שכדאיותם הכלכלית גבוהה. כמו כן, ניתן יהיה להיעזר בנתונים על מנת לתמחר נכון יותר את שהייתו של חולה במלר"ד.
- מטרת הפרויקט היא לקדם ולעודד התקנת מערכות RTLT בצורה אופטימאלית לארגון. כלי הסימולציה שפותח בפרויקט יעודד בחינה של כדאיות המערכת ללא הוצאה כספית גבוהה בטרם ההטמעה המלאה.

3. סקר ספרות

3.1. בעיות תפעוליות בחדרי מיון

בתי חולים רבים מתמודדים יום יום עם בעיות תפעוליות למיניהן אשר להן השפעה רבה על תפקודו של בית החולים ועל מטרתו העיקרית- בסופו של יום, שייצאו ממנו אנשים בריאים.

Green (2006) במאמרה מציגה מספר עיכובים נפוצים במערכת הבריאות – עיכובים אשר מסוכנים לחיי החולים, יוצרים בעיות תפעוליות ולבסוף מכבידים כלכלית על בתי החולים.

בתחילת המאמר מוצגת בעיית העיכובים בחדרי המיון (ED). בסקר שנערך בשנת 2007 יותר מ-65% מבתי החולים דיווחו על מעבר של הקיבולת המקסימאלית שלהם בחדרי המיון. הסיבות לעיכובים בחדרי המיון שנמנו הינן: (1) המתנה לרופאים – שיכולה להגיע לפרקי זמן של עד 30 דקות לחולים "קלים" ועד 14 דקות לחולים "דחופים" – המתנה זו גורמת לתופעות של נטישה ללא טיפול (LWBS). (2) המתנה למיטה במחלקות הפנימיות – נמצא כי העברות חולים מחדר המיון למחלקה הפנימית התעכבו במוצע כ - 4.5 שעות עקב חוסר במיטות במחלקה הפנימית.

בעיות ועיכובים אלו לא טופלו לאורך השנים ראשית, כי לא נמדדו כראוי מחשש לפגיעה במוניטין של בתי החולים ושנית הדרישה המתמדת לקיצוץ בעלויות.

בהמשך המאמר מועלים מספר פתרונות ע"י שימוש ב**חקר ביצועים**. עבור בעיית איוש הרופאים הוצע פתרון ע"י שיטת איוש של אינטרוולים סטציונריים לא תלויים של שעתיים (SIPP) המבוסס על מודל M/M/S אשר הניבו שיפור של כ- 21.7% בחולים הנוטשים (LWBS). עבור בעיית המיטות הפנימיות גם כאן התבסס הפתרון על מודל M/M/S עם משכי שירות אקספוננציאליים. ע"י ניתוח נתונים וקביעת סף עיכוב ניתן בקלות לחשב את מספר המיטות הנדרש בכל מחלקה. עבור בעיית המתנה לתור לרופא נלקחו בחשבון הביטולים שמאריכים את זמני ההמתנה לרופאים M/D/C - ע"י מודל זה ניתן לקבוע את מכסת החולים המקסימלית לרופא. בעיית ההמתנה לאחיות אובחנה כניתנת לפתרון ע"י מודל תורים דו מימדי אשר יעזור בניתוב אחיות בבית החולים תחת הסתברות קטנה אפשרית לעיכוב.

המאמר מציג את הבעיות הכרוכות בשימוש ב**חקר ביצועים** במערכת הבריאות. הראשונה שבהן הינה מחסור במידע תפעולי וביצועי. השנייה הינה התנגדות הרופאים לאימוץ דרכי פעולה חדשות. השלישית היא מחסומים כלכליים. הרביעית הינה הרווחיות השונה מכל טיפול מה שמונע את שינוי הגישה בקרב ההנהלות. החמישית הינה אי ידיעת הביקוש האמיתי של מערכת הבריאות (נובע מכך שלעיתים חולה לא יטופל או לא יטופל כראוי משום שאין לו ביטוח רפואי).

לסיכום המאמר מציין כי ישנה נכונות לשיפור המדדים במערכת הבריאות אך יש קושי להתמודד עם הדילמה שבין איכות הטיפול לעלותו. השימוש בחקב"צ יכול להוות פתרון זול לבעיות הללו.

Hall (2006) במאמרו מתאר, דרך Case Study על בית חולים בלוס אנג'לס, כלים בסיסיים לפתרון עיכובים במערכת הבריאות. כלים אלו כוללים מיפוי התהליכים שעובר החולה, ניתוחם ופיתוח והטמעה של מדדים תפעוליים. חדר המיון מהווה את המקום בו העיכובים הינם המקסימליים – עובדה הנובעת מביקוש לא ידוע ומשתנה. מידול מערכת הבריאות בצורת המקרו תורמת להערכת חיי החולה והקטנת משכי ההמתנה של החולה לטיפול. ע"י מידול זה מע' הבריאות תוכל להקטין את עלויות הטיפול ולצמצם את חזרת החולים לטיפול – הבטחת טיב הטיפול. חדרי מיון הינם צפופים ולרוב אינם מתרוקנים לחלוטין ולכן מודל תורים רגיל יתקשה לטפל בבעיה זו, כאשר בפועל "הקטנת" הלחץ נגרמת ע"י נטישת חולים

שהיא תוצאה לא רצויה. שיטות למידול המערכת הינן: Process Planning המתארת את דרכו של החולה במערכת, ו- Performance Measurement המתארת מדדים (זמן המתנה וכו') של המערכת ועמידה בהם. בעיות כדוגמת מחסור במשאבים כספיים ומערכות מידע מתאימות מקשה על קביעתם ויישומם של מדדים אלה. במאמר מתוארות שיטות איך בית החולים בלוס אנג'לס פתר חלק מהבעיות המרכזיות. כאשר אנו נתמקד בחדר המיון – נושא הפרויקט. שיטת קבלת החולים הינה שיטת טריאג' - תחילה נערך לחולה אבחון ראשוני ע"י אחות הקובעת את חומרת מצבו. החולה מופנה לטיפול, שלאחריו החולה ממתיין להעברתו למחלקה המתאימה, במידה ויש במחלקה מיטה עבורו - "מחסום". המאמר מנסה לאפיין מספר גורמים אשר אחראים לעיכובים בתהליך זה. הראשון שבהם הוא הגעת החולים, שיא הגעת החולים הוא בין השעות 09:00 ל-17:00, כאשר, צורת הגרף ("דבשת") מתאימה לכל הימים ולכל שבועות. עומס זה משפיע על כמות המיטות הפנויות במחלקות השונות ולבסוף גורם לזמני ההמתנה הארוכים במיון. כמו כן מוצגת במאמר תנועת החולים ומיקומם בחדר המיון, מהממצאים עולה כי עיקר התנועה מתרחשת מחדר המיון אל עמדת השחרור. שקלול שני גורמים אלה משפיעים על זמני השהיה במיון ומאריכים אותם מאד. המאמר ממליץ על מדידת הזמנים השונים במערכת ע"י סורק ברקוד כדוגמה לאמצעי מדויק שבאמצעותו ניתן יהיה לאמוד את זמני ההמתנה כזמנים בין אירועים שונים, למשל זמן מבדיקת הרופא ועד שחרור מחדר המיון. מכאן גם ניתן, אך קשה בהרבה, לגזור את מספר החולים אשר ממתינים. מלכתחילה הקושי להבין את מהות העיכוב בחדר המיון הוא גדול משום שעייכוב כלשהו יכול להיות תוצר של מחסור במיטות במחלקה המיועדת, מחסור ברופאים, חוסר באחיות או אפילו המתנה לתוצאות הבדיקות. המדד המקובל לחישוב יעילות (כמות חלקי זמן) לא מתאים לתיאור חדר המיון, כאשר נהוג לתאר יעילות במע' הבריאות כעלות ליום חולה. מדד תפעולי נוסף יכול לתאר את ניצולת המיטות – אשר נגזרת מכמות האחיות שבעצם אחראיות על שינוע החולים. לסיכום המאמר גורס כי יש להקים צוות בבית החולים שייועד לשיפור תהליכים שישתמש במידע הנאסף לשם יישום מדדים תפעוליים מכווני עלות. שימוש במידע ומדדים אלו וקביעת טכניקה לניהול נכון של מיטות בתי החולים תקטין את זמני ההמתנה. המאמר מציע להשתמש במערכת מידע מדויקת כדוגמת RFID אשר תתמוך בצוות זה ותספק לו מידע זמין ואמין. מאמרים אלו תורמים לפרויקט בכך שמתאר את נקודות החולשה של חדרי המיון ומעלה לדיון את החשיבות בשימוש במערכת מידע שתתמוך במדדים בכלל ואת הצורך בשימוש במערכת RFID בפרט.

3.2. טכנולוגיות ה- RFID (Radio Frequency Identification)

על מנת להבין את דרכי הפתרון האפשריות באמצעות RFID, עלינו להבין תחילה מהי טכנולוגיית ה-RFID. אנו נתמקד ב RFID פאסיבי שהוא הפשוט ביותר ובעל הסבירות הגבוהה ביותר להיבחן ביישום פרויקט מסוג זה בבתי חולים.

Chawla & Ha (2007) במאמרם סוקרים את ההיסטוריה של RFID, מתארים את סוגי התגים הפאסיביים, אופן פעולתם ומפרטים את טווחי התדירויות והרגולציות בנושא. המאמר מציג שימושים עיקריים של RFID ומשוכות טכנולוגיות עליהן יש להתגבר לפני אימוץ נרחב של טכנולוגיה זו. מערכות RFID מורכבות מקוראים (Interrogators) ותגים (Transponders). מערכת טיפוסית כוללת קוראים ספורים (נייחים או ניידים) ותגים רבים המחוברים אובייקטים. הקורא מתקשר עם התגים הנמצאים בטווח הקליטה שלו ואוסף נתונים לגבי האובייקטים. התגים מסווגים ל-3 סוגים עפ"י עקרון פעולתם: פאסיביים, פאסיביים למחצה ואקטיביים. התג הפאסיבי הוא הפשוט ביותר, ולכן הזול ביותר. אין לו

מקור כוח פנימי, אך הוא משתמש בשדה האלקטרומגנטי המועבר ע"י הקורא כדי לספק את המעגל החשמלי שלו. התג הפאסיבי משתמש ב-Backscattering לצורך שידור המידע בחזרה לקורא. לתג פאסיבי למחצה יש מקור כוח משלו, אך אין לו משדר וגם הוא מסתמך על Backscattering. לתג אקטיבי יש גם מקור כוח וגם משדר משלו.

תגים פאסיביים: Far Field Coupling-FFC, Near Field Coupling-NFC, מאופיינים בטבלה 1.

טבלה 1 – סוגי תגים פאסיביים

סוג	שדה EM	שיטת הקליטה	טווח קליטה	תדר	קצב ירידת האות	גודל אנטנה
NFC	מגיב reactive	שינוי בזרם load modulation	עד כ- 3.5 מ'	נמוך	$1/r^6$	גדול
FFC	מקרין radiative	הפרשי התנגדות back scattering	5-20 מ'	גבוה	$1/r^2$	קטן

תדר שידור גבוה (FFC) מאפשר קריאה של תגים מרובים לקורא יחיד. NFC מקטין בעיות אמינות בשידור, מאפשר עבודה בסביבה מתכתית ועדיף לשימוש במערכות המשלבות בע"ח ובני אדם (מוצגת טבלה המפרטת את תכונות מערכת RFID בתחומי תדרים שונים). מערכות RFID לא דורשות רישיון ברוב המקרים, אך קיים פיקוח על השימוש בתדרים (טבלה מפורטת במאמר).

קיימים מספר מכשולים לאימוץ נרחב של מערכות RFID: עלות גבוהה (שבבים, אנטנות והתקנה), בעיות אמינות (אוריינטציה של התג והקורא, החומר ממנו עשוי האובייקט וסביבת המערכת), בטיחות ופרטיות ושילוב המערכת.

הכותבים צופים כי שוק ה-RFID יתרחב רבות בשנים הקרובות ובאמצעות התפתחות טכנולוגית יכלול תגי RFID מודפסים, יכולת איתור גבוהה של תגים, שילוב של חיישנים בתגים ושימוש באנרגיה ממקורות חיצוניים.

תרומת המאמר לפרויקט היא בהצגה ברורה ומפורטת של סוגי מערכות RFID פאסיביות, יתרונות וחסרונות של כל סוג. המאמר מפרט את מגבלות מערכות אלו ובכך יסייע לנו בבחירת מיקומים אופטימאליים לשימוש בחדר מיון עפ"י צרכי בית החולים והתכונות הטכניות של כל מערכת.

3.3 מחקרים וניסיונות יישום של טכנולוגיית ה-RFID בבתי חולים

לאחר שהצגנו את ההיבטים הטכניים של RFID ובעיות תפעוליות בבתי חולים, נסקור מספר מאמרים המציגים שילוב מערכות RFID בבתי חולים ונבין כיצד RFID יכול לסייע בפתרון בעיות אלה.

Cangialosi & E.Monaly (2007) מציגים את האפשרויות הרבות שניתן להרוויח מהטמעה של RFID בבתי חולים בשני אספקטים. באספקט הראשון, הכותבים בוחנים את מהלך השהות של המטופל, המתחיל מתהליך הרישום, עובר לבדיקה ואבחון, לטיפול, להתאוששות, לשחרור ולבסוף לחיוב החשבון. שימוש ב-RFID במהלך שהות המטופל, מאפשר מעקב על התרופות שהוא מקבל ויכולת להזהיר בזמן כאשר ישנה בעיה כלשהיא. כמו כן, מאפשר התאמת התרופות והמרשמים הנכונים למטופל הנכון. באספקט השני, המבוסס על ניידות של אובייקטים וקוראים, בוחנים הכותבים את האפשרויות השונות של RFID: הראשון הוא קורא RFID נייד המזהה אובייקטים ניידים או נייחים. השימוש בו יכול לתת לנו מידע על מיקום של חולים או צוות רפואי העונדים תגי RFID ויאפשר תגובה מהירה במקרה הצורך. כמו כן, ניתן יהיה לעקוב אחרי ציוד שיסומן, למשל יהיה אפשר להבחין אם הושאר ציוד בתוך גוף החולה במהלך

ניתוח. הקורא השני הוא קורא RFID נייד המזהה אובייקטים נייחים. באמצעותו ניתן יהיה לעקוב אחרי ציוד יקר כמו מכונות MRI וכדומה. סוג הקורא האחרון הוא קורא RFID נייד המזהה אובייקטים נייחים באמצעותו ניתן לשלוח נתונים בזמן אמת על תרופות או חולים דרך רשת אלחוטית למערכת המידע של בית החולים.

שימוש ב-RFID משפיע על שטף העבודה של בית החולים בכל מיני צורות כמו סריקת אינפורמציה מהמטופל למערכת המידע של בית החולים ולהיפך, שליפה של אינפורמציה ממערכת המידע. כמו כן, מאפשרת זיהוי המטופלים והשוואה בין מרשמים שניתנו לבין תרופות שניתנו בפועל. הכותבים מדברים על היתרונות הרבים שניתן לקבל משימוש ב-RFID, למשל על העובדה שרופא יכול לקבל את כל האינפורמציה על כל חולה, רישומים רפואיים, נתוני עבר ונתונים על הטיפול אותו קיבל. עוד יתרון הוא שימוש בנתונים בשביל חיוב אוטומטי של חשבון המטופל, וע"י כך, יכול בית החולים להעריך את העלויות שלו לטיפול.

עם כל היתרונות שנותן שימוש ב-RFID, הכותבים מדברים על כמה בעיות ואתגרים בהטמעה:

- מציאת סוג הטכנולוגיה המתאימה ומיקום הקוראים במקומות הנכונים על מנת לקבל את האינפורמציה הדרושה.
 - יש בעיה במקומות עם מכשירים רפואיים היוצרים שדה מגנטי שיכול להשפיע על תקשורת גלי הרדיו.
 - בתגים מסוימים, ניתן לקלוט את המידע המשודר ממרחק רב ותתכן פגיעה בביטחון המידע. הפתרון לכך הוא הצפנת המידע.
 - ישנה בעיה בקריאת הנתונים כאשר יש מספר תגים קרובים ביחד.
- למרות הבעיות הצפויות, הכותבים תומכים בהטמעה של RFID בבתי חולים ומדגישים את היתרונות הרבים שניתן להשיג ע"י הטמעה כזו.
- Bardram (2004) במאמרו לקח את הרעיון של שימוש ב-RFID בבתי חולים רחוק יותר והטווה מספר תסריטים של מערכות זיהוי בבתי חולים:

1. כניסה ל"איזור אקטיבי" – המערכת יודעת את מיקום האחות, החולה, העגלה, מיטת החולה והמחשב הממוקם עליה.
 2. מיטת החולה – עליה מסך המשמש את החולה ואת הצוות הרפואי (גישה למידע רפואי).
 3. מיכל תרופות – למיכל יכולות חישוב, תקשורת והצגה. המיכל יודע לזהות את החולה אליו משויך.
 4. EPR(Electronic Patient Records) – ברגע שמיכל התרופות מונח על השולחן, המיטה מגיבה לשינוי בסביבתה ומציגה על המסך את מרשם התרופות של החולה.
 5. עזיבת ה"איזור האקטיבי" – ברגע שהאחות עוזבת את האזור היא יוצאת מהמערכת באופן אוטומטי והחולה חוזר לראות טלוויזיה.
- היישום הנוכחי של המערכת מבוצע בצורה הבאה: לכל מיטה יש מחשב משולב ומסך מגע המצוידים בחיישני RFID שיכולים לזהות את: החולה השוכב על המיטה, איש הצוות הרפואי העומד לצידה ומגוון מכשירים הנושאים תגי RFID. בצורה זו המחשב יכול להתאים את המסך למשתמשים בקרבתו. מיכל התרופות מזוהה בקרבת החולה. ברגע שהאחות מניחה את המיכל על מטת החולה היא מתבוננת במסך כדי לקבל את מרשם התרופות שלו.
- בתכנון מערכת כזו יש להתחשב בעקרונות הבאים:

1. תשתית המערכת – א. לספק את המידע הרלוונטי למטרה ספציפית מחד, ולהתאים את עצמה לכלל בית החולים מאידך. ב. על המידע להיות חשוף לגורמים הרלוונטיים בלבד, יש למנוע גישה של גורמים בלתי מורשים. ג. יכולת זיהוי של ציוד הנכנס ויוצא מתחומי בית החולים. ד. על המערכת להיות ברת הרחבה ועליה לפעול באופן רציף. יש לאפשר דרך לבצע שינויים במערכת מבלי להפעיל אותה מחדש.

2. יישום ממשק תכנות – א. למתכנת צריכה להיות היכולת לטפל במערכת להתאמה במגוון סביבות עבודה. ב. טרנספורמציה של הקונטקסט – יכולת מיזוג של פרמטרים שונים לסביבת עבודה ספציפית. ג. איכות הקונטקסט – שמירה על איכות מידע גם בתנאי אי וודאות. ד. תמיכה בפעילויות – על מסגרת העבודה לספק קוד ספציפי שיוכל "לתרגם" שינויים בקונטקסט להצעות לפעילות למשתמש.

המאמר תורם לפרויקט בכך שהוא מציג עקרונות תכנון למערכות זיהוי ממוחשבות ברפואה. אנו נוכל להתבסס על עקרונות אילו בבואנו לשלב מערכת RFID בחדרי מיון.

Isken & Sugumara (2005) במחקרם משתמשים בתגי אינפרא אדום על החולים והצוות רפואי בשתי מרפאות חוץ בארה"ב ובונים דרך נוחה להשתמש בנתונים הרבים המתקבלים על מנת לבנות מודל סימולציה גנרי מדויק יותר ושימושי יותר מהקיימים כיום. מודל זה יעזור למשתמש להבין טוב יותר את הקשרים בין הקלט כמו קצב הגעת החולים, מספר הרופאים וכדומה לבין הפלט כמו זמן ההמתנה וזמן הטיפול. במחקר הציבו עמדת קליטה בכניסה למרפאה בה עונדים לחולה את התג, לוקחים ממנו פרטים מזהים ושומרים את זמן ההגעה שלו. באותה עמדה כאשר החולה עוזב את המרפאה הוא מחזיר את התג ונרשם זמן היציאה שלו בבסיס הנתונים. בכל חדר במרפאה מוצב חיישן שמזהה את התג כאשר אף אחד מהנ"ל לא מוסתר. בזמן שהותו של החולה נרשמים נתונים על מיקומו ומיקומם של הצוות הרפואי לפי הזיהוי של הקוראים את התגים השונים. בסופו של התהליך ביצעו סינון וסידור של כל הנתונים שנרשמו וע"י כך ביצעו את האנליזות הבאות:

1. מציאת התפלגות זמני הטיפול בחולה. הכותבים השוו התפלגות זו להתפלגות Weibull הנפוצה ביותר כיום למודלי סימולציה וגילו שהיא אכן תואמת את הנתונים.

2. התפלגות זמני ההמתנה של החולים בכל תחנה. בידיעת פרמטר זה, יכול ב"ח להבטיח רמת שרות מסוימת לחולי.

3. סיווג הפגישות בין חולה לרופא כדי לדעת מהם הפרמטרים המשפיעים על זמני הפגישה וע"י כך לתזמן טוב יותר תורים הנקבעים מראש לפי הפרמטרים הנ"ל. במחקר זה גילו כי הפרמטר המשפיע ביותר הוא מיהו הרופא שנותן את הטיפול.

4. חישוב המסלולים של כל חולה. ע"י כך ניתן לדעת את התפלגות המסלולים השונים ולבצע חיתוכים שונים על הנתונים בשביל לקבל את המידע שמעניין אותנו למשל מסלולים בעייתיים.

ניתן לראות כי אלו נתונים שימושיים מאוד בהיבט התפעולי של בית החולים או המרפאה.

3.4. בלי הסימולציה הקיימים

הכלים הקיימים כיום לקבלת מדדים תפעוליים בבתי חולים מבוססים על סימולציות שמשתמשות בהתפלגויות כדי לדמות זרימת חולים. נציג מספר מאמרים בתחום זה.

Hoot et al (2008) פיתחו מודל סימולציה המבוסס על הסתברויות תיאורטיות שמדמות זרימת חולים, כאשר הפרמטרים נקבעו עפ"י מידע היסטורי. שלושה אילוצים הוטלו על פיתוח הסימולציה: 1. התמקדות

בתהליכי טיפול שתורמים לעומס כדי להקל על יכולת החיזוי. 2. מזעור דרישות הקלט כדי לאפשר התאמה באופן הפשוט ביותר למוסדות שונים. 3. זמן ריצה קצר כדי לאפשר חיזוי בזמן אמת. פיתוח הסימולציה בוצע ע"י צוות מומחים מגוון מתחומי הרפואה, חקב"צ, medical informatics וביוסטטיסטיקה.

מודל הסימולציה: (ראה נספח מס' 1)

A - קצב הגעת החולים משתנה עפ"י הזמן ביום והיום בשבוע. מיוצג ע"י תהליך פואסון לא סטציונארי, זמן בין הגעות מפולג אקספוננציאלית.

B - חלק מהחולים עוזבים מבלי לקבל טיפול והם נכללים במספר הממתינים בחדר ההמתנה. התהליך מיוצג ע"י מודל גרסיה לוגיסטי.

C - סיווג החולים עפ"י רמת הדחיפות. ההסתברות של חולה להשתייך לרמה מסוימת נקבעת עפ"י התפלגות מולטינומית. החולים הדחופים ביותר משויכים למיטות מבלי להתייחס לזמינות המיטות. כל שאר החולים נשארים בחדר ההמתנה עד לקבלת מיטה, עפ"י הדחיפות.

D - זמן הטיפול, כל רמת דחיפות מקבלת התפלגות לוג נורמלית נפרדת.

E - סיווג חולים כדורשי אשפוז/טיפול יום עפ"י התפלגות ברנולי נפרדת לכל רמת דחיפות.

F - המתנה למיטת אשפוז, מיוצג ע"י תהליך פואסון לא סטאציונארי.

אוסף הנתונים המינימאלי ההכרחי להרצת הסימולציה הוא: זמן רישום החולה בחדר מיון, זמן קבלת מיטה, זמן קבלת מיטת אשפוז (אם דרוש), זמן שחרור מחדר מיון, הקטגוריה בה סווג החולה והאם החולה עזב מבלי לקבל טיפול. החיזוי התבצע עפ"י ממוצע של 1,000 רפליקציות של הסימולציה לזמנים שונים. המדדים (הפלט): מספר חולים בחדר המתנה, זמן המתנה, תפוסת מיטות אשפוז, זמן טיפול בחדר מיון (כולל חדר המתנה), מספר חולים הממתינים למיטת אשפוז, זמן המתנה למיטת אשפוז והסתברות להופעת אמבולנס.

הממצאים מראים כי ההתפלגויות הנבחרות תואמות בקירוב את המציאות הנצפית. למדדים שנחזו נמצאה התאמה טובה עם המציאות. לכל המדדים קליברציה טובה, פרט לזמן ההמתנה למיטת אשפוז (שהיה מוטא באופן שיטתי). המאמר מציג מספר סיבות אפשריות לכך ושיטות לפתרון. לפשטות של הסימולציה מספר יתרונות: 1. אין פרמטרים אד הוק – ניתן להעריך את כל ההסתברויות ישירות מהמידע על החולים בכל חדר מיון שהוא. 2. נדרשים רק 6 פרמטרים לחולה. חדרי מיון רבים כבר מחזיקים בידיהם את הנתונים הדרושים לביצוע הסימולציה. 3. הסימולציה נכתבה בשפת C כדי לאפשר זמן ריצה קצר ונגישות גבוהה.

תרומת המאמר לפרויקט היא בהצגת כלי סימולציה פשוט המדמה זרימת חולים בחדר מיון. הוא יסייע לנו בהבנת הסימולציה הקיימת בפקולטה ובשינויה לצורך תמיכה של מעקב וזיהוי חולים ואנשי צוות רפואי.

הסימולציה שאנו נבנה בפרויקט שלנו מבוססת על כלי שפותח בפקולטה ומאמרם של Sinreich &

Marmor (2004) מסביר את אופן הפיתוח. עד לאחרונה ניתוח מערכות תפעוליות נעשה באמצעים פשוטים. כיום עקב עליית העומס התפעולי והבנת חשיבות השירות, עלה הצורך בכלים תומכי החלטה חסכוניים וטובים יותר. המודלים הקיימים כיום הינם - ליניאריים ולא ליניאריים לשם מציאת ביצוע אופטימאלי ומודלים הלקוחים מתורת התורים ושרשראות מרקוב. מודלים אלו רגישים לגודל ולסיבוכיות ולכן לא התאימו למציאת פתרון עבור חדרי המיון שמטבעם גדולים ומורכבים לתפעול. המודלים המתאימים לתיאור מצבים אלו הינם מודלי סימולציה בדידים שיוכלו לתת הערכה לגבי היעילות והניצולת בחדרי המיון, אך חשוב מכך יכולים לסייע בהערכת מודלים תפעוליים שונים. מודלים אלו

חייבים לקיים מספר עקרונות על מנת להתאים לתיאור חדרי המיון – כלליים, גמישים, אינטואיטיביים ופשוטים.

במאמר מתואר איסוף המידע עבור רופאים ועבור חולים "מהלכים" ו"שוכבים" מחמישה חדרי מיון שונים הפועלים בצורות שונות. אותו מידע עבר ניתוח ע"י תרשימי תהליך וקובץ לשם הרכבת מודל אחד, כאשר לבסוף, נמדד הדיוק של אלמנטי הזמן שנאספו. כתוצאה מעיבוד נתונים זה פותח מודל **גנרי** של הגעת חולים לחדר המיון (משוקלל מנתוני הגעת חולים של שלושה חדרי מיון) – מודל אשר נתמך בניתוח של גרסיה ליניארית. כמו כן, מודל זה מאפשר לבחון את זמני ההמתנה בחדר המיון כאשר איסוף המידע נעשה ע"י חקר זמן בתחנות השונות בחדר המיון (לדוגמא, המתנה לבדיקת רנטגן). מודל גנרי זה עבר תהליך של וידוא (Validation) על מול נתוני בתי החולים אשר לא השתתפו במחקר ונמצא תקף.

המאמר מניח את היסודות לשימוש בכלי הסימולציה ככלי לניתוח ביצוע תפעולי בחדרי מיון. כלי הסימולציה מאפשר את מיונם של החולים לסוגיהם והתקנת זמנים ומרחקים גנריים לפעולות שונות בחדרי המיון אשר ישמשו כערכי ברירת מחדל עבור חדרי מיון נוספים. בעזרת המודל נותחו הגעות החולים המשפיעות ישירות על המודל התפעולי בחדרי המיון ונקבעו מדדי הערכה גנריים עבורן. מאמר זה תורם לפרויקט שלנו בכך שמציג את תוקפו של כלי הסימולציה ככלי איכותי אשר באמצעותו אפשר לנסות ולנתח ביצועים ומודלים תפעוליים של חדרי מיון. כלי זה מאפשר הזנת ערכים שונים למודל הגנרי אשר יהוו עבורנו את הערכים התפעוליים שנאספים ע"י תגי ה-RFID. שימוש בכלי זה יוכל לסייע לנו לבחון את היתכנות השימוש בטכנולוגיה זו ובחינת המודל התפעולי המתאים בעת השימוש בה.

3.5. התועלת הפוטנציאלית משילוב ממשקי RFID בכלי סימולציה

לאחר שסקרנו את הפוטנציאל הטמון בשימוש ב-RFID בבתי חולים ולאחר שלמדנו על כלי סימולציה המדמים חדרי מיון עלינו להבין את התועלת בשילוב בין השניים.

Amini et al (2007) מתרכזים בשאלה: איזו תועלת שעדיין לא זוהתה יכולה טכנולוגיה ה-RFID- לספק? ומנסה למצוא נתיבים לניצול מקסימאלי של הנתונים אשר נאספים מהשימוש במערכות אלו. המאמר בוחן את היתכנות מערכות RFID בשיתוף עם מערכות טכנולוגיות נוספות במערך הטיפול הרפואי ואת היכולות של מערכות אלו באיסוף נתונים הקשורים למעברי החולים. בנוסף, נבחנת האפשרות של ניצול הנתונים המתקבלים לצורך **בניית סימולאטור אשר ישמש ככלי ניהולי אשר יעזור בהבנה טובה יותר של תהליכים במערך הטיפול הרפואי**. בהתחשב במצבה של המערכת הרפואית כיום, תכנון של מערכת כזו היא קריטית ויכול להביא לשיפור משמעותי בדרכים הבאות:

- המידע הניתן ע"י הסימולאטור ונתוני ה-RFID יספקו אינפורמציה בזמן אמת לגבי מיקום ופעילות של חולים, רופאים ובנוסף ציוד רפואי במערכת. יתרון זה ייתן לנו יכולת לאתר פרטים (מטופלים + רופאים + ציוד) במערכת בצורה מהירה יותר.
- תועלת נוספת אשר תצמח מבניית סימולאטור זה היא האפשרות הניתנת למומחים במערכת הרפואית לבחון מחדש את התהליכים הקיימים ע"י מדדים סטטיסטיים כמו זמני מחזור ו"תפוקת" חולים בזמן מחזור זה.
- בעזרת הסימולאטור נוכל למדוד ולעקוב אחר זמני ניצול של מכשור רפואי יקר וע"י מעקב זה נוכל לנהל בצורה יעילה יותר את הניצול של המשאבים הקריטיים.

מערכות ה-RFID מסוגלות לעמוד באתגר של איסוף נתונים מייצגים ואמינים לגביי מערכות ותהליכים שונים וכל זאת ע"י צריכת זמן מינימאלית. לכן הן מהוות כלי אופטימאלי ליצירת מאגרי מידע עבור סימולאטורים שונים בתחומים נוספים (לאו דווקא בתהליכים רפואיים).

המאמר מפרט את התהליך באמצעותו נבנית אמינות נתוני ה-RFID ובעקבות כך- נאמנות הסימולאטור וזאת ע"י פירוט השלבים מהם הבעיה מורכבת: החל מהגדרת הבעיה דרך איסוף הנתונים ואישור (Validation) של המודל (האישור מתבצע ע"י הרצת Pilot של המודל במשך 12 חדשים וע"י שימוש בממשק תכנת ה-Arena) ועד להרצת המודל והסקת המסקנות.

לסיכום, המאמר עוזר להמחיש את הצורך ביצירת ממשק מתאים עבור מקבלי ההחלטות בארגונים. מערכת הסימולאטור שהוצגה, תספק תמונת מצב של התהליכים ע"י הנתונים שנאספו בטכנולוגית ה-RFID.

במאמר זה ניתן לזהות את החיוניות של המחקר אותו אנו מתועדים לבצע במרכז הרפואי רמב"ם. בניית סימולאטור אשר מתבסס על מדגם מייצג שנאסף באמצעות תגי RFID יוכל לעזור לארגון לחקור ולנתח את תהליכיו הקיימים ובעזרת ניתוח זה לאתר נקודות לשיפור וייעול הן מבחינת השירות ללקוח והן מבחינת הקטנת העלויות התפעוליות.

לאחר שיש בידינו את כלי הסימולציה וסקרנו את היתרונות בשימוש של RFID בבתי חולים, נבחן כיצד ניתן לבצע אינטגרציה בין השניים על מנת לקבל כלי תומך החלטה מדויק ונוח.

Isken & Sugumara (2005) טוענים כי על מנת לבנות מודל סימולציה מדויק המבוסס על נתונים המתקבלים משימוש בחיישני תקשורת יש לסדר את הנתונים בצורה כזו שנוכל להשתמש בהם. במחקרם, בנו בסיס נתונים (ראה נספח מס' 2) המבוסס על נתונים שהתקבלו מתגי אינפרא אדום. השלב הראשון הוא איסוף הנתונים בטבלאות. הטבלאות הבסיסיות בבסיס הנתונים אשר קיים במרפאה הן טבלת מיקומים (כאשר המפתח הוא מס' סידורי של המקום), טבלת אנשים (המפתח הוא מספר הזהות) וטבלת ביקורים (המפתח הוא מס' הביקור) המכילה את ת.ז. החולה, זמן הענידה וזמן ההורדה של התג אשר מוכנסים ידנית כאשר החולה מגיע ועוזב את המרפאה. כל הנתונים נרשמים בטבלה הנקראת `Person_loc_hist` המכילה את האדם שזוהה, את המיקום בו הוא זוהה, את זמן הזיהוי ואת סוג הזיהוי- הגעה או עזיבה (בפעם הראשונה בה זוהה התג או שזוהה לאחר עזיבה- נרשמת הגעה, ולאחר שהקורא אינו מזהה את התג במשך זמן קבוע מראש- נרשמת עזיבה). בשלב השני, לאחר שאוספים את כל הנתונים הנ"ל יש צורך לסדר אותם ולבצע עליהם מניפולציות שונות על מנת שיהיו שימושיים. סידור הנתונים מתבצע בשלבים הבאים :

1. קישור הנתונים בטבלת הביקורים לטבלת `person_loc_hist` כך שנקבל בטבלת הביקורים רק אנשים שאכן זוהו במקומות שונים במרפאה ושאכן זמני הזיהוי שלהם היו בין זמן ההגעה לזמן העזיבה שלהם.

2. השלמת זמני הגעה ועזיבה בתחנות אם חסר לפי זמני הגעה לתחנה הבאה שרשומה.

3. יצירת שתי טבלאות `pat_loc_duration` ו- `staff_loc_duration` המכילות את משך הביקור בכל תחנה לפי חישוב של זמני הגעה ועזיבה, טבלה אחת למטופלים ואחת לצוות הרפואי. הטבלה יכולה להכיל גם שדות מחושבים נוספים שיעזרו בניתוח הנתונים כמו האם זו תחנת מעבר (משך השהות בה קטן ממשך מוגדר מראש), איזה תחנה זו במסלול המטופל (ראשונה, אחרונה, אמצע) או כמה פעמים עזר בתחנה זו בביקורו.

4. מחיקת רשומות מיותרות וכפולות בטבלאות המשכים שיצרנו שיכולות להיווצר מאיבוד רגעי של התג אשר מוסיף ביקור נוסף ובעצם מקטין את משך השהיה הממוצע. ההחלטה תעשה לפי פרמטר קבוע מראש של "זמן איבוד".
 5. סימון רשומות מעבר: סימון הרשומות כרשומות "מעבר" עבור רשומות שזמן השהיה בהם קטן מפרמטר הקבוע מראש.
 6. מילוי חורים- יצירת רשומות חדשות בטבלת pat_loc_duration עבור עצירות בתחנות שאינם תחת בקרה של חיישנים.
 7. חישוב מסלולים- יצירת טבלה המכילה את מסלול המטופל.
 8. שילוב טבלאות הצוות הרפואי והמטופלים וחישוב מתי יש זמני חפיפה ביניהם וע"י כך יהיו לנו נתונים על משך הטיפול בפועל שקיבלו המטופלים.
 9. קישור הנתונים שהתקבלו מהביקור למאגר הנתונים הקיים במרפאה על מנת לבצע אנליזות דמוגרפיות שונות.
- לאחר ביצוע כל השלבים הנ"ל נמצא בידינו מאגר נתונים רחב ומסודר שיעזור לנו רבות בביצוע אנליזות שונות.

3.6. מיקום קוראים אופטימאלי בחללים שונים

לבסוף, כאשר יש בידינו את כלי הסימולציה עלינו לבחון היכן למקם את קוראי ה-RFID בחדר המיון כדי להפיק בצורה אופטימאלית את הנתונים הדרושים מהמערכת.

Lis et al (2004) מציע שימוש באלגוריתם LANDMARC כדרך לאתר תנועת אנשים דרך בניינים שונים או קומות מבלי שגורמים סביבתיים למיניהם יחלישו את דיוק הקליטה. האלגוריתם למיקום החיישנים בשם LANDMARC algorithm (Location Identification based on Dynamic Active RFID calibration) מורחב כאן שיתאים לבניין רב קומות. האלגוריתם בא להעלות את הדיוק בזיהוי מבלי למקם קוראים נוספים ע"י שימוש בתגים של ציוני דרך. האלגוריתם משתמש בתג ה-RFID, בקורא וב-Field generator שתפקידו "להעיר" את התג. נסמן את קורא ה-RFID ב- r , את תגי ציוני הדרך ב- l ואת התגים שאחריהם עוקבים ב- m . מגדירים את וקטור עוצמת הסיגנל בתור: $\vec{S} = (S_1, S_2, \dots, S_r)$ כאשר S_i מסמן את עוצמת הסיגנל של התג הנע הנקלטת ע"י קורא i . בדומה, נגדיר את $\vec{\theta} = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_r)$ בשביל תגי ציוני הדרך. לכל תג נע נגדיר $E_n^m = \sqrt{\sum_{i=1}^r (\theta_i^m - S_i^n)^2}$ כקשר בין ציון הדרך ה- m לבין התג הנע ה- n . האלגוריתם משתמש ב- k הקואורדינטות הקרובות ביותר של ציוני הדרך על מנת לאתר את התג הנע:

$$w_i = \frac{1/E_i^2}{\sum_{i=1}^k 1/E_i^2} \quad \text{כאשר } w_i \text{ הוא וקטור המשקל: } (x, y) = \sum_{i=1}^k w_i (x_i, y_i)$$

בשביל להעלות את הדיוק ולהתאים את האלגוריתם לבניין רב קומות, מבחינים בין 3 field generator: Normal generator המותקן בכל אזור, Floor generator המותקן בחדרי מדרגות ו-Area generator המותקן בין 2 אזורים סמוכים. נניח שיש לנו F קומות בבניין ו- f_i אזורים בקומה ה- i . אז ישנם

$\sum_{i=1}^F f_i$ אזורים בבניין. הסמיכויות בין אזורים מוגדרים במטריצת הסמיכויות הבינארית A כאשר
 $A_{i,j} = 1$ אם אזור a_i ואזור a_j סמוכים. בנוסף נגדיר מערך קורלציות C כאשר $C_i = j$ אם ה-Normal
generator ממוקם באזור a_j . כל אירוע שנוצר בחדר המדרגות או באזורי המעבר, יעורר את האזור
הרלוונטי ואת אלגוריתם ה-LANDMARK המתאים.

לאחר סקירת הספרות, התוודענו אל הנורמות הקיימות כיום בבתי החולים בארץ ובעולם, ולמדנו על
הצרכים החסרים במוסדות אלו. במחקרנו עלה כי יש צורך בכלי אשר יספק לבתי החולים תמונת מצב
אמיתית, מעודכנת בזמן אמת ומייצגת של המדדים התפעוליים.
ניתן לראות בבירור מן המאמרים כי פנינו מועדות לעולם בו מערכות ה-RFID יהיו חלק אינטגרלי
משיפורים תפעוליים בתחום השירות בכלל ובתחום המערכות הרפואיות בפרט. מכאן, עולה הצורך
בפיתוח כלי סימולציה שתומך בטכנולוגיה זו והתאמתה למוסדות שונים.
מטרתנו היא לשלב במערכות הסימולציה הקיימות תמיכה במערכות RFID שונות ובאמצעות הפלטים
מהסימולציה, יקבל הארגון כלי בעזרתו יוכל להחליט על מערכת ה-RFID האופטימאלית עבורו.

4. תאור המצב הקיים

4.1. תאור המצב הקיים במלר"דים כיום

מטרת בתי החולים היא למקסם את מספר האנשים שיוצאים מבית החולים בריאים כל יום והגשמת מטרה זו היא ע"י התמודדות יעילה עם בעיות תפעוליות. כיום בתי חולים שונים עושים שימוש בכלים מגוונים לשם קביעת המודל התפעולי כגון מודלים מתמטיים ותוכנות סימולציות למיניהן. בעת האחרונה החל להיעשות שימוש בטכנולוגיית ה-RFID במערכת הבריאות בכלל ובמלר"דים בפרט.

בתי החולים אשר מסתמכים על תרומת מערכות ה-RFID לתעשייה המסורתית מקווים כי יוכלו לנצל את יתרונותיה של טכנולוגיה זו גם בבתי החולים. בעזרת השימוש בטכנולוגיית ה-RFID מקווים בתי החולים לקבל תמונה טובה יותר על הבעיות הרלוונטיות בזרימת החולים במלר"ד. מטרתם של בתי החולים בשימוש בטכנולוגיה זו היא להשיג שליטה טובה יותר על המתרחש במלר"ד, הן באיכון החולים והן במציאת "צווארי הבקבוק" התפעוליים, האחראים על זמני השהייה הארוכים של החולים ובזבז המשאבים (צוות וציוד) במלר"דים השונים. בסופו של דבר מקווים מנהלי בתי החולים ומנהלי המלר"דים כי בעזרתן של מערכות ה-RFID ניתן יהיה לנתח ולשפר את הביצועים התפעוליים במלר"ד.

כיום השימוש במערכות ה-RFID אינו מבוסס על חקר מעמיק של ההיתכנות התפעולית של הטכנולוגיה במלר"דים השונים וההחלטה על שימוש במערכות ה-RFID במלר"דים יכולה להתקבל על סמך מספר אופנים:

1. מקורות ידע מקצועיים: בתי החולים פונים למספר מקורות ידע כגון מומחים תפעוליים, מומחים טכנולוגים ומקורות ספרות שונים. על סמך מקורות אלו, מתבצעת השוואה בין עלות ההטמעה של מערכות ה-RFID לבין התועלת התפעולית הצפויה מהטמעת המערכת כפי שהוערכה ע"י מקורות הידע. דוגמא למקורות ידע מהספרות ניתן לראות במחקרם של Cangialosi & E.Monaly (2007) המציג את האפשרויות הרבות שניתן להרוויח מהטמעה של RFID בבתי חולים אל מול הבעיות הצפויות. דוגמא נוספת היא מאמרו של Bardram (2004) אשר מתאר אף הוא את יתרונותיה של מערכת ה-RFID בבתי חולים ומעלה את הצורך במערכת תמיכה ממוחשבת.

2. ניסוי וטעייה – בית החולים מבצע תהליך הטמעה של מערכת ה-RFID, בוחן את יכולותיה ומגלה את מגבלותיה תוך כדי עבודה עם המערכת. במקרים מסוימים יכול בית החולים לגלות כי טכנולוגיה זו אינה מתאימה לדרישות התפעוליות או רמת הדיוק שהוגדרו.

3. מציאת סימוכין למקרי הטמעה דומים – בחינת תוצאות שימוש במערכות דומות במלר"דים אחרים אשר הועילו מבחינה תפעולית למלר"ד בו יושמה הטכנולוגיה. בתי החולים מבצעים חקר עולמי ומנסים לבחון את השימוש בטכנולוגיית ה-RFID.

בית החולים רמב"ם כדוגמא מייצגת עבור בתי החולים המשתמשים במדדים תפעוליים, מפעיל מערכת איכון שמדווחת על מצב החולים במלר"ד באופן ממוחשב והתוצאות הקליניות מעודכנות מתוך מערכת "הפרומיתאוס" באופן שוטף, עבור פעולות שעוברות דרכה.

בית החולים נמצא כרגע בתהליך של הטמעת מערכת RFID במלר"ד. גם תהליך הטמעה זה, כתהליכים רבים בעבר, לא נתמך על תוצאות אמפיריות של כלי היכול להתאים למלר"ד את המערכת המתאימה לו.

התהליך מתאפיין בקושי בקבלת ההחלטה על סוג המערכת אשר תפיק עבורו את רמת דיוק המידע אותה הוא מחפש תוך התחשבות בעלות ההטמעה ובמגבלותיו הספציפיות של בית החולים.

4.2. בעיות במצב הקיים

בתי חולים ככלל ובית החולים רמב"ם בפרט, פועל כיום בסביבה של חוסר ודאות חלקית. כאמור, ישנה מערכת איכון שמדווחת על מצב החולים במלר"ד באופן ממוחשב, אך לא ניתן לקבל ממנה איכון מדויק בגלל חוסר ההקפדה ברישום הכניסות והיציאות למלר"ד.

מתוך מערכת המידע ("הפרומיתאוס") של בית החולים, ברגע נתון לא ניתן להעריך את המצב התפעולי ולא את המצב הקליני של החולים באופן מדויק, אך ניתן לקבל אומדן בדיעבד (ברמות דיוק משתנות) על מצב המערכת. איסוף מידע כלכלי לא קיים באופן רציף במערכת, אלא רק כחלק מהערכות כלליות שמבצעת המחלקה הרלוונטית בבית החולים מדי תקופה.

בעיות כמו זמני המתנה ממושכים שלא לצורך, אי יכולת זיהוי "צווארי בקבוק", חוסר שליטה ובקרה על חולים ואנשי צוות ומוגבלות בהקצאה נכונה של משאבים אינן מקבלות מענה מהמערכות הקיימות ומעלות את הדרישה למערכת חדשה. פתרון אפשרי הוא שימוש בטכנולוגיית ה-RTLT המאפשרת זיהוי ומעקב אחר אנשים וציוד בזמן אמת.

לאחר מס' פרויקטים שנעשו בעת האחרונה בבית חולים רמב"ם החל תהליך של הטמעת מערכת RFID Radio Frequency Identification המהווה מקרה פרטי של טכנולוגיית ה-RTLT. כידוע, הבעיה העיקרית בהטמעה של טכנולוגיה חדשה היא חוסר הוודאות ביעילותה ורלוונטיות התוצאות אשר תניב מערכת זו עבור בתי החולים. טכנולוגיית ה- RFID הינה טכנולוגיה הנמצאת בחיתוליה במערכות הבריאות וטרם נעשה בה שימוש נרחב לצורכי מעקב אחרי בני אדם עובדה המוסיפה על הסיכון אשר טומן בחובו שימוש בטכנולוגיה זו.

כפי שצוין בתיאור המצב הקיים, ההחלטה להטמעת מערכות ה- RFID נעשית על סמך חקר תיאורטי - עיוני ולא על סמך כלי אשר יאפשר לבחור את המערכת שתענה על דרישתו של כל מלר"ד מההיבט התפעולי או הכלכלי.

נושאים כדוגמת רמת הדיוק של הטכנולוגיה, מיקומם הפיזי של האמצעים הטכנולוגיים ויעילות התפעולית של המערכת לא נבחנו לעומק ולא הציגו בצורה מובהקת את הכדאיות התפעולית והכלכלית של השימוש בטכנולוגיה. על אחת כמה וכמה כאשר מדובר במערכת מסובכת כדוגמת בית חולים בה הישויות (חולים / אנשי צוות) נמצאות בתנועה מתמדת. זאת, בניגוד לשימוש הנפוץ בטכנולוגיה בתעשייה בה לרוב מתייגים אובייקטים נייחים.

לאור עובדות אלו, עולה הצורך בכלי אשר יוכל לבחון את כדאיותה ויעילותה התפעולית של הטכנולוגיה במלר"ד לפני הטמעתה. המצב הקיים מראה כי יש צורך ביצירה ושימוש בכלי תומך החלטה אשר יסייע למנהלי המלר"ד השונים לבחור בין מערכות ה- RFID השונות הן מההיבט התפעולי והן מההיבט הכלכלי.

5. מטרת הפרויקט

בדיקת היתכנות תפעולית של מערכות RTLT - Real-Time Location Tracking במלר"ד. מטרה זו תושג באמצעות כלי שיסייע למנהל המלר"ד לבחון את כדאיות הטמעת מערכת ה- RTLT. מנהל המלר"ד יקבל תמונה בה יוצגו רמות הדיוק השונות המתקבלות ע"י תצורות אפשריות של המערכת, אל מול עלותן הכספית.

6. שיטת המחקר

6.1. שיטת פתרון מוצעת

שיטת המחקר על פיה פעלנו במהלך ביצוע הפרויקט התבססה על השלבים הבאים:

- **בחינת צרכי המלר"ד מהמערכת - איסוף הנתונים, אשר שימשו ליצירת הממשקים הדרושים מהמערכת התבצע בדרכים הבאות:**
 - א. חקירת פרויקטים קודמים בנושא אשר למדו את דרכי הפעולה הקיימות במלר"דים השונים ואת מאפייניהם.
 - ב. בחינת מסמך ספציפיקציה המתאר את דרישות מלר"ד רמב"ם ממערכות ה-RFID, מסמך אשר נוצר ע"י שיתוף פעולה של גורמים מהטכניון, ממעבדות IBM ומהמלר"ד.
 - ג. מפגשים עם מנהל מלר"ד רמב"ם וגורמי ההנהלה השונים.
 - **בניית מספר תצורות למיקום מערכות ה- RTLT במלר"ד - לאחר למידה מעמיקה של סוגי מערכות ה-RFID (כמקרה פרטי של RTLT) ומגבלותיהן, נבנו כמה תצורות אפשריות למיקום האנטנות במלר"ד (הן באגף המהלכים והן באגף השוכבים). כל תצורה מאופיינת ברמת דיוק ובעלות כספית.**
 - **אפיון האגפים השונים במלר"ד (המהלכים והשוכבים) - לשם פשטות אפיון התהליכים במלר"ד, חילקנו את המערכת ל- 2 חלקים - אגף המהלכים ואגף השוכבים (כאשר באגף השוכבים הוחלט להתמקד רק במחלקת - "שוכבים פנימי" כמחלקה מייצגת עבור כל האגף). עבור כל אגף ניתחנו את תהליך הזרימה, הישויות וסוג המידע אשר עלינו לאסוף.**
 - **בניית מודל הסימולציה - בהתבסס על האפיונים שביצענו ועל צרכי המלר"ד, נבנה מודל סימולציה בתוכנת Arena, אשר מתאר את התהליך הרפואי והפיזי שעובר החולה מרגע כניסתו למלר"ד ועד עזיבתו. המודל משלב בתוכו ממשקי RFID ויכול לתת חיזוי על רמת הדיוק של הממשקים אל מול המצב האמיתי בעומסים שונים.**
 - **ניתוח פלטי הסימולציה - בחינת המדדים התפעוליים שהוגדרו ואשר באמצעותם תתקבל רמת הדיוק של מערכות ה-RFID בכל תצורה.**
 - **הסקת מסקנות והצגת המלצות - בחינת החלופות השונות בהיבט עלות תועלת (רמת הדיוק אל מול העלויות הצפויות) בתצורה שנבחרה.**
- לסיכום, המודל יעזור להנהלת ביה"ח לבחור את מיקום אנטנות ה-RFID, בצורה אופטימאלית תוך שימת דגש על תועלת תפעולית. באמצעות כלי הסימולציה תינתן האפשרות למלר"ד לבחון את דיוק מערכת ה-RFID בתהליכים הקיימים ע"י מדדים תפעוליים כגון: בדיקת עומסים על אנשי צוות, זמני שהיה של

חולים במערכת ומיקום בתהליך. מנהל המלר"ד יוכל לבחור את הקונפיגורציה המתאימה לו ביותר בהתאם לדרישותיו התפעוליות ומגבלותיו הכספיות.

6.2. הדרישות משיטת הפתרון

נדרוש משיטת הפתרון שתספק תמונת מצב תפעולית אמיתית ואמינה של תפקוד המלר"ד, כך שהסימולציה תכלול את כלל הסוגיות וההיבטים הבאים לידי ביטוי כיום במלר"ד. בנוסף, נרצה שהשיטה תאפשר הצגה ברורה ומודגשת של יתרונות החלופות השונות אל מול המצב הקיים. נרצה כי השיטה תאפשר לבצע ניתוחי רגישויות אודות היבטים שונים (לדוגמא, עבור רמות איוש שונות, קצבי הגעה, עומסים על המערכת וכדומה), כך שהפתרון לא יותאם רק למצב הנוכחי הקיים במלר"ד. הפתרון שיוצע יהווה פתרון גנרי, שיוכל לשמש גם בסיטואציות אחרות ועבור מלר"דים נוספים. נשאף לכך שהפתרון יהיה ברור ויכלול הצגה כמותית ואיכותית של הנתונים השונים, שתאפשר הבנה טובה יותר של המערכת. אופן הצגה זה יאפשר לנו להנחיל ולהסביר באופן מלא את כלל המשמעויות העולות מהפתרון למנהלי המלר"ד השונים ולגורמי האמונים על התפעול בבתי החולים.

7. הפתרון המוצע

7.1. בניית התצורות (קונפיגורציות)

לשם פשטות אפיון התהליכים במלר"ד, חילקנו את המערכת ל-2 חלקים - אגף המהלכים ואגף השוכבים (פנימי). בפועל, מערכות אלו מתפקדות בצורה אוטונומית כמעט מלאה ולכן מהלך זה היה טבעי. עבור כל אגף, נבחנו מספר תצורות (קונפיגורציות) למיקומן של אנטנות RFID. כל תצורה - מיקומו הפיזי של הציוד הטכנולוגי של מערכת ה-RFID במרחב המלר"ד - מאופיינת בעלות כספית וכמו כן, ברמת רזולוציה מסוימת, כפי שהוגדרה במסמך ספציפיקציות ע"י מנהלי המלר"ד. מנהל המלר"ד יבחר את התצורה המתאימה לו ביותר בהתאם לדרישותיו התפעוליות ומגבלותיו הכספיות. כאמור, בניית התצורות נעשתה תחת העיקרון המנחה של גנריות המערכת, ללא תלות בפרטי מבנה מלר"ד ספציפי. עם זאת, המלר"ד אשר עליו התבססה רעיונית בניית הקונפיגורציות הינו המלר"ד הזמני בבית החולים רמב"ם בחיפה, וזאת עקב תהליך ההטמעה של מערכות ה-RFID, שכבר החל במלר"ד זה.

7.1.1. מערכת ה-RFID

לצורך יצירת התצורות השונות, למדנו את מערכות ה-RFID וניתחנו את אפשרויות ומגבלות מערכות אלו. RFID (Radio Frequency Identification) - היא טכנולוגיה של תיוג אלקטרוני באמצעות גלי רדיו. הטכנולוגיה מבוססת על התקנים קטנים (תגים) המוצמדים לעצם אותו מעוניינים לזהות, ומאחסנים מידע הניתן לקריאה על ידי מכשיר מתאים באופן אלחוטי תוך שימוש בגלי רדיו. הטכנולוגיה מסוגלת ליצור מסד נתונים אשר יורכב ממספר גדול מספיק של תצפיות, כך שניתן לבסס עליו ניתוחים סטטיסטיים ברמת מובהקות גבוהה (מידע נוסף לגבי הטכנולוגיה מופיע בנספח מס' 3). מערכת ה-RFID היא אוסף משולב של מרכיבים:

- **תג** - קיימים מספר סוגי תגים: אקטיבי, פסיבי ואקטיבי למחצה. עקב הדרישה לגנריות המערכת, לא נקבע באילו תגים יש צורך להשתמש, אך משיקולי עלות ושימוש נרחב (מספר המטופלים המתווגים בכל יום) - אנו נתרכז בשימוש בתגים פסיביים.

- **קורא** - הקורא מתקשר עם התגים הנמצאים בטווח הקליטה של האנטנות שלו, ואוסף נתונים לגביהם. כל קורא, יכול לתקשר עם 4 אנטנות.
- **אנטנת הקורא** - במערכות אלו, ישנן 2 סוגי אנטנות: אנטנה ליניארית ואנטנה מרחבית. אנטנה ליניארית- קוראת מעבר חד פעמי בטווח ליניארי. אנטנה מרחבית- האנטנה קולטת אות רציף מהתג כל זמן שהוא בטווח הקליטה שלה. לאנטנה זו זווית פתיחה של 90° או 120° , טווח הקליטה משתנה ומגיע עד לקוטר של כ- 7.5 מ'. בהתאם לנתונים ומגבלות אלו ובעקבות חישובים שערכנו, נגזרו מיקומי האנטנות האופטימאליים והוגדרו התצורות (קונפיגורציות) השונות.

7.2. הגדרת התצורות (קונפיגורציות)

7.2.1. קונפיגורציות אגף מהלכים

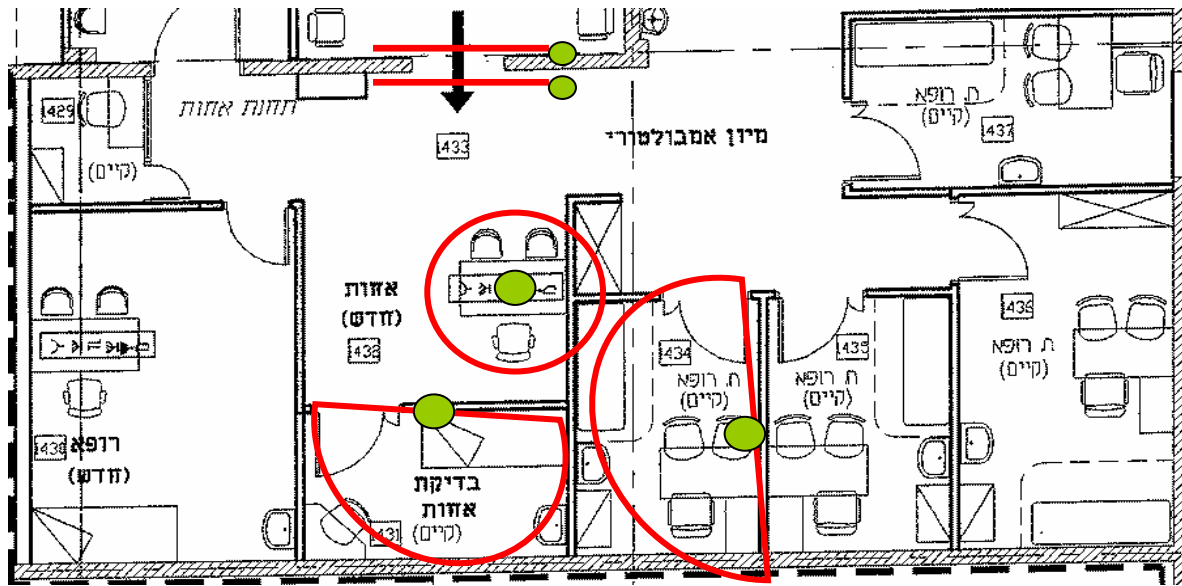
- ישנן מספר אפשרויות למיקום האנטנות במלר"ד. בכל קונפיגורציה נעשה שימוש בחלק מאפשרויות אלו, כאשר עבור כל מיקום הוגדרו טווחי הקריאה והמיקום המדויק של האנטנות:
- חדר רופא, אנטנה ממוקמת במאוזן ומכוונת אל פנים החדר: טווח של 4-5 מ'.
 - עמדת אחיות אנטנה ממוקמת בתקרה: טווח של 3 מ'.
 - חדר המתנה מספר אנטנות אשר מעניקות כיסוי מלא לאזור חדר המתנה (במקרה של המלר"ד הזמני ברמב"ם 2 אנטנות): טווח מקסימאלי עבור כל אנטנה (9 מ').
 - חדר אחיות: טווח של 4-5 מ'.
 - כניסה/ יציאה (שער) - אנטנה ליניארית: טווח של 2 מ'.

קונפיגורציה 1:

- אנטנת שער- בכניסה/ יציאה של חדר המתנה.
- אנטנה בעמדת אחיות.
- אנטנה בחדר רופא.
- אנטנה בחדר האחיות.

לוגיקה והנחות:

1. במקרה בו N חולים מזוהים ע"י האנטנה בדלפק האחיות וגם האחיות מזוהה ע"י אותה האנטנה, נניח כי האחיות טיפלה בכל N החולים (ז"א התבצע מפגש בין האחיות לכל N החולים).
2. אם חולה נראה כ"נכנס" ולא נקרא בדלפק האחיות נניח כי החולה נמצא בתור לאחות.
3. אם חולה נראה כ"נכנס", נקרא בדלפק האחיות ולא נקרא אצל הרופא נניח כי הוא בתור לרופא.



איור 1 - מיקום האנטנות

מיקומים מדויקים:

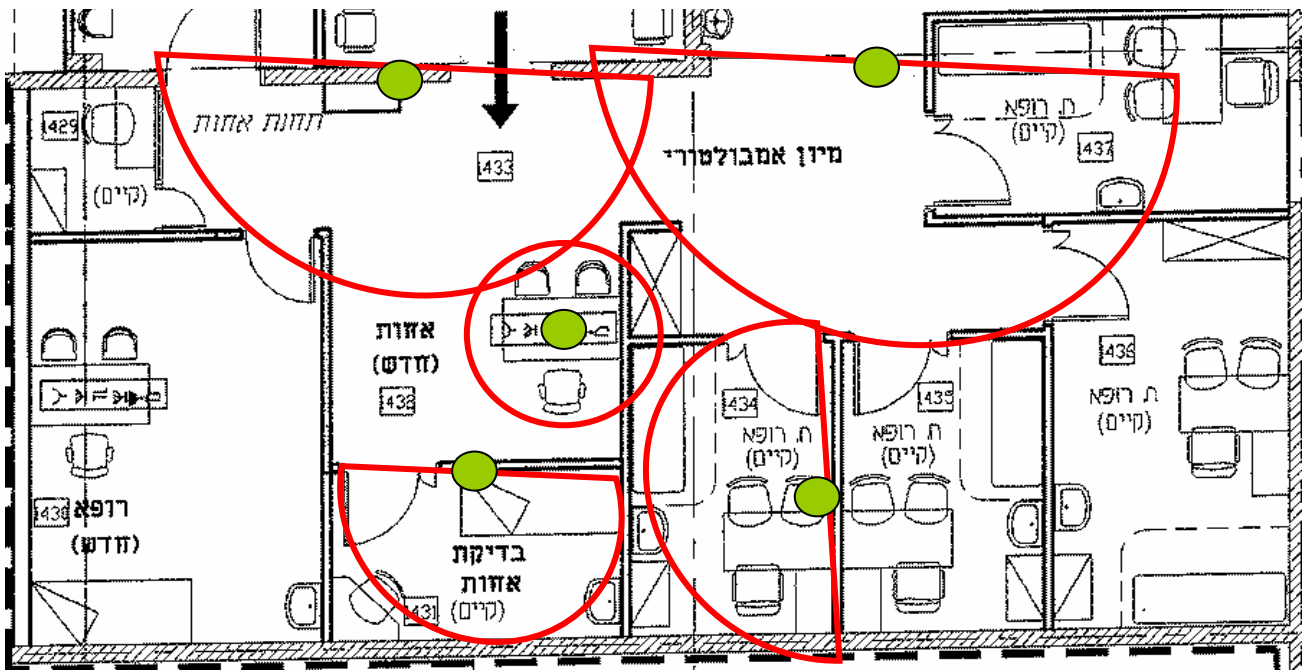
- בכניסה ימוקמו 2 אנטנות ליניאריות, אחת לאחר השנייה. הסדר בו יעבור החולה בין שני הקוראים הוא שייקבע האם החולה נמצא במגמת כניסה או במגמת יציאה.
- אנטנה תמוקם מעל דלפק האחות. רדיוס האנטנה צריך להיות מעט גדול מאורך הדלפק וזאת ע"מ לא לפספס את מפגש האחות- חולה, אך לא גדול יותר מכך ע"מ לצמצם למינימום את מספר ההפרעות ע"י חולים אשר ממתינים באזור, אך אינם מטופלים ע"י האחות.
- אנטנה בתוך חדר האחות- האנטנה ממוקמת אל תוך חלל החדר וקוראת לטווח של כ- 5 מטר, ז"א לרדיוס של 2.5 מ'. האנטנה תקלוט את כל החדר ואת כל החולים ואנשי הצוות אשר נמצאים בו.
- אנטנה בחדר רופא - בדומה לחדר האחות, גם במקרה זה נדרוש טווח קליטה מקסימאלי אפשרי של האנטנה. האנטנה קולטת את כל חלל החדר ומזהה את כל החולים ואנשי הצוות הנמצאים בו.

קונפיגורציה 2:

- אנטנות מרחביות המכסות את כל חלל חדר ההמתנה.
- אנטנה בעמדת האחיות.
- אנטנה בתוך חדר רופא.
- אנטנה בחדר אחות.

לוגיקה והנחות:

1. במקרה בו N חולים מזוהים ע"י האנטנה בדלפק האחיות וגם האחות מזוהה ע"י אותה האנטנה, נניח כי האחות טיפלה בכל N החולים (ז"א התבצע מפגש בין האחות לכל N החולים).
2. אם חולה אינו נקרא באף קורא, נניח כי הוא יצא מאגף המהלכים.
3. חולה אשר נקרא בחדר ההמתנה: אם החולה נקרא לפני כן בדלפק האחיות נניח כי הוא בתור לרופא, אחרת, נניח כי הוא בתור לאחות.



איור 2 – מיקום האנטנות אגף מהלכים עפ"י קונפיגורציה 2

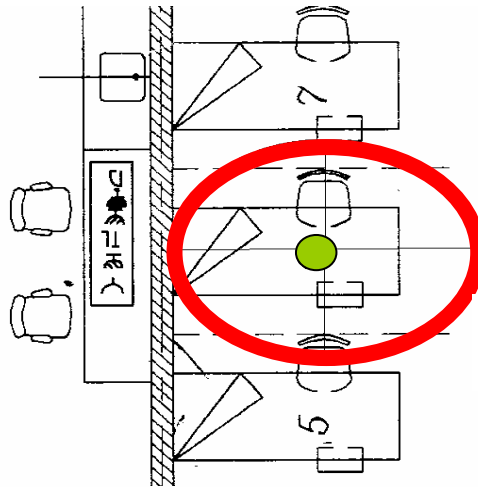
מיקומים מדויקים:

- בחדר ההמתנה, ימוקמו אנטנות מרחביות שישפכו כיסוי מלא של החדר ולכן ננצל את הטווח המקסימאלי של האנטנה - 7.5 מ'. ניתן לראות באיור 2, כי באגף המהלכים במלר"ד רמב"ם, שתי אנטנות מספיקות לכסות את כל מרחב ההמתנה. במלר"ד בו אזור ההמתנה גדול יותר, יתווספו אנטנות בהתאם.
- אנטנה תמוקם מעל דלפק האחות. רדיוס האנטנה צריך להיות מעט גדול מאורך הדלפק וזאת ע"מ לא לפספס את מפגש האחות- חולה, אך לא גדול יותר מכך ע"מ לצמצם למינימום את מספר ההפרעות ע"י חולים אשר ממתנים באזור אך אינם מטופלים ע"י האחות.
- אנטנה בתוך חדר האחות- האנטנה ממוקמת אל תוך חלל החדר וקוראת לטווח של כ- 5 מטר, ז"א לרדיוס של 2.5 מ'. האנטנה תקלוט את כל החדר ואת כל החולים ואנשי הצוות אשר נמצאים בו.
- אנטנה בחדר רופא - בדומה לחדר האחות, גם במקרה זה נדרוש טווח קליטה מקסימאלי אפשרי של האנטנה. האנטנה קולטת את כל חלל החדר ומזהה את כל החולים ואנשי הצוות הנמצאים בו.

7.2.2. קונפיגורציות אגף שוכבים

קונפיגורציה 1:

- אנטנה מרחבית- ממוקמת מעל כל מיטה. האנטנה תמוקם בגובה של 1.5 מטר מעל המיטה בזווית פתיחה של 90 מעלות (קוטר של 3 מטר).
 - אנטנת שער- בכניסה/ יציאה של האגף.
- מספר האנטנות הדרושות: אנטנות מרחביות כמספר המיטות + 2 אנטנות לינאריות.
- מספר הקוראים הדרושים: מספר המיטות חלקי 4.
- לוגיקה והנחות:
1. איש צוות המזוהה באותה אנטנה כמו החולה ייחשב כמטפל בחולה רק אם הקריאה המשותפת הייתה מעל 15 שניות.
 2. חולה המזוהה ע"י אנטנה במיטה מסוימת ייחשב כמשויך למיטה רק אם הקריאה הייתה מעל 2 דקות רצוף.
 3. אם איש צוות מזוהה כ"נכנס" לאגף אך אינו מזוהה באף אנטנה אחרת נניח כי הוא נמצא במסדרון.
 4. אם איש צוות מזוהה ע"י N אנטנות נניח כי הוא מטפל בכל החולים אשר נקראו בטווחי אותן אנטנות.



איור 3 – מיקום אנטנת מיטה אגף שוכבים עפ"י קונפיגורציה 1

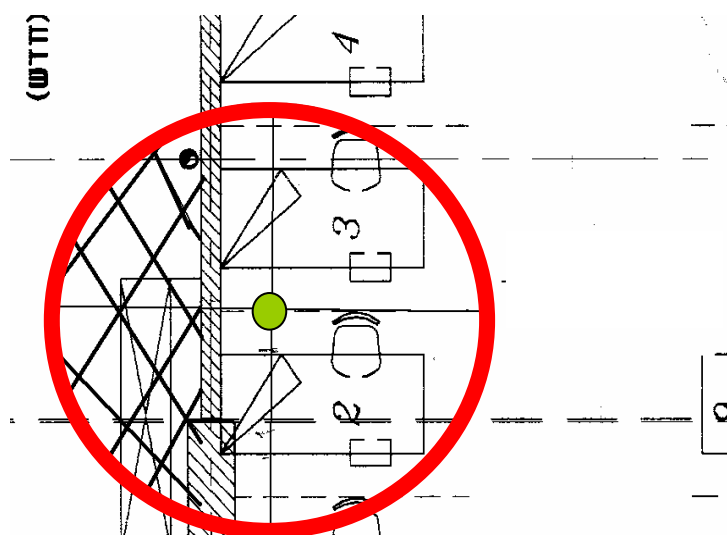


איור 4 - מיקום אנטנות אגף שוכבים עפ"י קונפיגורציה 1

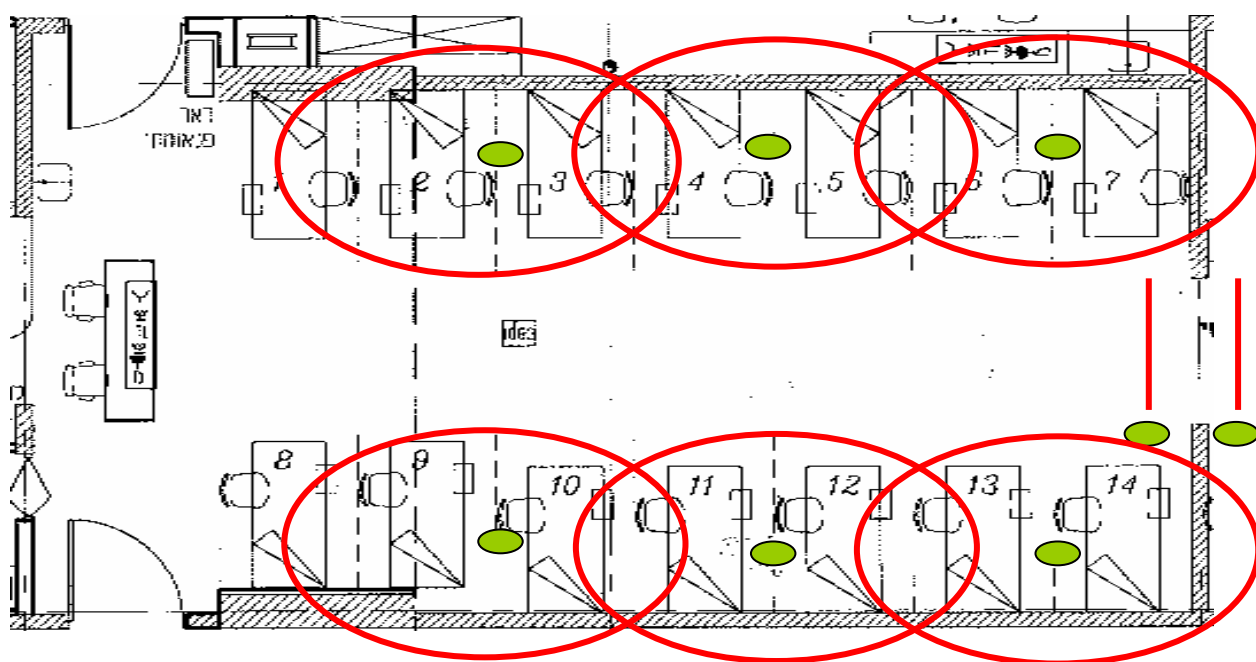
קונפיגורציה 2:

- אנטנה על כל ~ 2 מיטות (להלן תת אגף). ממוקמת בתקרה בגובה של 1.85 מעל המיטה במרחק של 0.65 מ' מהקיר עם זווית פתיחה 90 מעלות. (קוטר של 7 מטר)
- אנטנת שער- בכניסה/ יציאה של האגף.
- מספר האנטנות הדרושות: אנטנות מרחביות כמספר המיטות חלקי 2 + 2 אנטנות לינאריות.
- מספר הקוראים הדרושים: מספר המיטות חלקי 8.
- לוגיקה והנחות:

1. איש צוות המזוהה באותה אנטנה כמו החולים בתת אגף מסוים ייחשב כמטפל בחולים רק אם הקריאה המשותפת הייתה מעל 15 שניות.
2. חולה המזוהה ע"י אנטנה בתת אגף מסוים ייחשב כמשויך לתת האגף רק אם הקריאה הייתה מעל 2 דקות רצוף.
3. אם איש צוות מזוהה בתת אגף מסוים המכיל N מיטות אז נניח כי הוא מטפל בכל החולים אשר נמצאים במיטות האלו.
4. הנחה: אם איש צוות מזוהה ע"י N אנטנות- ניתן לזהות את האנטנה הקרובה אליו ביותר (לפי תדירויות) ולקבוע באיזה תת אגף הוא נמצא.



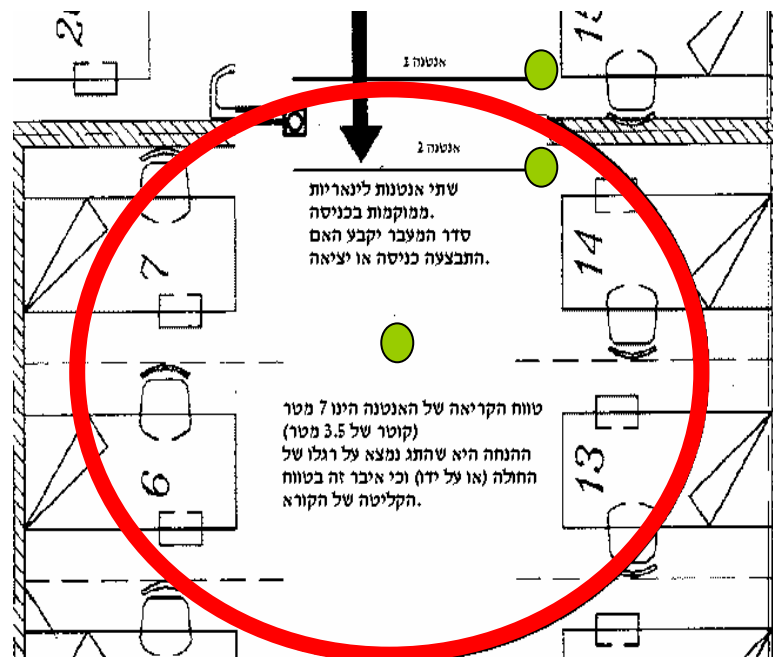
איור 5 – מיקום אנטנת מיטה אגף שוכבים עפ"י קונפיגורציה 2



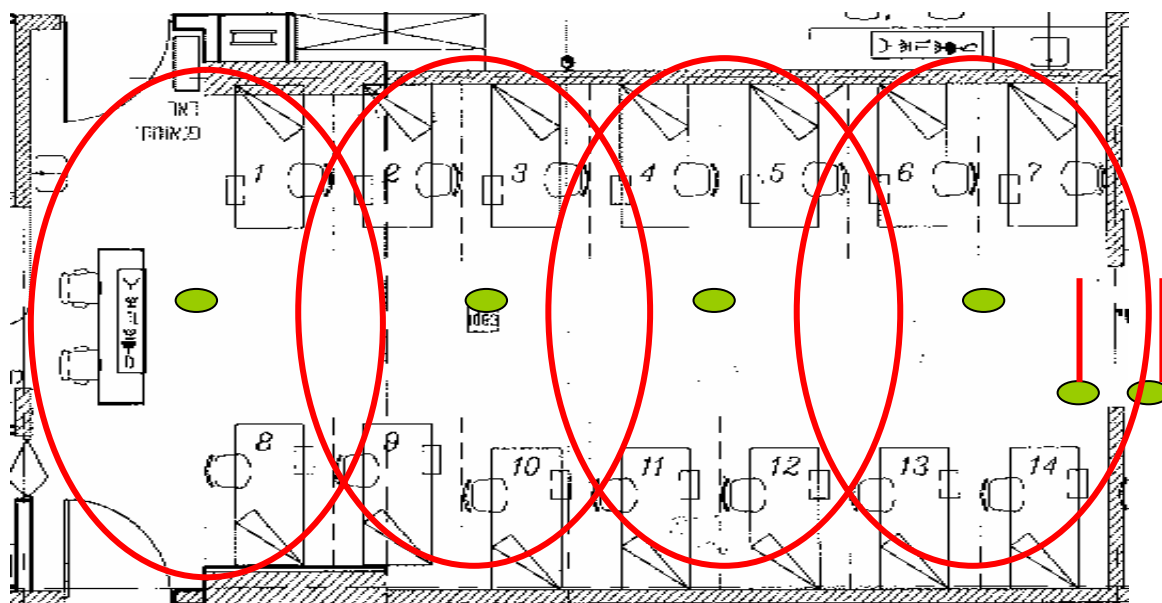
איור 6 – מיקום אנטנות אגף שוכבים עפ"י קונפיגורציה 2

קונפיגורציה 3:

- אנטנה על כל ~ 4 מיטות (להלן תת אגף). ממוקמת בתקרה בגובה של 2 מטר מעל המיטה עם זווית פתיחה 120 מעלות. (קוטר של 7 מטר)
 - אנטנת שער- בכניסה/ יציאה של האגף.
- מספר האנטנות הדרושות: אנטנות מרחביות כמספר המיטות חלקי 4 + 2 אנטנות לינאריות.
- מספר הקוראים הדרושים: מספר המיטות חלקי 16.
- לוגיקה והנחות:
1. איש צוות המזוהה באותה אנטנה כמו החולים בתת אגף מסוים ייחשב כמטפל בחולים רק אם הקריאה המשותפת הייתה מעל 15 שניות.
 2. חולה המזוהה ע"י אנטנה בתת אגף מסוים ייחשב כמשויך לתת האגף רק אם הקריאה הייתה מעל 2 דקות רצוף.
 3. אם איש צוות מזוהה בתת אגף מסוים המכיל N מיטות אז נניח כי הוא מטפל בכל החולים אשר נמצאים במיטות האלו.
 5. הנחה: אם איש צוות מזוהה ע"י N אנטנות- ניתן לזהות את האנטנה הקרובה אליו ביותר (לפי תדירויות) ולקבוע באיזה תת אגף הוא נמצא.



איור 7 – מיקום אנטנת מיטה אגף שוכבים עפ"י קונפיגורציה 3



איור 8 – מיקום אנטנות אגף שוכבים עפ"י קונפיגורציה 3

7.3. אפיון המערכת

לצורך בניית מודל הסימולציה, אפיינו את שני האגפים - המהלכים והשוכבים. עבור כל מודל, גובשו הנושאים והתרחישים המרכזיים אותם תבחן הסימולציה, הפרמטרים שיהיו את הקלטים עבור הסימולציה, נתונים אשר אמורים להישמר בזמן ריצה עבור כל ישות והמדדים אשר אותם יש לבחון. אפיון זה התבצע עבור כל תצורה ה- RFID אשר בנינו. אפיון זה גובש בהתבסס על מסקנות הביניים והנקודות הבעייתיות, אשר עלו מעיבוד ובחינת הנתונים, ניתוח וחקירת המצב הקיים והדגשים אשר עלו מסקר הספרות בנושא זה. המודל שנבנה הינו מודל מפושט, מהווה מערכת מוקטנת של התהליכים האמיתיים המתרחשים במלר"ד והוא כולל תהליכים מרכזיים שעובר החולה. במידול זה לא נלקחו בחשבון תהליכים כמו: המתנה לתוצאות בדיקות והפנייה לבדיקות שאינן בתחום המלר"ד (לדוגמה: רנטגן, בדיקות עיניים וכו'). מתוך רצון לבדוק את הכדאיות הבסיסית של הטמעת RFID, בחרנו להתמקד בתהליכים הבסיסיים והסטנדרטיים שעובר חולה במלר"ד. בביצוע אפיון המערכת עמדו לנגד עינינו ארבעה פרמטרים שהוגדרו מראש ויסייעו לנו בהמשך בקביעת רמת הדיוק של הקונפיגורציות השונות:

1. עומס איש צוות (אחות/רופא).
2. מקום בתהליך.
3. זמן שהייה במערכת.
4. עומס מיטות (עבור אגף שוכבים בלבד).

7.3.1 אפיון אגף המהלכים

פרמטרים אותם יש לקבל מבית החולים:

1. קצב הגעת החולים - הישות (חולה) נוצרת בקצב הגעה מפולג פואסוני ע"י פרמטר λ .

2. התפלגות סוג החולים.

3. זמן טיפול אחות.

4. זמן טיפול רופא.

5. אחוז החולים המקבלים טיפול מרופא מסוים וחוזרים לרופא אחר.

6. אחוז החולים שסיווגם הראשוני משתנה עם הגעתם לדלפק האחות.

7. אחוז החולים שיוצאים להפסקה בזמן ההמתנה בתור.

לישות התכונות הבאות:

1. מספר מזהה – id.

2. סוג החולה (הרופא אליו הוא מיועד להגיע) – type.

3. שלב בתהליך – {ממתין לאחות, אחות, ממתין לרופא, רופא, טופל, יצא}. הישות נוצרת במצב "ממתין לאחות".

4. מקום בתהליך- (חדר המתנה, חדר רופא, חדר אחות, בחוץ).

קונפיגורציה 1 – אנטנת "שער", דלפק אחיות, חדר אחיות וחדר רופא (ראה זרימת חולים בנספח מס' 4)

הישות עוברת דרך אנטנת "שער", תחילה היא נקראת ע"י האנטנה הממוקמת מצידה החיצוני של הכניסה לאגף שוכבים ולאחר מכן ע"י האנטנה הממוקמת מצידה הפנימי של הכניסה.

בשלב זה נשמרים לישות זמן הקריאה ע"י האנטנה החיצונית וזמן הקריאה ע"י האנטנה הפנימית בקובץ אקסל. זמן הכניסה של הישות למערכת מוגדר להיות זמן הקריאה ע"י האנטנה החיצונית. הישות נמצאת כעת באזור ההמתנה וממתנה לתורה אצל האחות.

איזור הקליטה של האנטנה בדלפק האחות יכול להכיל 8 אנשים במקסימום (1 בטיפול + 7 בתור). בסימולציה מספר הממתינים באזור הדלפק יוגרל באופן אקראי (בין 1 ל- 7). הישות תיכנס לטווח של אנטנת הדלפק, אך רק במצב שהאחות אכן נמצאת בו יתועד המפגש בין הישות לאחות. במצב זה האנטנה מזהה מפגש בין האחות לבין מספר הישויות שבטווח הקליטה ומתקבלת קריאת "מפגש אחות". בסימולציה ייתכן מצב בו האחות מטפלת במספר חולים בו זמנית, אך בפועל מצב זה אינו אפשרי. לכן, בשלב ניתוח התוצאות נתחשב במצב זה- וכך תימדד רמת הדיוק של המערכת. בעת ביצוע הקריאה משתנה תכונת "שלב בתהליך" עבור הישות: מ"ממתין לאחות" ל"אחות".

זמן הטיפול בדלפק האחות מפולג אקספוננציאלית עם פרמטר נתון. בשלב זה האחות קובעת האם הסיווג הראשוני תואם את הטיפול הדרוש, אחרת, נשנה את תכונת "סוג החולה" בהתאם. אחוז המקרים שמצב זה קורה הוא פרמטר נתון.

בסיום הטיפול בדלפק האחות ייתכנו 2 מצבים:

1. הישות מופנית לטיפול רופא, יוצאת מטווח הקליטה של אנטנת הדלפק, מתקבלת קריאת "סיום מפגש" ויתבצע שינוי מצב מ"אחות" ל"ממתין לרופא".

2. הישות משנה את סוגה (TYPE) לאחר אבחון האחות מופנית לטיפול רופא, יוצאת מטווח הקליטה של אנטנת הדלפק, מתקבלת קריאת "סיום מפגש" ויתבצע שינוי מצב מ"אחות" ל"ממתין לרופא".

הרופא מקבל חולה אחד בכל רגע נתון ומפגש בין רופא לחולה מוגדר להיות כל זמן שהחולה נמצא בחדר הרופא. בהתאם להגדרות המלר"ד, אנו מניחים כי החולה לא נכנס לחדר הרופא מבלי שהרופא נוכח בו. עם כניסת הישות לטווח הקליטה של אנטנת חדר הרופא תתקבל קריאת "מפגש רופא" ושינוי מצב מ"ממתין

לרופא" ל"רופא". זמן הטיפול בחדר הרופא מפולג אקספוננציאלית עם פרמטר נתון. בסיום הטיפול והיציאה מטווח הקליטה של חדר הרופא תתבצע קריאת "סיום מפגש רופא" ושינוי מצב של הישות מ"רופא" ל"טופל".

בשלב זה הישות סיימה את התהליך ומופנית לאנטנת "השער". תחילה היא נקראת ע"י האנטנה הממוקמת מצידה הפנימי של הכניסה לאגף שוכבים ולאחר מכן ע"י האנטנה הממוקמת מצידה החיצוני של הכניסה. זמני הקריאות ע"י האנטנות נשמרים בקובץ האקסל וזמן היציאה מהמערכת מוגדר להיות זמן הקריאה ע"י האנטנה החיצונית.

קונפיגורציה 2 – אנטנה בכניסה, דלפק אחיות, חדר אחיות וחדר רופא (ראה זרימת חולים בנספח מס' 5)
עם כניסת הישות לאגף היא נקלטת ע"י האנטנה הממוקמת בכניסה ומתבצעת קריאת "כניסה לאגף". הישות נמצאת כעת באיזור ההמתנה וממתנה לתורה אצל האחיות. הישות יכולה לנוע בכל איזור ההמתנה ולהיקלט באנטנות שונות, אך מבחינת המערכת אין חשיבות לאיזו מן האנטנות קולטת אותה, אלא להימצאותה באיזור ההמתנה בלבד. מספר האנטנות באיזור ההמתנה נגזר מגודלו של חדר ההמתנה בהתאם לכתוב במסמך הקונפיגורציות לעיל.
הקליטה של הישות ע"י האנטנה בדלפק האחיות והמפגש עימה מתבצע באותו אופן כמו בקונפיגורציה 1. איזור זה מוכל בחדר ההמתנה ולכן כל אותו הזמן הישות תיקלט הן באיזור ההמתנה והן בדלפק האחיות. בסיום הטיפול בדלפק האחיות ייתכנו 2 מצבים:

- הישות מופנית לטיפול רופא, יוצאת מטווח הקליטה של אנטנת הדלפק, מתקבלת קריאת "סיום מפגש" ויתבצע שינוי מצב מ"אחות" ל"ממתין לרופא". הישות עדיין נקלטת ע"י האנטנות שבחדר ההמתנה.
- הישות משנה את סוגה (TYPE) לאחר אבחון האחיות מופנית לטיפול רופא, יוצאת מטווח הקליטה של אנטנת הדלפק, מתקבלת קריאת "סיום מפגש" ויתבצע שינוי מצב מ"אחות" ל"ממתין לרופא".

בסיום הטיפול והיציאה מטווח הקליטה של חדר האחיות תתבצע קריאת "יציאה מחדר אחיות", "סיום מפגש" ו"כניסה לחדר המתנה". בנוסף, מתבצע שינוי מצב של הישות מ"אחות" ל"ממתין לרופא". תהליך ההמתנה לרופא והמפגש עימו מתבצע באותו אופן כמו קונפיגורציה 1. עם כניסת הישות לטווח הקליטה של אנטנת חדר הרופא תתקבל קריאת "יציאה מחדר המתנה" ו"מפגש רופא". בנוסף, מתבצע שינוי מצב מ"ממתין לרופא" ל"רופא". בסיום הטיפול והיציאה מטווח הקליטה של חדר הרופא תתבצע קריאת "סיום מפגש רופא", "כניסה לחדר המתנה" ושינוי מצב של הישות מ"רופא" ל"טופל". בשלב זה הישות סיימה את התהליך, מתקבלת קריאת "יציאה מחדר המתנה" ועוזבת את המערכת.
עבור שתי הקונפיגורציות קיימים מספר תרחישים לישות:

1. נכנס ← אחות ← רופא ← יצא
 2. נכנס ← אחות ← רופא ← יצא ← רופא ← יצא
 - א. החולה חזר לרופא מאותו סוג.
 - ב. החולה חזר לרופא מסוג אחר.
- בתרחיש זה הישות עוברת את כל התהליך המתואר לעיל ובסיומו חוזרת לשלב ההמתנה לרופא ובהתאם תכונת ה"שלב בתהליך" שלה הוא "ממתין לרופא". רוב החולים חוזרים לאותו סוג רופא אותו הם ביקרו בעבר, ואחוז מסויים (פרמטר נתון) חוזר לרופא מסוג אחר.
3. נכנס ← יצא ← נכנס ← אחות ← רופא ← יצא

בתרחיש זה היישות נכנסת למערכת ומגיעה לשלב ההמתנה לאחות, אך לאחר זמן סבלנות אקראי יוצאת מהאגף וחוזרת לאחר זמן אקראי. עם חזרתה היא מתחילה את התהליך מחדש כפי שמתואר לעיל. במשך כל שהותה בחוץ היישות תישאר במצב "ממתין לאחות".

4. בנוסף, קיימת אפשרות כי החולה יצא להפסקה בכל שלב בו הוא ממתין בתהליך.

7.3.2. אפיון אגף השוכבים

פרמטרים אותם יש לקבל מבית החולים:

1. קצב הגעת החולים.
2. זמן טיפול אחות.
3. זמן טיפול רופא.
4. מספר המיטות באגף.
5. זמן עד לתפיסת מיטה באגף.
6. זמן שהיית אחות אצל חולה בביקור כללי.
7. זמן שהיית רופא אצל חולה בביקור כללי.
8. זמן שהייה מחוץ לאגף בין שתי בדיקות רופא (תרחיש 3).
9. זמן בין סיבובים כללים עבור אחות.
10. זמן בין סיבובים כללים עבור רופא.
11. התפלגות מיקום טיפול אחות - רלוונטי רק עבור קונפיגורציה 1 (1-שמאל, 2-ימין, 3-מול, 4-מול שמאל, 5-מול ימין).
12. התפלגות מיקום טיפול רופא - רלוונטי רק עבור קונפיגורציה 1 (1-שמאל, 2-ימין, 3-מול, 4-מול שמאל, 5-מול ימין).

לישות התכונות הבאות:

1. מספר מזהה – id.
2. שלב בתהליך – השלב האמיתי במסלול שעוברת הישות באגף. הישות נוצרת במצב "ממתין למיטה".
Process stage {Wait bed=0, Wait nurse=1, Nurse=2, Wait doctor=3, Doctor=4, Treated=5, Left=6}

תכונות הרלוונטיות עבור קונפיגורציה 1:

1. מספר מיטה - BedNum, הישות נוצרת כשאין ערך בתכונה זו.
2. סוג מיטה - BedType - משתנה עזר המסמן האם החולה נמצא במיטה קיצונית. המשתנה יכול לקבל את הערכים {Right=2, Left=1}.
3. מיקום אחות - Nlocation – משתנה המייצג את מיקום האחות הנוכחי ליד מיטת החולה. המשתנה יכול לקבל את הערכים {1-שמאל, 2-ימין, 3-מול, 4-מול שמאל, 5-מול ימין}.
4. מיקום רופא - Dlocation – משתנה המייצג את מיקום הרופא הנוכחי ליד מיטת החולה. המשתנה יכול לקבל את הערכים {1-שמאל, 2-ימין, 3-מול, 4-מול שמאל, 5-מול ימין}.
5. קליטת שכן - CatchNeighbor – משתנה בינארי המייצג האם בטיפול הנוכחי האנטנה תתפוס גם את השכן למיטה.

תכונות הרלוונטיות עבור קונפיגורציה 2+3:

6. מספר תת אגף - SubWingNum, הישות נוצרת כשאין ערך בתכונה זו.

משתנים כלליים בסימולציה:

1. BedCount - משתנה מסוג INT הסופר את המיטות התפוסות.

2. וקטור מיטות - BedVec וקטור באורך N (כמספר המיטות באגף, פרמטר נתון).

ההתייחסות לוקטור הנ"ל הינה שונה עבור כל קונפיגורציה :

עבור קונפיגורציה 1 : כל מקום בוקטור מייצג מיטה אחת.

עבור קונפיגורציה 2 : כל 2 מקומות מייצגים תת אגף. תת האגף של הישות נקבע עפ"י המיקום i שלה

$$\text{בוקטור : } SubWingNum = \left\lceil \frac{i}{2} \right\rceil$$

עבור קונפיגורציה 3 : כל 4 מקומות מייצגים תת אגף. תת האגף של הישות נקבע עפ"י המיקום i שלה

$$\text{בוקטור : } SubWingNum = \left\lceil \frac{i}{4} \right\rceil$$

תהליך הגעת איש צוות לחולה וקריאתו ע"י האנטנה :

סדר מעבר איש הצוות בין חולים :

לאיש הצוות 2 סוגי הגעה לחולים :

1. הגעה למטרת טיפול - איש הצוות מגיע לטיפול בחולה לפי סדר הכניסה לאגף (FIFO). החולה

הראשון בסדר יקרא להלן "החולה הבא" (Next Patient).

2. הגעה תוך כדי סיבוב חולים כללי - אחת לזמן נתון, איש הצוות בוחר חולה אקראי שאליו יגיע לא

למטרת טיפול ולמשך שהייה לפי פרמטר נתון עם ממוצע נמוך יותר מזמן טיפול. במקרה זה

מיקום איש הצוות יהיה רק אל מול החולה הנתון וייקלט רק ע"י האנטנה שלו.

מיקום איש הצוות ליד מיטה - רלוונטי רק עבור קונפיגורציה 1 :

כאשר איש הצוות מגיע למיטת "החולה הבא" יכולים להיות 5 תרחישים למיקומו ליד המיטה :

1. בצד השמאלי של המיטה לאורך כל הטיפול.

2. בצד הימני של המיטה לאורך כל הטיפול.

3. מול המיטה לאורך כל הטיפול.

4. מתחיל ממול המיטה ולאחר 10 שניות עובר לצד שמאל.

5. מתחיל ממול המיטה ולאחר 10 שניות עובר לצד ימין.

מיקום איש הצוות הוא לפי התפלגות מיקום איש הצוות ע"פ פרמטר נתון (ראה תרשים מיקום איש צוות).

קריאות המפגש בין איש הצוות והחולים השונים נקבעים בצורה הבאה :

• מול המיטה - איש הצוות מטפל בוודאות "בחולה הבא".

• צד שמאלי של המיטה- בהסתברות של 0.85 איש הצוות מטפל בחולה ב"חולה הבא". בהסתברות

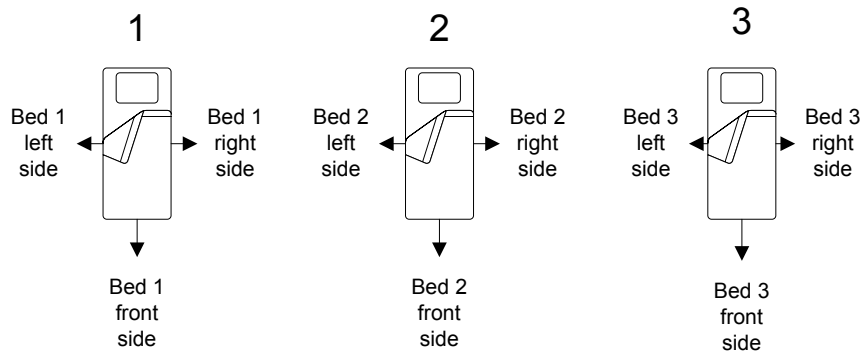
0.15 איש הצוות מטפל ב"חולה הבא" וגם בחולה השכן שנמצא ב: $BedVec(Next Patient) - 1$.

• צד ימני של המיטה- בהסתברות של 0.85 איש הצוות מטפל בחולה ב"חולה הבא". בהסתברות

0.15 איש הצוות מטפל ב"חולה הבא" וגם בחולה השכן שנמצא ב: $BedVec(Next Patient) + 1$.

הערה : אם תכונת BedType של "החולה הבא" שווה right (left), אז אם איש הצוות עומד מימין

(משמאל) למיטה הוא מטפל בוודאות רק ב"חולה הבא".



איור 9 – מיקום איש צוות ליד מיטה

זרימת החולים במערכת - (ראה תרשימי זרימה בנספח 6):

תהליך הכניסה לאגף:

הישות עוברת דרך אנטנת "שער", תחילה היא נקראת ע"י האנטנה הממוקמת מצידה החיצוני של הכניסה לאגף שוכבים ולאחר מכן ע"י האנטנה הממוקמת מצידה הפנימי של הכניסה. בשלב זה נשמרים לישות זמן הקריאה ע"י האנטנה החיצונית וזמן הקריאה ע"י האנטנה הפנימית בקובץ "כניסה לאגף". זמן הכניסה של הישות למערכת מוגדר להיות זמן הקריאה ע"י האנטנה הפנימית.

תהליך תפיסת המיטה:

הישות נמצאת כעת בתוך האגף ומתחילה בתהליך תפיסת המיטה שמשכו לפי פרמטר נתון. בקונפיגורציות 1+2 הישות אשר עומדת במסדרון לא נקראת באף אנטנה בזמן זה ובקונפיגורציה 3 היא נקראת אקראית ע"י אנטנות כלשהן בתהליך שיפורט בהמשך. סדר תפיסת המיטות הוא עפ"י המקום הראשון הפנוי בוקטור המיטות.

הישות תופסת את מיטה i ונקראת ע"י אנטנה j כאשר:

בקונפיגורציה 1: מספר האנטנות כמספר המיטות באגף ולכן $i=j$

בקונפיגורציה 2: מספר האנטנות כמספר תתי האגפים באגף (מספר המיטות חלקי 2) ולכן $j = \left\lceil \frac{i}{2} \right\rceil$

בקונפיגורציה 3: מספר האנטנות כמספר תתי האגפים באגף (מספר המיטות חלקי 4) ולכן $j = \left\lceil \frac{i}{4} \right\rceil$

עבור כל הקונפיגורציות מתבצעות הפעולות הבאות:

- משתנה BedCount - גדל באחד.
- נייצא לקובץ "מיטות" את שעת תפיסת המיטה ואת המשתנה BedCount.
- שמירת ה-id של הישות בוקטור המיטות במקום הראשון הפנוי.
- שינוי מצב בתהליך ל "ממתין לאחות".

בנוסף, עבור קונפיגורציה 1:

- תכונת ה"מספר מיטה" של הישות מקבלת את הערך j .

עבור קונפיגורציה 2+3:

- תכונת ה"מספר תת אגף" של הישות מקבלת את הערך j .

עבור קונפיגורציה 3, לפני תהליך תפיסת המיטה מתבצע תהליך שיטוט שאינו לוקח זמן אמיתי בסימולציה. כאשר הישות נכנסת נכתוב לקובץ "מיטות פיקטיבי" את הנתונים הבאים:

- id חולה.

- שעת כניסה.

- זמן אקראי המוגרל עם ממוצע של דקה.

לאחר מכן הישות עוברת לתהליך תפיסת המיטה הרגיל.

תהליך ההמתנה לאחות וקבלת טיפול:

הישות כעת נמצאת במצב "ממתין לאחות" וכאשר האחות מגיעה לאזור החולה במטרה לטפל בו (הוא נמצא ראשון בסדר הממתינים לאחות) - אנטנת המיטה קולטת אותה. בקונפיגורציה 1 מתבצע גם "תהליך מיקום איש צוות" שהוגדר לעיל ולפיו נעמד האחות ליד החולה. הישות המשויכת לאותה מיטה תופסת את משאב האחות, מקבלת טיפול מהאחות ומתבצעות הפעולות הבאות בהתאם לקונפיגורציות:

(א) עבור כל המקרים:

- תכונת השלב בתהליך הופכת ל"אחות".

- נשמרים לקובץ "כניסה לטיפול אחות" הנתונים הבאים: id חולה נתון, שעת תחילת

המפגש, תכונת מצב בתהליך=אחות ו- $RealTreatment=1$.

(ב) עבור המקרים שיפורטו בהמשך נשמרים לקובץ "כניסה לטיפול אחות" גם הפרטים

הבאים עבור השכנים המתאימים:

- id חולה שכן, שעת תחילת המפגש (מועתקת מהחולה הנתון), תכונת מצב

בתהליך=אחות (מועתקת מהחולה הנתון) ו- $RealTreatment=0$.

בסיום הטיפול האחות יוצאת מטווח הקליטה של אנטנת המיטה ומתבצעות הפעולות הבאות בהתאם לקונפיגורציות:

(א) עבור כל המקרים:

- תכונת השלב בתהליך הופכת ל"ממתין לרופא".

- נגדיל את המשתנה $NRoundCount$ באחד.

- נשמרים לקובץ "יציאה מטיפול אחות" הנתונים הבאים: id חולה נתון, שעת

סיום המפגש, תכונת מצב בתהליך=ממתין לרופא ו- $RealTreatment=1$.

(ב) עבור המקרים שיפורטו בהמשך נשמרים לקובץ "יציאה מטיפול אחות" גם הפרטים

הבאים עבור השכנים המתאימים:

- id חולה שכן, שעת סיום המפגש (מועתקת מהחולה הנתון), תכונת מצב

בתהליך=ממתין לרופא (מועתקת מהחולה הנתון) ו- $RealTreatment=0$.

מדי כמה זמן (פרמטר נתון) האחות מבצעת סיבוב חולים כללי לא למטרת טיפול כלשהו ואנטנת מיטה מסויימת קולטת אותה. משאב האחות נתפס למשך זמן זה ועם חזרת האחות לפעילות רגילה נאפס את המשתנה $NRoundCount$ ונשמור לקובץ תחת "לטיפול אחות כללי" הנתונים הבאים:

- שעת תחילת המפגש.

- שעת סיום המפגש.

תהליך ההמתנה לרופא וקבלת טיפול:

הרופא מגיע לאזור החולה במטרה לטפל בו (הוא נמצא ראשון בסדר הממתינים לרופא) - אנטנת המיטה קולטת את הרופא הנמצא בטווח הקליטה שלה. בקונפיגורציה 1 מתבצע גם "תהליך מיקום איש צוות" שהוגדר לעיל ולפיו נעמד הרופא ליד החולה. הישות המשויכת לאותה מיטה תופסת את משאב הרופא, מקבלת טיפול מהרופא ומתבצעות הפעולות הבאות בהתאם לקונפיגורציות:

(א) עבור כל המקרים:

- תכונת השלב בתהליך הופכת ל"רופא"
- נשמרים לקובץ "כניסה לטיפול רופא" הנתונים הבאים: id חולה נתון, שעת תחילת המפגש, תכונת מצב בתהליך=רופא ו- $RealTreatment=1$.

(ב) עבור המקרים שיפורטו בהמשך נשמרים לקובץ "כניסה לטיפול רופא" גם הפרטים הבאים עבור השכנים המתאימים:

- id חולה שכן, שעת תחילת המפגש (מועתקת מהחולה הנתון), תכונת מצב בתהליך=רופא (מועתקת מהחולה הנתון) ו- $RealTreatment=0$.
- בסיום הטיפול הרופא יוצא מטווח הקליטה של אנטנת המיטה ומתבצעות הפעולות הבאות בהתאם לקונפיגורציות:

(א) עבור כל המקרים:

- תכונת השלב בתהליך הופכת ל"טופל".
- נשמרים לקובץ "יציאה מטיפול רופא" הנתונים הבאים: id חולה נתון, שעת סיום המפגש, תכונת מצב בתהליך=טופל ו- $RealTreatment=1$.
- נגדיל את המשתנה $NRoundCount$ באחד.

(ב) עבור המקרים שיפורטו בהמשך נשמרים לקובץ "יציאה מטיפול רופא" גם הפרטים הבאים עבור השכנים המתאימים:

- id חולה שכן, שעת סיום המפגש (מועתקת מהחולה הנתון), תכונת מצב בתהליך=טופל (מועתקת מהחולה הנתון) ו- $RealTreatment=0$.
- מדי מספר חולים (פרמטר נתון) הרופא מבצע סיבוב חולים כללי לא למטרת טיפול כלשהוא ואנטנת מיטה מסויימת קולטת אותו. משאב הרופא נתפס למשך זמן זה (בסימולציה זמן זה ימודל כ"תקלה" של הרופא) ועם חזרת הרופא לפעילות רגילה נאפס את המשתנה $DRoundCount$ ונשמור לקובץ תחת "לטיפול רופא כללי" הנתונים הבאים:

- שעת תחילת המפגש.
- שעת סיום המפגש.

הגדרות שכנים לפי מקרים וקונפיגורציות:

- קונפיגורציה 1- במקרה בו נעמדת האחות לצד החולה וגם אנטנת השכן קלטה אותה ($CatchNeighbor=1$). במקרה זה שכן מוגדר לפי תהליך מיקום איש צוות.
- קונפיגורציה 2- שכן מוגדר כמי שנמצא עם החולה באותו תת אגף. אם מיקום הישות i בוקטור המיטות הוא במקום זוגי (אי זוגי) אז השכן הוא הישות במקום $i-1$ ו- $i+1$.

- קונפיגורציה 3- שכן מוגדר כמי שנמצא עם החולה באותו תת אגף. על מנת לזהות את השכנים לאגף, נשתמש בפונקציית עזר:

$X = \text{Patient.SubWingNum} * 4$

$Y = X - i$

Case:

$Y=0$

write data for BedVec(i-1) Patient

write data for BedVec(i-2) Patient

write data for BedVec(i-3) Patient

$Y=1$

write data for BedVec(i+1) Patient

write data for BedVec(i-1) Patient

write data for BedVec(i-2) Patient

$Y=2$

write data for BedVec(i+2) Patient

write data for BedVec(i+1) Patient

write data for BedVec(i-1) Patient

$Y=3$

write data for BedVec(i+3) Patient

write data for BedVec(i+2) Patient

write data for BedVec(i+1) Patient

תהליך שחרור המיטה ויציאה מן האגף:

כעת הישות סיימה את תהליך הטיפול באגף, היא יוצאת מטווח הקליטה של האנטנה.

עבור כל הקונפיגורציות מתבצעות הפעולות הבאות:

- נמחק id החולה מהמקום המתאים בוקטור המיטות.
- משתנה ה-BedCount קטן באחד.
- נייצא לקובץ "מיטות" את שעת שחרור המיטה ואת המשתנה BedCount.

בנוסף, עבור קונפיגורציה 1:

- תכונת ה"מספר מיטה" של הישות מתאפסת.

עבור קונפיגורציה 2+3:

- תכונת ה"מספר תת אגף" של הישות מתאפסת.

כעת הישות עוברת דרך אנטנת "שער" ויוצאת מהאגף. תחילה היא נקראת ע"י האנטנה הממוקמת מצידה הפנימי של הכניסה לאגף שוכבים ולאחר מכן ע"י האנטנה הממוקמת מצידה החיצוני של הכניסה.

עבור כל הקונפיגורציות קיימים מספר תרחישים לישות:

1. נכנס ← אחות ← רופא ← יצא (תרחיש סטנדרטי המתואר להלן)

2. נכנס ← אחות ← רופא ← אחות ← יצא

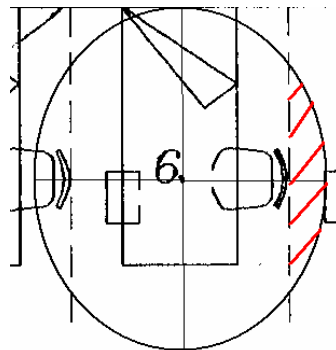
הישות, לאחר קבלת טיפול רופא, חוזרת לתהליך ההמתנה לאחות. בסיום טיפול האחות תכונת ה"שלב בתהליך" של הישות הופכת ל"טופל" והיא עוברת ישירות לתהליך שחרור המיטה.

3. נכנס ← אחות ← רופא ← יצא ← רופא ← יצא

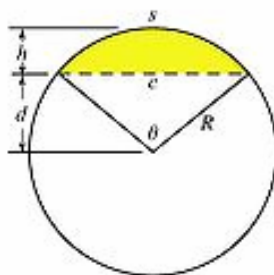
הישות עוברת את התרחיש הסטנדרטי, יוצאת מהאגף ולאחר זמן מסוים (פרמטר נתון) חוזרת לאגף. הישות מבצעת את תהליך הכניסה לאגף ותפיסת המיטה. בסיום התהליך תכונת ה"שלב בתהליך" שלה הופכת ל"ממתין לרופא" והיא עוברת ישירות לתהליך ההמתנה לרופא. משלב זה הישות ממשיכה בתהליך הסטנדרטי עד ליציאה מהאגף.

7.3.2.1 חישוב ההסתברות שאנטנת השכן תתפוס איש צוות העומד בין 2 מיטות

- חישוב שטח החפיפה בין אנטנות של שתי מיטות סמוכות (מסומן באדום):



איור 10 – שטח החפיפה בין אנטנות



איור 11 – חישוב שטח מקטע

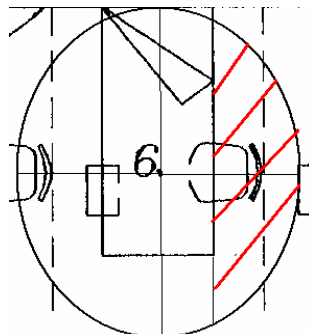
מדובר על חישוב שטח מקטע, עפ"י הנוסחה הבאה:

$$R^2 \times (0.5 \times \theta - (\sin 0.5 \times \theta) \times (\cos 0.5 \times \theta))$$

כאשר: $\theta = \frac{\pi}{3}$, $R = 1.5m$ (מתוך שרטוט המלר"ד)

$$1.5^2 \times (0.5 \times \frac{\pi}{3} - (\sin 0.5 \times \frac{\pi}{3}) \times (\cos 0.5 \times \frac{\pi}{3})) = 0.2038$$

- חישוב טווח הקליטה של אנטנת החולה בצד המיטה (מסומן באדום):



איור 12 – שטח טווח הקליטה של אנטנת המיטה

שוב, נשתמש בנוסחה לחישוב שטח מקטע כאשר: $\theta = 120.15^\circ, R = 1.5m$.

$$1.5^2 \times \left(0.5 \times \frac{2}{3} \times \pi - \left(\sin 0.5 \times \frac{2}{3} \times \pi\right) \times \left(\cos 0.5 \times \frac{2}{3} \times \pi\right)\right) = 1.382$$

• חישוב התוצאה הסופית – השטח הראשון חלקי השטח השני):

$$\frac{0.2038}{1.382} \approx 0.15$$

7.4. בניית מודל הסימולציה

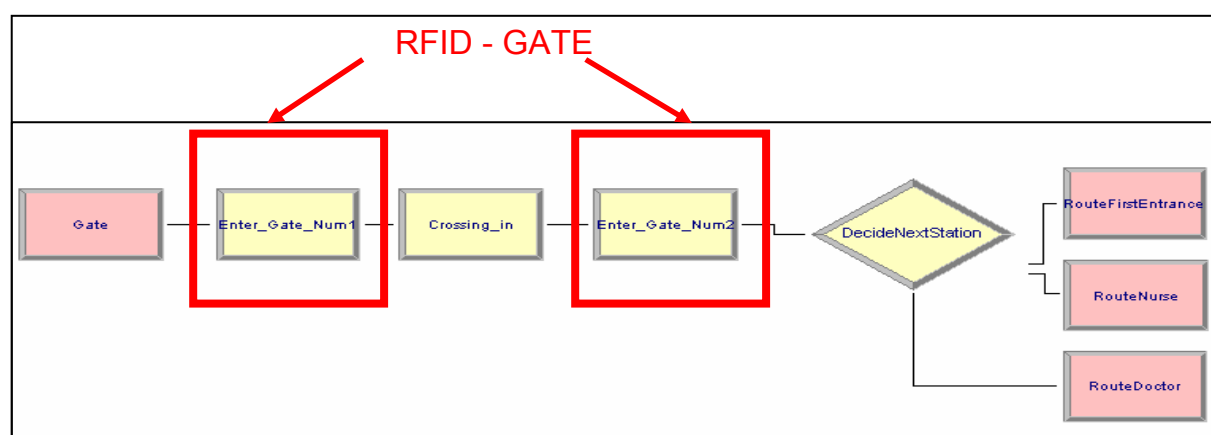
שיטת הפתרון המוצעת כללה בנייה של מודל סימולציה, כך שידמה פעילות מלר"ד גנרי. בהתבסס על האפיונים שביצענו ועל צרכי המלר"ד, נבנה מודל סימולציה בתוכנת Arena, אשר מתאר את התהליך הרפואי והפיזי שעובר החולה מרגע כניסתו למלר"ד ועד עזיבתו, כאשר כל מלר"ד מספק פרמטרים כפי שהוצג באפיון המערכת (למשל: קצבי הגעת חולים, זמן טיפול וכו').

כאמור, נבנה מודל סימולציה גנרי המתאר את התהליכים שעובר חולה מכניסתו למלר"ד ועד יציאתו עבור אגף השוכבים ואגף המהלכים. מתוך רצון לתקף את המודל בחרנו להזין למודל הסימולציה את הפרמטרים של המצב הקיים במלר"ד רמב"ם.

בניית הסימולציה התאפיינה בכך שכל אגף (מהלכים ושוכבים) עבר מידול של התהליכים העיקריים (כדוגמת, טיפול רופא וטיפול אחות) כפי שהוגדרו בתרחישים שבאפיון. עבור תהליכים אלו ניתנה התייחסות גם עבור המשמרות השונות – רמת האיוש במלר"ד.

בנוסף, ניתנה התייחסות רעיונית לאובייקטים פיזיים המדמים את המרחב של מלר"ד גנרי (חדר המתנה ומיטות למשל).

הנקודה העיקרית בבניית הסימולציה הייתה התייחסות להיבט הטכנולוגי של מערכת ה-RFID כאשר המודל ביצע תהליך קלט/פלט של נתונים המדמה את קריאות המערכת הנקלטות בקוראי ה-RFID. המודל נמצא בדיסק המצורף לפרויקט.



איור 13 – מידול אנטנת שער במודל ה- ARENA

8. ניתוח תוצאות המודל

לאחר הרצת הסימולציה התקבלו קבצים המכילים נתונים שונים על הישויות בחלקים שונים של התהליך. הנתונים נאספים עבור כל שלב בתהליך בו מתבצעת קריאה של תג על ידי אנטנת RFID. דוגמא לקובץ פלט של ישויות בתהליך טיפול אצל אחות עבור אגף המהלכים ניתן לראות בטבלה 2. על הישויות נאספו הנתונים: סוג חולה P_TYPE, מס' רפליקציה (הרצה) NREP, המספר הסידורי של הישויות P_ID, זמן הכניסה לטיפול TNOW, מצב החולה במערכת P_STATUS ומיקומו הפיזי של החולה P_LOCATION.

טבלה 2 – דוגמא לפלט סימולציה עבור טיפול אחות אגף מהלכים

P_type	NREP	P_ID	TNOW	P_Status	P_Location
2	1	12	3.078098	1	1
3	1	13	3.13331	1	1
3	1	15	3.193865	1	1

מתוך הנתונים חושבו המדדים התפעוליים:

- זמן שהייה במערכת.
- עומס איש צוות (אחות ורופא).
- מקום בתהליך.
- עומס מיטות (עבור אגף השוכבים).

ניתוח התוצאות נעשה תחת ההקפדה על המובהקות הסטטיסטית. עבור החישובים הורצו מספר רפליקציות (הרצות) אשר יספקו תוצאות תחת התנאים של מובהקות סטטיסטית, כאשר התנאי למובהקות סטייה של עד 10% בחישוב הממוצע:

$$\frac{2 * HalfWidth}{\bar{X}} < 0.1 \quad \text{ברמת מובהקות של } 0.95$$

מספר הרפליקציות שהרצנו על מנת לעמוד בתנאים הנ"ל הוא 25 עבור אגף המהלכים ו- 50 עבור אגף השוכבים עבור כל סוג יום - קצב הגעה חלש, ממוצע וחזק (יום עם קצב הגעה גבוה מוגדר להיות פי 1.51 מיום ממוצע. יום עם קצב הגעה נמוך מוגדר פי 0.38 מיום ממוצע) כאשר אורך כל רפליקציה הוא שבוע. המדדים חושבו ונותחו הן על סמך הנתונים "הפיקטיביים" ש"הופקו" על ידי קוראי ה-RFID (כדוגמת כניסה לשטח קריאה של אנטנה אך ללא קבלת טיפול) והן על סמך נתוני "האמת" של המודל (זמני הטיפול שנתקבלו מהסימולציה).

לאחר ניתוח הפרמטרים השונים ביצענו מבחני T כדי לבדוק את:

- נכונות ההבדל בין המדד שיצא מה-RFID לבין המדד האמיתי.
- נכונות ההבדל בין הקונפיגורציות השונות והימים השונים.

כל המבחנים נבדקו ברמת מובהקות של 95% עם מבחן T למדגמים מזווגים עבור ממוצעים.

$$H_0 : \bar{X}_1 = \bar{X}_2 \quad \text{השערת האפס היא:}$$

נדחה את השערת האפס אם $P\text{-value} < 0.05$

התוצאות המתקבלות ישקפו את רמת הדיוק של המערכת העתידית אל מול המצב הקיים.

8.1. ניתוח תוצאות אגף המהלכים

לכלי הסימולציה הוזנו פרמטרים תפעוליים שנתקבלו ממחקרי עבר שנעשו עבור מלר"ד רמב"ם. הפרמטרים שהוכנסו למערכת הם כדלקמן:

1. קצבי הגעה:

יום עם קצב הגעה גבוה מוגדר להיות פי 1.51 מיום ממוצע. יום עם קצב הגעה נמוך מוגדר להיות פי 0.38 מיום ממוצע.

טבלה 3 – קצב הגעת החולים באגף מהלכים

מהלכים קצב הגעה (ימים)			
שעת כניסה	ממוצע	גבוה	נמוך
0:00	2.14	3.23	1.33
1:00	1.60	2.41	0.99
2:00	1.28	1.93	0.79
3:00	1.07	1.62	0.66
4:00	0.95	1.43	0.59
5:00	0.86	1.30	0.53
6:00	0.90	1.37	0.56
7:00	1.23	1.86	0.76
8:00	2.20	3.33	1.37
9:00	3.77	5.69	2.34
10:00	4.81	7.26	2.98
11:00	5.12	7.72	3.17
12:00	4.71	7.12	2.92
13:00	4.36	6.59	2.70
14:00	4.13	6.24	2.56
15:00	3.87	5.84	2.40
16:00	3.49	5.27	2.16
17:00	3.47	5.24	2.15
18:00	3.83	5.79	2.38
19:00	3.89	5.88	2.41
20:00	3.84	5.80	2.38
21:00	3.63	5.48	2.25
22:00	3.21	4.85	1.99
23:00	2.73	4.12	1.69
סה"כ	71.09	107.35	44.08

2. זמני הטיפול של אנשי הצוות:

בנוסף, בכל שעה הוגדרו 5 דקות כזמן מנוחה עבור איש הצוות.

טבלה 4 – זמני טיפול אגף מהלכים

איש צוות	זמני טיפול (בדקות)
Doctor 1	20.1
Doctor 2	17.4
Doctor 3	18.75
Nurse	14.45

3. רמת האיוש משתנה בהתאם לשעות היום והיא:

טבלה 5 – רמת האיוש אגף מהלכים

שעה	מס' אחיות במשמרת
08:00- 16:00	2
16:00- 00:00	3
00:00- 08:00	2

8.1.1. מדד זמן שהייה במערכת

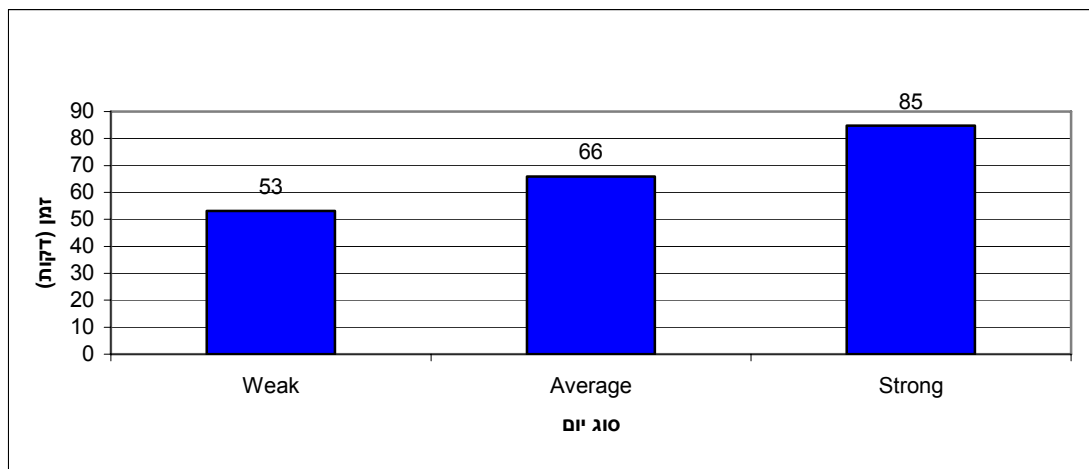
8.1.1.1. אופן הניתוח

קריאות מערכת ה-RFID בעת כניסת הישות ויציאתה הינן מדויקות ותואמות את הזמנים "האמיתיים" אשר בהם הישות נכנסת ויוצאת מהאגף. החולה יכול לצאת ולהיכנס למערכת מספר פעמים. כניסה מוגדרת להיות הפעם הראשונה שנתקבלה קריאת "כניסה" עבור אותו חולה ויציאה מוגדרת להיות הפעם האחרונה שנתקבלה קריאת "יציאה" עבורו.

טכנולוגיית ה-RFID מספקת דיוק השואף ל 100% בכל מעבר של החולה בשער הכניסה. לכן, לא קיים הבדל בין קריאות ה-RFID למצב האמיתי במדידת זמן שהייה. כמו כן, מבנה הסימולציה והקונפיגורציות השונות לא משפיעות על הכניסות והיציאות ולכן, לא קיימים הבדלים בין הקונפיגורציות בזמני שהייה. הפרמטר היחיד שכן ישפיע על זמני שהייה הוא קצב ההגעה השונה.

8.1.1.2. ניתוח התוצאות:

תוצאות זמני שהייה שנתקבלו עבור הימים השונים הינן:



איור 14 - זמן שהייה אגף מהלכים

ניתן לראות כי זמני שהייה במערכת עולים בקנה אחד עם קצב ההגעה המשתנה. בימים בעלי קצב הגעה גבוה ניתן לראות, כי זמני שהייה במערכת הינם ארוכים יותר (כ- 84 דקות), ואילו בימים בעלי קצב הגעה נמוך, זמני שהייה במערכת קצרים יותר (כ- 53 דקות) בהשוואה לימים בעלי קצב הגעה ממוצע (כ- 66 דקות). ההבדל בין תוצאות אילו לזמני שהייה האמיתיים במלר"ד נוצר כתוצאה מפישוט המודל (למשל עם אי מידול הרנטגן, המתנה לתוצאות בדיקות ותהליכים נוספים המתבצעים במלר"ד).

8.1.2. מדד עומס אחות

8.1.2.1. אופן הניתוח:

אמיתי:

- שימוש בנתוני כניסה ויציאה מטיפול איש צוות.
- מחיקת רשומות המכילות חולים שנכנסו לטיפול ולא הספיקו לצאת לפני תום ריצת הסימולציה.
- על פי הגדרת העומס יש להתחשב רק בזמנים בהם עבד איש הצוות ללא תלות במספר החולים בהם הוא נקלט מטפל באותו זמן. לכן, לא נתחשב בזמני הטיפול הפיקטיביים אלא רק בזמני הטיפול האמיתיים.

- חישוב עומס איש צוות לשעה ולרפליקציה עפ"י הנוסחה:
$$\frac{\sum_{i=\text{num_of_records}} \text{exit}(i) - \text{entrance}(i)}{\text{run_time} \times \text{num_of_staff}}$$
 כאשר:

$\text{exit}(i)$ – זמן יציאת חולה מטיפול איש צוות.

$\text{entrance}(i)$ – זמן כניסת חולה לטיפול איש צוות.

run time – זמן הריצה הכולל.

num of staff – מס' אנשי הצוות.

RFID:

- שימוש בנתוני כניסה ויציאה של חולה לאזור קליטת אנטנת עמדת האחיות.
- מחיקת רשומות המכילות חולים שנכנסו לטיפול ולא הספיקו לצאת לפני תום ריצת הסימולציה.
- חישוב עומס איש צוות לשעה ולרפליקציה.

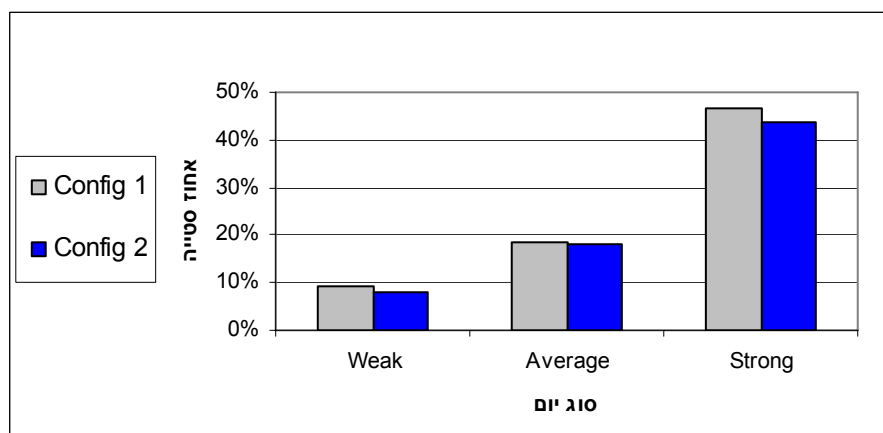
סטיית מערכת ה-RFID במדידת עומס איש צוות חושבה עפ"י
$$\frac{\text{Util RFID} - \text{Util Real}}{\text{Util Real}}$$
 כאשר:

Util RFID – ניצולת כפי שהתקבלה ממערכות ה-RFID.

Util Real – ניצולת אמיתית.

8.1.2.2. ניתוח התוצאות:

הגרפים הבאים מציגים את הסטייה המדד האמיתי למדד שהתקבל ממערכת ה-RFID:



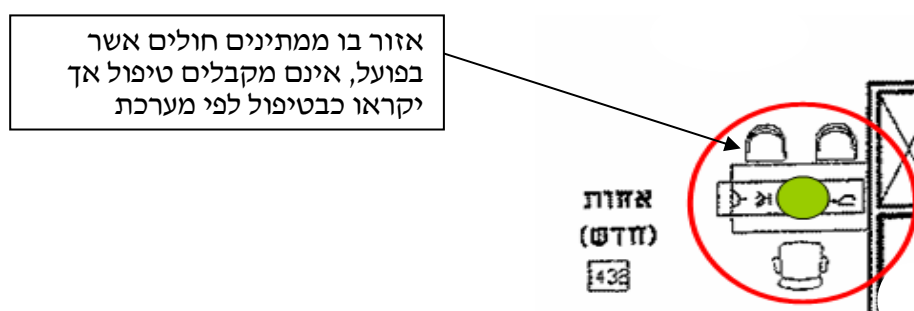
איור 15 – סטייה בעומס אחות לפי סוג יום

טבלה 6 מציגה תוצאות מבחן T המוכיח תחת רמת מובהקות של 95% קיום הבדלים בין מדד ה RFID למדד האמיתי:

טבלה 6 – מבחן T עומס אחות מהלכים: הבדלים בין RFID למדד האמיתי

Config-Day	P value
1W	7.53E-07
1A	4.65E-06
1S	2.65E-05
2W	7.78E-07
2A	5.55E-06
2S	9.56E-06

ניתן לראות כי ההבדלים בין המדידות שנתקבלו ע"י מערכות ה-RFID למדידות האמיתיות הינם מובהקים. הסיבה לכך היא שטיפול אחות מתבצע בדלפק האחות כאשר בחלק גדול מהזמן, האחות נמצאת בצד אחד של הדלפק ואילו המטופל בצידי השני. בחקירת המצב הקיים במלר"ד הבחנו בכך, שמטופלים רבים, בוחרים להמתין לתורם אצל האחות בקרבת דלפק הטיפול. בעיה זו גורמת לקריאות שגויות כאשר מערכת ה- RFID תזהה טיפולים "פיקטיביים" (זיהוי של חולים בטווח האחות כאשר אין הם מקבלים טיפול באמת). מצב זה מתואר באיור 16.



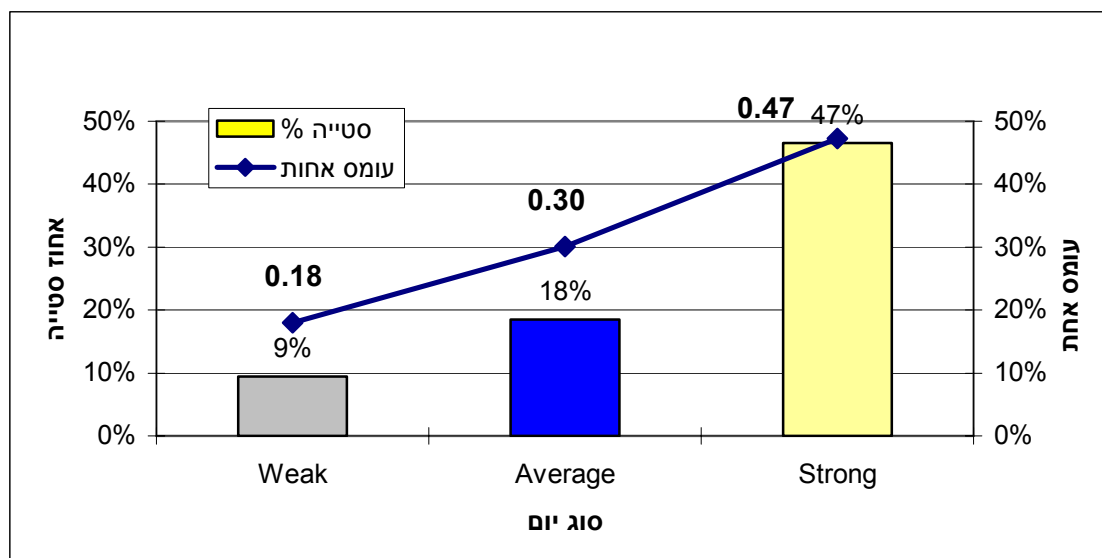
איור 16 – טווח קריאת האנטנה בדלפק האחות – אגף מהלכים

טבלה 7 מציגה תוצאות מבחן T המוכיח, תחת רמת מובהקות של 95%, אי קיום הבדלים בין הקונפיגורציות השונות וקיום הבדלים בין הימים השונים:

טבלה 7 – מבחן T עומס אחות מהלכים: הבדלים קונפיגורציות וסוגי ימים

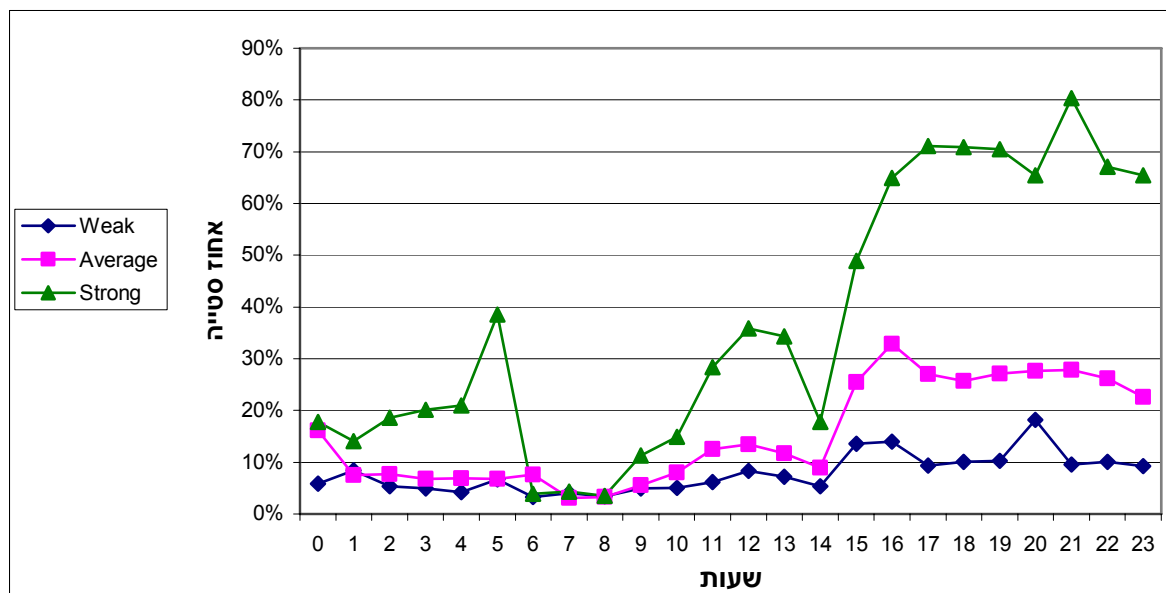
Config-Day	1W	1A	1S	2W	2A	2S
1W		3.31E-05	2.90E-05	0.1192		
1A			6.19E-05		0.1031	
1S						0.4137
2W					1.74E-05	5.19E-07
2A						3.59E-06
1S						

ניתן לראות שבבדיקת מדד T בין הקונפיגורציות התקבל $P\text{-value} > 0.05$ שמוכיח שלא קיים הבדל בין קונפיגורציה 1 ל-2. שיטת המדידה בין שתי הקונפיגורציות זהה ואכן, השערת האפס לא נדחתה. לעומת זאת, בבדיקת ההבדלים בין ימי העומס השונים, דחינו את השערת האפס שכן, ההבדל בין ימים אלו אכן מובהק.

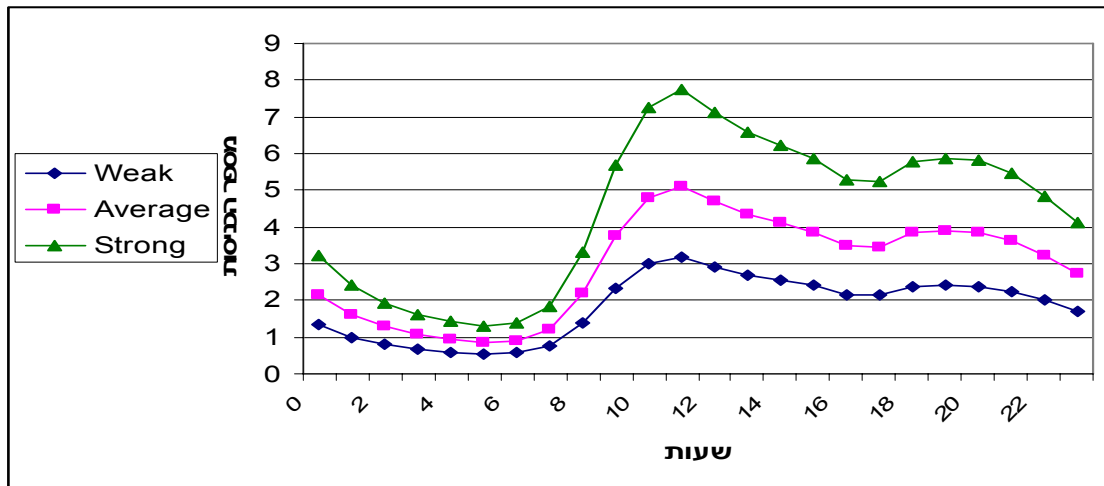


איור 17 – אחוז סטייה מול עומס אחת בימים השונים

מאיור 17 ניתן ללמוד כי קצבי הגעה גבוהים של חולים למערכת משפיעים בצורה ישירה על רמת העומס של האחיות ובהתאם, על רמת הדיוק של קריאת האנטנות בעמדת האחיות.



איור 18 – סטיית RFID בעומס אחת לפי סוג יום



איור 19 – קצב ההגעה למלר"ד אגף מהלכים

מאיור 18 ניתן להבחין כי הסטייה בעומס האחות הולכת וגדלה בהתאם לגידול בקצב ההגעה (איור 19). נקודה חשובה נוספת העולה מן הגרפים היא כי בשעה 15:00 מסיימת אחת מן האחיות את משמרתה ומס' האחיות יורד ל-2 ומרגע זה ניתן להבחין בגידול בסטייה. גרפים המציגים את עומס האחות על פני שעות היום נמצאים בנספח 7.

8.1.3. מדד עומס רופא

מדידת עומס הרופא בוצעה באותו אופן כמו עומס האחות. עבור עומס רופא נציין כי רמת דיוק מערכת ה-RFID שואפת ל-100%. הסיבה לכך נובעת מהעובדה כי טיפול רופא מתבצע בחדר הרופא – המיועד לכך. טיפול מוגדר ע"י בית החולים כהימצאותו של רופא וחולה יחדיו בחדר הטיפול ולכן לא ייתכן מצב בו חולה שוהה בחדר הרופא שלא לצורך קבלת טיפול. מערכות ה-RFID מעניקות כיסוי מלא בחדר הרופא ולכן "הטיפול" כהגדרתו נקלט באותו האופן ע"י המערכת.

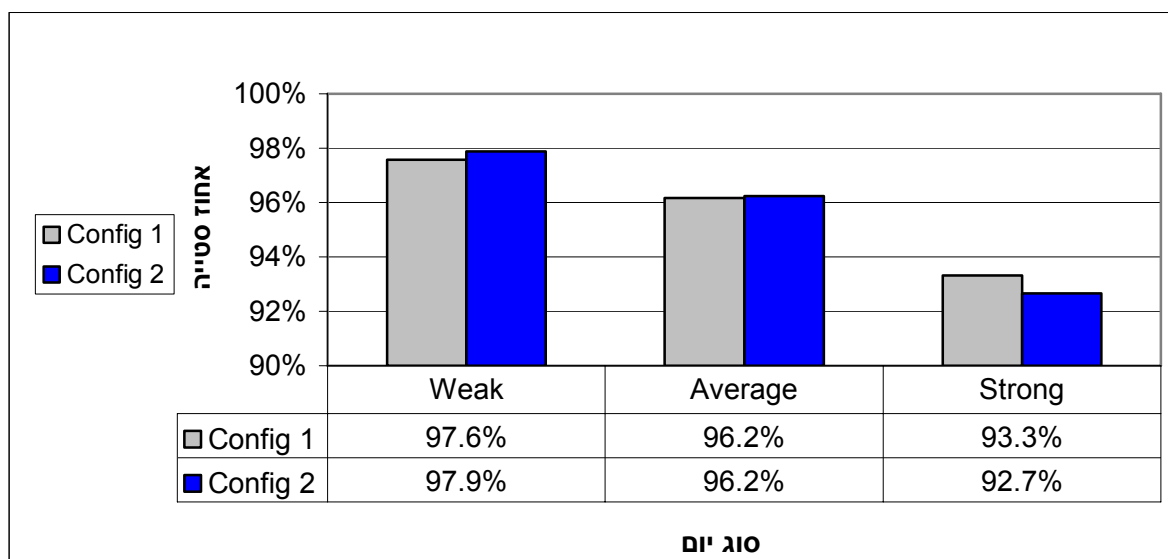
8.1.4. מדד מקום בתהליך

מדד מקום בתהליך מציג את סטאטוס המטופל בכל שלב במערכת (בטיפול אחות/ רופא, בהמתנה וכו'). מדד המקום בתהליך של החולה בודק מהו אחוז הזמן בו מערכת ה-RFID מזהה באופן מדויק את מקום החולה בתהליך מתוך סך זמן שהייה של החולה במערכת.

8.1.4.1. אופן הניתוח:

מדד זה נמדד ע"י האחוז מהזמן בו לא היה הבדל בין הסטאטוס האמיתי בו נמצא המטופל, לבין הסטאטוס שנקרא ע"י אנטנת ה-RFID. הטעויות במדד זה נובעות או מכך שחולה עבר תהליך אמיתי שלא נקלט ע"י מערכת ה-RFID או מהקריאה המוטעית בדלפק האחיות אשר הוצגה לעיל. חישוב המדד:

- לכל חולה חושב "זמן הטעות" – הזמן בו המטופל נקרא "בטיפול אחות" כאשר בפועל, הוא "ממתין לאחות".
- לכל חולה חושב אחוז הזמן "הנכון" מתוך זמן שהייה הכולל שלו במערכת.
- חישוב אחוז הדיוק לרפליקציה ע"י ממוצע על החולים.



איור 20 – אחוז דיוק מקום בתהליך – אגף מהלכים

טבלה 8 מציגה תוצאות מבחן T המוכיח, תחת רמת מובהקות של 95%, אי קיום הבדלים בין הקונפיגורציות השונות וקיום הבדלים בין הימים השונים:

טבלה 8 – מבחן T מקום בתהליך מהלכים: הבדלים קונפיגורציות וסוגי ימים

Config-Day	1W	1A	1S	2W	2A	2S
1W		1.87E-05	3.32E-04	0.1057		
1A			1.68E-03		0.3981	
1S						0.2604
2W					1.48E-06	4.19E-05
2A						3.31E-03
1S						

בדומה לבדיקת המדד עבור עומס האחות, השערת האפס לא נדחת בבדיקת ההבדלים בין הקונפיגורציות, אך בבדיקת ההבדלים בין סוגי העומס השונים, קיים הבדל מובהק. מדד זה בהמשך ישיר למדד הקודם מושפע מהקריאות הפיקטיביות בעמדת האחיות ובעקיפין מושפע מקצבי ההגעה השונים. ניתן לראות כי ככל שהימים עמוסים יותר דיוק מערכת ה-RFID קטן, כלומר המערכת מנפקת קריאות שגויות לגבי מיקומו של החולה.

8.2. ניתוח תוצאות אגף השוכבים

הפרמטרים שהוכנסו למערכת הם כדלקמן:

1. קצבי הגעה:

יום עם קצב הגעה גבוה מוגדר להיות פי 1.51 מיום ממוצע. יום עם קצב הגעה נמוך מוגדר להיות פי 0.38 מיום ממוצע.

טבלה 9 – קצב הגעת החולים באגף שוכבים

מהלכים קצב הגעה (ימים)			
שעת כניסה	ממוצע	גבוה	נמוך
0:00	2.32	3.50	0.88
1:00	1.73	2.61	0.66
2:00	1.39	2.10	0.53
3:00	1.16	1.75	0.44
4:00	1.03	1.55	0.39
5:00	0.93	1.41	0.35
6:00	0.98	1.48	0.37
7:00	1.33	2.01	0.51
8:00	2.39	3.60	0.91
9:00	4.08	6.16	1.55
10:00	5.21	7.86	1.98
11:00	5.54	8.37	2.11
12:00	5.11	7.71	1.94
13:00	4.73	7.14	1.80
14:00	4.48	6.76	1.70
15:00	4.19	6.33	1.59
16:00	3.78	5.71	1.44
17:00	3.76	5.67	1.43
18:00	4.15	6.27	1.58
19:00	4.22	6.37	1.60
20:00	4.16	6.28	1.58
21:00	3.93	5.93	1.49
22:00	3.48	5.26	1.32
23:00	2.95	4.46	1.12
סה"כ	77.02	116.30	29.27

2. זמני הטיפול של אנשי הצוות :

טבלה 10 – זמני הטיפול אגף שוכבים

איש צוות	זמני טיפול (בדקות)
Doctor	7.4
Nurse	5.2

3. רמת האיוש זהה לכל אורך היום והיא כדלקמן :

טבלה 11 – רמת איוש אגף שוכבים

איש צוות	רמת איוש
Doctor	2
Nurse	3

4. מספר המיטות באגף צריך להיות גדול מספיק על מנת להכיל את כמות החולים הנכנסים אליו, לצורך הסימולציה קבענו אותו ל – 50.
5. זמן בדקות עד לתפיסת מיטה באגף מפולג (3)exp.
6. זמן בדקות מחוץ לאגף בין שתי בדיקות רופא (תרחיש 3) מפולג (35)exp.
7. התפלגות מיקום טיפול איש צוות ליד מיטת החולה (רלוונטי רק עבור קונפיגורציה 1) מפולג יוניפורמית בין חמשת המיקומים האפשריים (ראה חישוב בסעיף 7.3.2.1).

8.2.1. מדד זמן שהייה במערכת

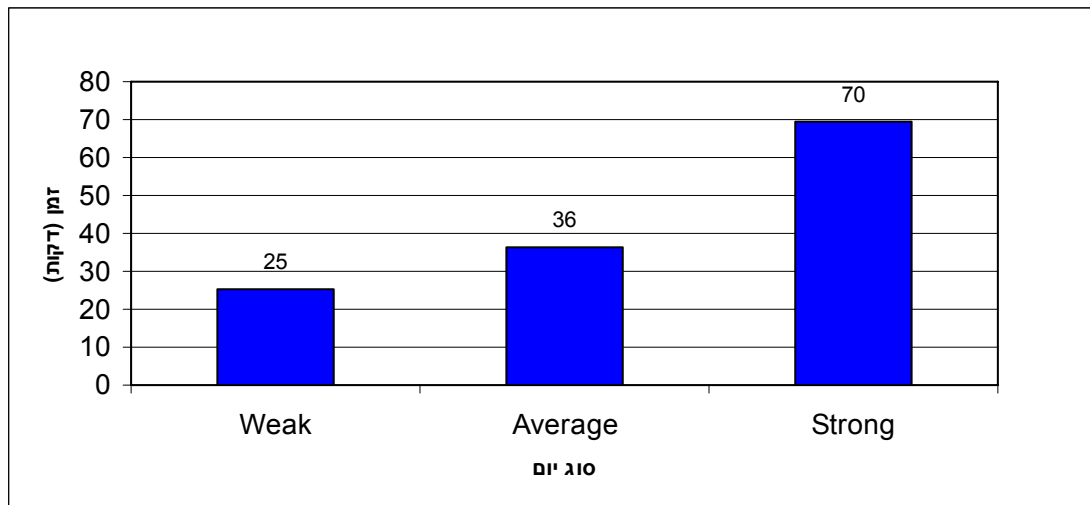
8.2.1.1. אופן ניתוח :

בדומה לאגף המהלכים, לא קיימים הבדלים בזמני השהייה במערכת. החולה יכול לצאת ולהיכנס למערכת מספר פעמים. כניסה מוגדרת להיות הפעם הראשונה שנתקבלה קריאת "כניסה" עבור אותו חולה ויציאה מוגדרת להיות הפעם האחרונה שנתקבלה קריאת "יציאה" עבורו.

טכנולוגיית ה-RFID מספקת דיוק השואף ל 100% בכל מעבר של החולה בשער הכניסה. לכן, לא קיים הבדל בין קריאות ה-RFID למצב האמיתי במדידת זמן השהייה. כמו כן, מבנה הסימולציה והקונפיגורציות השונות לא משפיעות על הכניסות והיציאות ולכן, לא קיימים הבדלים בין הקונפיגורציות בזמני השהייה. הפרמטר היחיד שכן ישפיע על זמני השהייה הוא קצב ההגעה השונה.

8.2.1.2. ניתוח התוצאות

התוצאות שנתקבלו עבור הימים השונים :



איור 21 – זמן שהייה כתלות בעומס

ניתן לראות כי בימים בעלי קצב הגעה גבוה זמני השהייה במערכת הינם ארוכים יותר (כ- 70 דקות), ואילו בימים בעלי קצב הגעה נמוך, זמני השהייה במערכת קצרים יותר (כ- 25 דקות) בהשוואה לימים בעלי קצב הגעה ממוצע (כ- 36 דקות). בדומה לתוצאות אגף המהלכים נתונים אילו שונים משמעותית מנתוני האמת של מלר"ד רמב"ם עקב הפישוט של המודל והתהליכים בו.

8.2.2. מדד עומס איש צוות

8.2.2.1. אופן הניתוח:

מפגש בין איש צוות לחולה ייחשב כטיפול לפי מערכת ה-RFID אם משך המפגש גדול מ- 15 שניות.

חישוב מדד העומס:

אמיתי:

- שימוש בנתוני כניסה ויציאה מטיפול איש צוות.
- מחיקת רשומות המכילות חולים שנכנסו לטיפול ולא הספיקו לצאת לפני תום ריצת הסימולציה.
- מחיקת זמני הטיפול בשכנים – זמן הטיפול הפיקטיבי של איש צוות בשכן של חולה מטופל מוכל בזמן הטיפול האמיתי באותו החולה. עפ"י הגדרת העומס יש להתחשב רק בזמנים בהם עבד איש הצוות ללא תלות במספר החולים בהם הוא נקלט מטפל באותו זמן. לכן, לא נתחשב בזמני הטיפול הפיקטיביים בשכנים, אלא רק בזמני הטיפול האמיתיים.

- חישוב עומס איש צוות לשעה ולרפליקציה עפ"י הנוסחה:
$$\frac{\sum_{i=num_of_records}^{exit(i)-entrance(i)}}{run_time \times num_of_staff}$$
 כאשר:

$exit(i)$ – זמן יציאת חולה מטיפול איש צוות.

$entrance(i)$ – זמן כניסת חולה לטיפול איש צוות.

run_time – זמן הריצה הכולל.

num_of_staff – מס' אנשי הצוות.

: RFID

- שימוש בנתוני כניסה ויציאה מטיפול איש צוות פיקטיבי.
- מחיקת רשומות המכילות חולים שנכנסו לטיפול ולא הספיקו לצאת לפני תום ריצת הסימולציה.
- הוספת הרשומות לרשומות שהתקבלו מניתוח מדד העומס האמיתי.
- מחיקת רשומות עבורן זמן הטיפול קטן מ- 15 שניות.
- חישוב עומס איש צוות לשעה ולרפליקציה.

סטיית מערכת ה- RFID במדידת עומס איש צוות חושבה עפ"י $\frac{\text{Util RFID} - \text{Util Real}}{\text{Util Real}}$ כאשר:

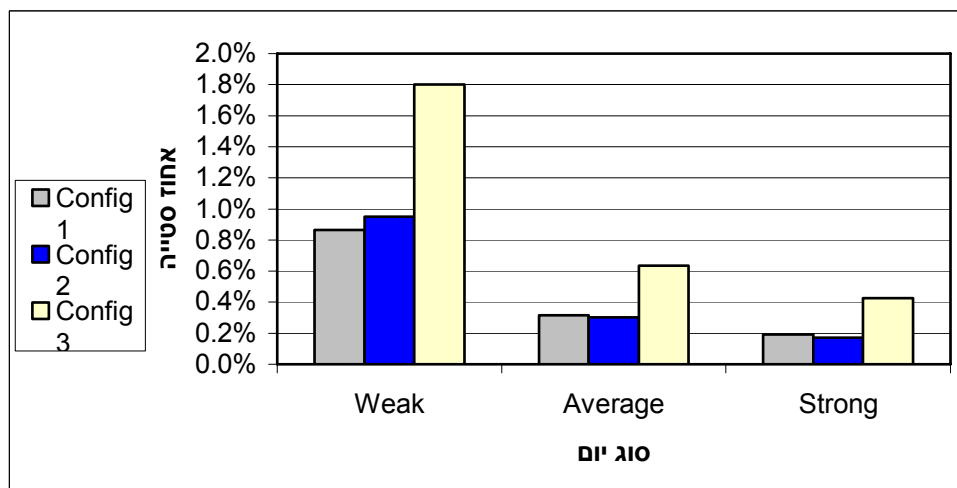
Util RFID – ניצולת כפי שהתקבלה ממערכות ה-RFID.

Util Real – ניצולת אמיתית.

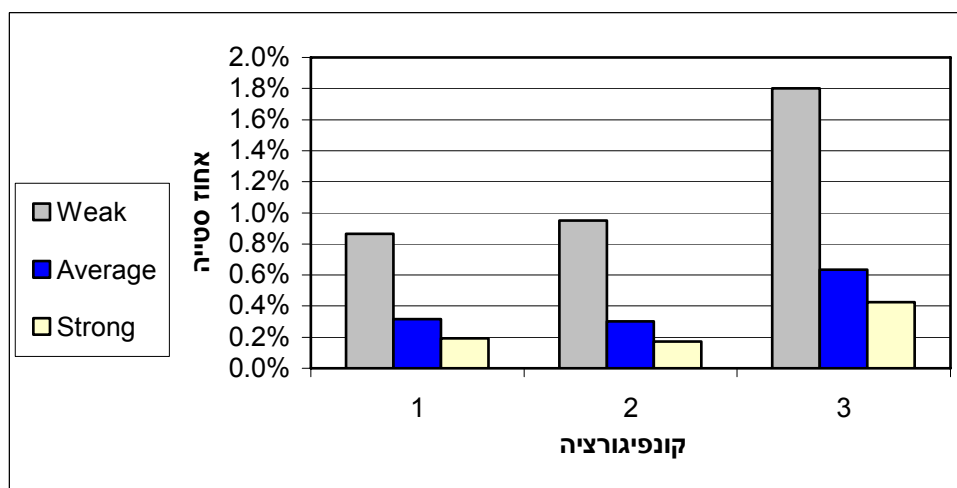
8.2.2.2. ניתוח התוצאות:

מהדמיון בין תוצאות עומס הרופא והאחות, נציג את התוצאות עבור עומס רופא. תוצאות עומס האחות ומבחני T מוצגים בנספח 8.

אחוז הסטייה של מדד עומס כללי לפי ה- RFID מהמדד האמיתי הוא:



איור 22 – סטייה בעומס רופא לפי סוג יום



איור 23 – סטייה בעומס רופא לפי קונפיגורציה

טבלה 12 מציגה תוצאות מבחן T המוכיח תחת רמת מובהקות של 95% קיום הבדלים בין מדד ה RFID למדד האמיתי:

טבלה 12 – מבחן T עומס רופא שוכבים: הבדלים בין RFID למדד האמיתי

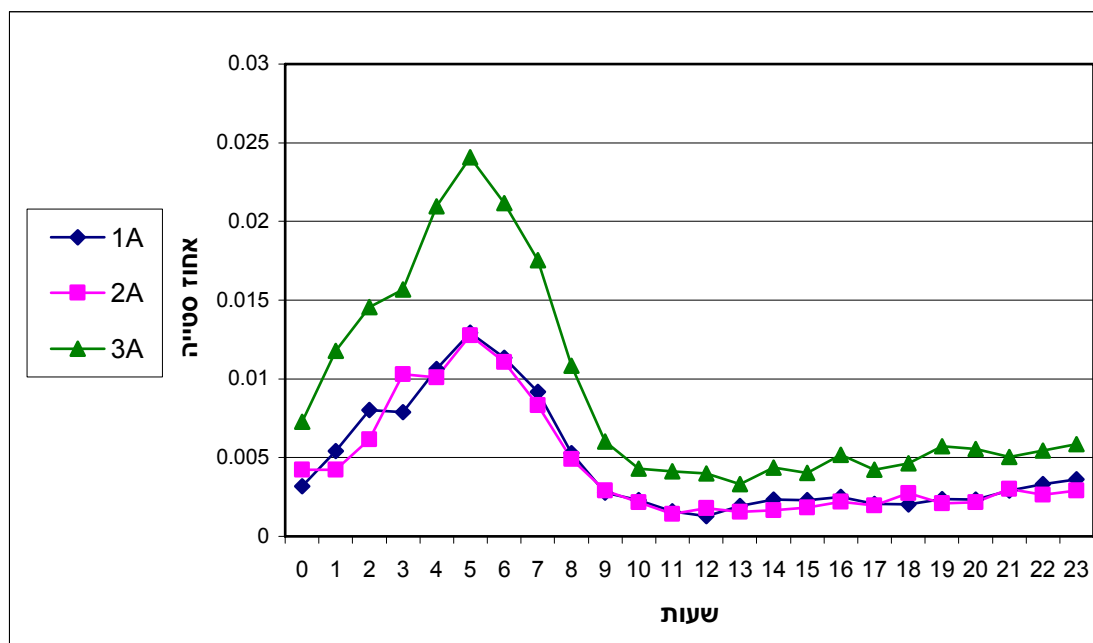
Config-Day	P value
1W	6.23E-22
1A	5.62E-22
1S	1.65E-14
2W	4.75E-25
2A	2.68E-21
2S	4.19E-13
3W	1.02E-28
3A	5.57E-27
3S	7.32E-22

טבלה 13 מציגה תוצאות מבחן T המוכיח, תחת רמת מובהקות של 95%, קיום הבדלים בין הקונפיגורציות השונות והימים השונים:

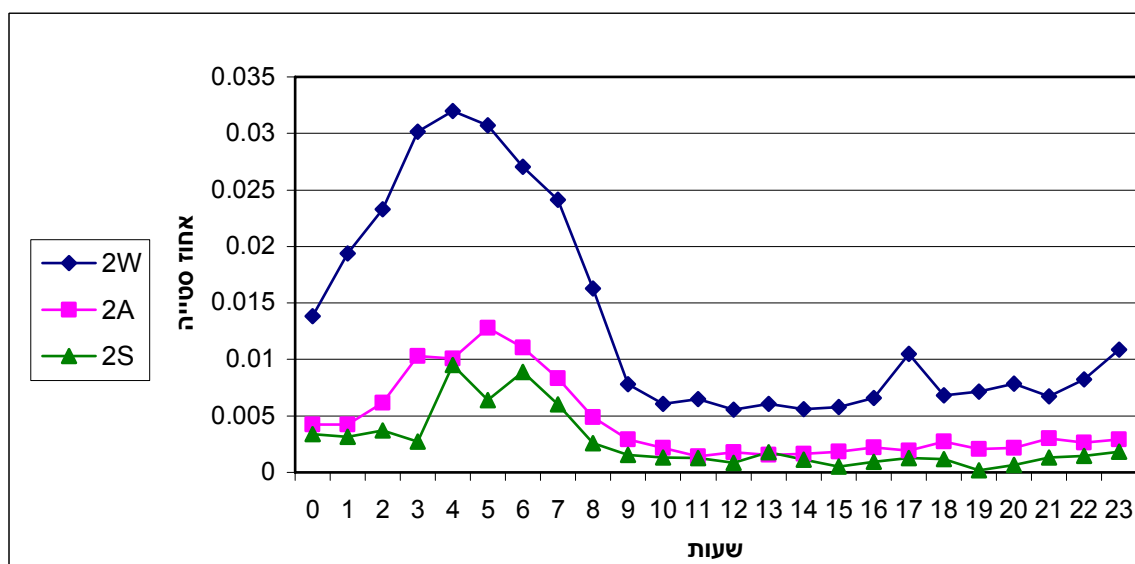
טבלה 13 – מבחן T עומס רופא שוכבים: הבדלים קונפיגורציות וסוגי ימים

Config-Day	1W	1A	1S	2W	2A	2S	3W	3A	3S
1W		1.25E-06	5.95E-07	0.077597			5.72E-08		
1A			1.04E-06		0.130208			6.72E-08	
1S						0.095981			8.33E-07
2W					3.72E-08	3.74E-08	1.16E-07		
2A						2.2E-05		6.88E-08	
2S									1.63E-07
3W								2.24E-08	2.23E-08
3A									1.57E-07
3S									

ניתן לראות שלא קיים הבדל בין קונפיגורציה 1 ל-2 ($P\text{-value} > 0.05$) ולכן לא הצלחנו לדחות את השערת האפס) שכן הסטייה אינה מושפעת מקליטה סימולטאנית של יותר מחולה אחד (קיום שכנים) כפי שהוסבר לעיל. סטייה זו מושפעת מ"רעש" שנקלט במסדרון ולכן נראה כי רק עבור קונפיגורציה 3 שבה יש אנטנות במסדרון הסטייה היא משמעותית. בנוסף, ניתן לראות שככל שהיום חלש יותר, הסטייה בין ה- RFID למדד האמיתי גדולה יותר. הסיבה לכך היא שבימים חלשים יותר איש הצוות פנוי יותר ולכן מסתובב יותר בחדר המיון מבלי לטפל בחולים. כלומר היחס בין הטיפולים האמיתיים לטיפולים ה"פיקטיביים" גדל. מוצגות שתי דוגמאות לאחוז הסטייה של מדד עומס לפי ה- RFID מהמדד האמיתי לפי שעות היום:



איור 24 – סטייה בעומס רופא לפי קונפיגורציה ביום ממוצע



איור 25 – סטייה בעומס רופא לפי סוג יום בקונפיגורציה 2

ניתן לראות כי גם ברזולוציה של שעות, בשעות החלשות יותר (0-8) הסטייה בין ה RFID למדד האמיתי גדולה יותר מאותו הסבר שהוצג לעיל.

8.2.3. מדד עומס מיטות:

8.2.3.1. אופן הניתוח:

שהיית חולה בסמוך למיטה תיחשב כתפיסת מיטה עפ"י מערכת ה- RFID אם משך השהייה גדול מ- 2 דקות.

עבור קונפיגורציות 1 ו-2 אין הבדל בין ה- RFID לבין המדד האמיתי שכן אין בהן קליטה במסדרון ואנו מניחים כי חולה לא עומד בסמוך למיטה בלי לתפוס אותה. לעומת זאת, קונפיגורציה 3 קולטת את החולים

העומדים במסדרון ויכול להיווצר מצב של חולה המחפש מיטה ועומד למשך יותר מ-2 דקות בטווח הקליטה של מיטה בלי לתפוס אותה.

חישוב מדד העומס:

אמיתי:

- שימוש בנתוני תפיסה ושחרור מיטה ובמשתנה ה-BedCount.
- חישוב ממוצע משוכלל של מספר המיטות התפוסות לפי שעה ולפי רפליקציה.

RFID:

- שימוש בנתוני תפיסה ושחרור מיטה פיקטיבית.
- מחיקת רשומות עבורן זמן השהייה בסמוך למיטה קטן מ- 2 דקות.
- הוספת הרשומות לרשומות שהתקבלו מניתוח מדד העומס האמיתי. לא קיים חולה השוהה במיטה פחות מ- 2 דקות ולכן אין צורך למחוק רשומות.
- חישוב ממוצע משוכלל של מספר המיטות התפוסות לפי שעה ולפי רפליקציה.

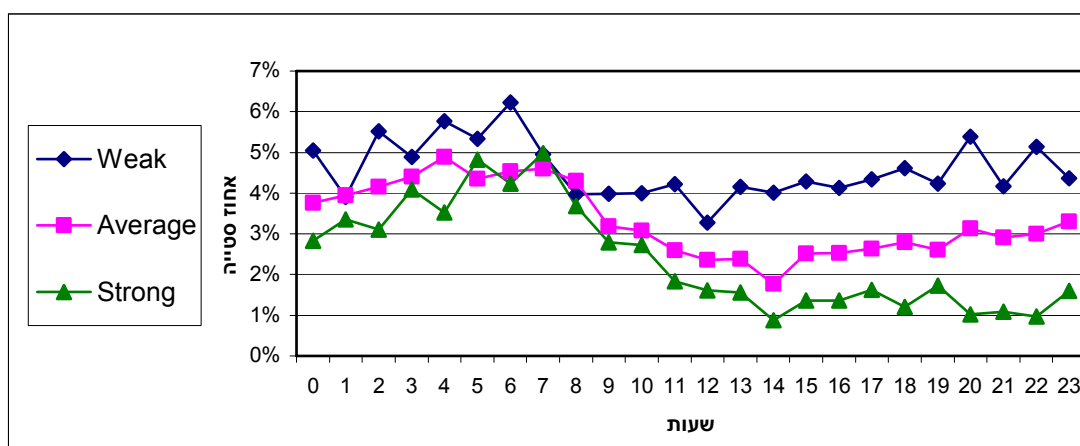
סטיית מערכת ה- RFID במדידת עומס המיטות חושבה עפ"י
$$\frac{\text{Bed RFID}-\text{Bed Real}}{\text{Bed Real}}$$
 כאשר:

Bed RFID – עומס מיטות כפי שהתקבל ממערכות ה-RFID.

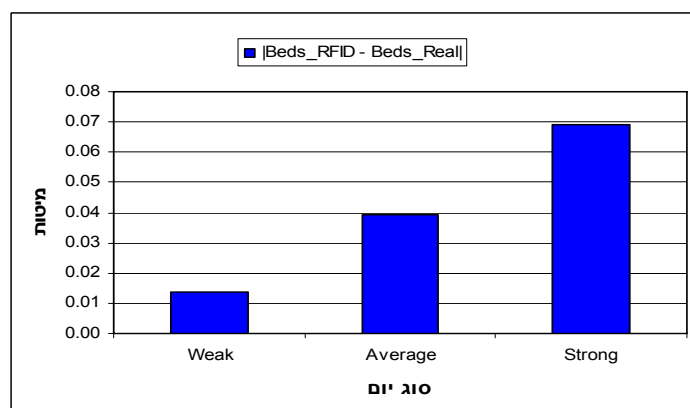
Bed Real – עומס מיטות אמיתי.

ניתוח התוצאות:

באיור 26 מוצגות תוצאות עבור קונפיגורציה 3 ע"פ סוגי הימים השונים. הסטייה באחוזים של מדד עומס המיטות לפי ה-RFID מהמדד האמיתי הוא:



איור 26 – סטייה בעומס מיטות לפי סוג יום – קונפיגורציה 3



איור 27 – הפרש בעומס מיטות לפי סוג יום – קונפיגורציה 3

טבלה 14 מציגה תוצאות מבחן T המוכיח, תחת רמת מובהקות של 95%, קיום הבדלים בין מדד ה-RFID למדד האמיתי:

טבלה 14 – מבחן T עומס מיטות: הבדלים בין RFID למדד האמיתי

Config-Day	P value
3W	9.2E-11
3A	2.47E-10
3S	2.51E-09

טבלה 15 מציגה תוצאות מבחן T המוכיח, תחת רמת מובהקות של 95%, קיום הבדלים בין הימים השונים:

טבלה 15 – מבחן T עומס מיטות: הבדלים בסוגי ימים

Config-Day	3W	3A	3S
3W		6.86E-10	7.28E-10
3A			3.24E-08
3S			

ניתן לראות שככל שהיום עמוס יותר, כך ההפרש במדידת המיטות גדולה יותר. הסיבה לכך היא שבימים עמוסים יש תנועה גדולה יותר של חולים היוצרת את ה"רעש" ויותר אנשים עומדים במסדרון בדרך לקבלת מיטה. כמו כן, ניתן לראות זאת גם ברזולוציה של שעות כאשר בשעות העמוסות פחות (0-8) ההפרש קטן יותר.

לעומת זאת, אם נסתכל על הסטייה באחוזים נראה כי המערכת מתייצבת ככל שהיום עמוס יותר ונקבל סטייה קטנה יותר באחוזים בימים יותר עמוסים.

8.2.4. מדד מקום בתהליך:

8.2.4.1. אופן הניתוח:

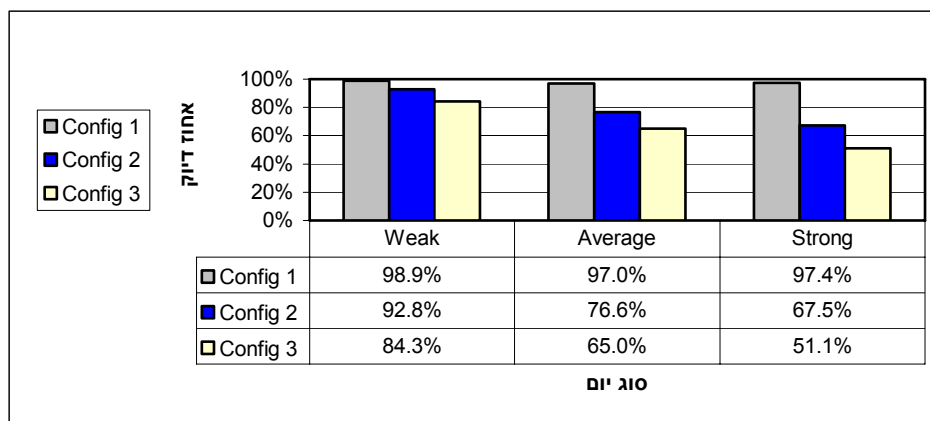
מדד המקום בתהליך של החולה בודק מהו אחוז הזמן בו מערכת ה-RFID מזהה באופן מדויק את מקום החולה בתהליך מתוך סך זמן שהייה של החולה במערכת. זיהוי שגוי של מערכת ה-RFID נובע מ-2 סוגי טעויות:

- טעות מסוג 1: דחיית השערה שלא בצדק - חולה עבר תהליך אמיתי שלא נקלט ע"י מערכת ה-RFID.
 - טעות מסוג 2: קבלה שגויה של השערה - חולה לא עבר תהליך מסוים, אך נקלט שכן ע"י מערכת ה-RFID.
- המדד חושב באופן הבא:

- סיווג כל רשומת טיפול ותפיסת מיטה ל-3 סוגים:
 - 1 - תהליך אמיתי שהחולה עבר ואכן נקלט ככזה ע"י מערכת ה-RFID.
 - 2 - תהליך אמיתי שהחולה עבר, אך לא נקלט ע"י מערכת ה-RFID. למשל, טיפול אמיתי של איש צוות שארך פחות מ-15 שניות.
 - 0 - תהליך פיקטיבי שהחולה עבר, אך נקלט כאמיתי ע"י מערכת ה-RFID. למשל, עמידה ללא טיפול של איש צוות שארכה יותר מ-15 שניות.
- סידור הרשומות במסלולים בסדר כרונולוגי לכל id של חולה ברפליקציה.
- לכל חולה חושב אחוז הזמן "הנכון" לפי סוג הרשומה מתוך זמן שהייה הכולל שלו במערכת.
- חישוב אחוז הדיוק לרפליקציה ע"י ממוצע על החולים.

8.2.4.2. ניתוח התוצאות:

באיור 28 מוצגות התוצאות של אחוז הדיוק (זיהוי נכון של מקום החולה בתהליך) של מערכת ה-RFID לפי סוג יום וקונפיגורציה:



איור 28 - אחוז דיוק לפי קונפיגורציה וסוג יום

טבלה 16 מציגה תוצאות מבחן T המוכיח, תחת רמת מובהקות של 95%, קיום הבדלים בין הקונפיגורציות השונות והימים השונים:

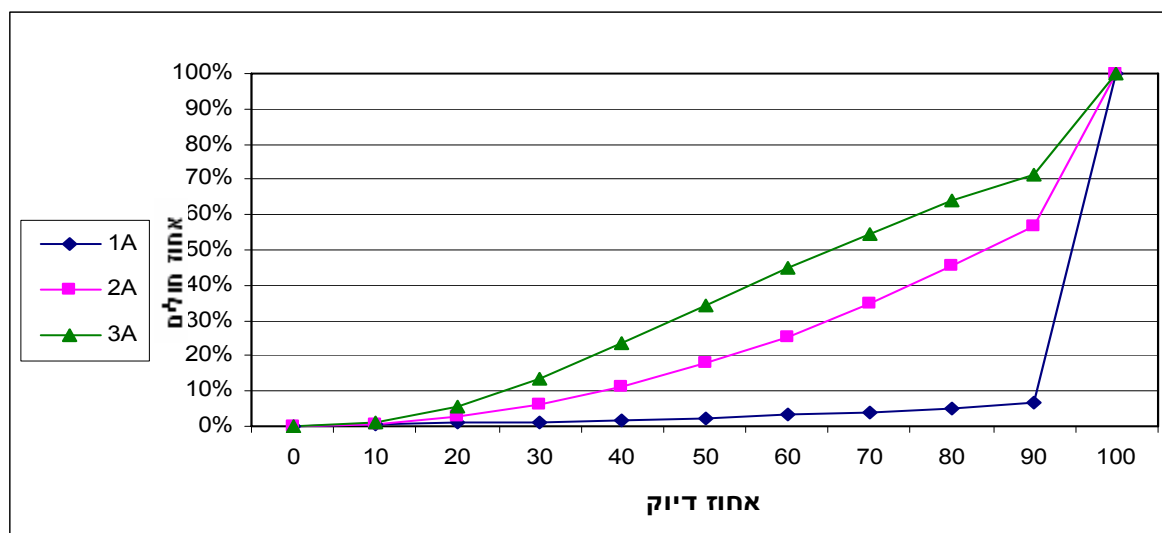
טבלה 16 – מבחן T מקום בתהליך שוכבים: הבדלים בסוגי ימים וקונפיגורציות

Config-Day	1W	1A	1S	2W	2A	2S	3W	3A	3S
1W		7.01E-22	7.5E-12	4.15E-35			3.43E-41		
1A			0.006862		1.05E-57			3.4E-61	
1S						1.03E-48			4.11E-54
2W					1.26E-50	1.97E-45	5.3E-30		
2A						3.36E-22		3.49E-35	
2S									8.07E-28
3W								7.68E-43	2.27E-43
3A									6.87E-29
3S									

מאיוור 28 עולה כי:

- אחוז הדיוק יורד ככל שהיום עמוס יותר. הסיבה לכך היא שיש תנועה רבה יותר של חולים ותפוסה רבה יותר של מיטות הגורמות לזיהוי רב יותר של טיפול סימולטאני בכמה חולים.
- אחוז הדיוק יורד ככל שרזולוציית קליטת המיטות בקונפיגורציה גדולה יותר.
- ככל שרזולוציית קליטת המיטות בקונפיגורציה גדולה יותר כך עולה הרגישות לסוג היום: לקונפיגורציה 1 רגישות נמוכה לסוג היום כאשר ההבדל בין יום חלש לחזק הוא כ- 2% בלבד לעומת קונפיגורציה 2 בה ההבדל הוא כ- 25% ובקונפיגורציה 3 מגיע עד ל- 33%.
- ככל שהיום עמוס יותר כך ההבדלים בין הקונפיגורציות משמעותיים יותר.

מוצגת התפלגות מצטברת אחוז הדיוק אצל החולים לפי קונפיגורציה ביום ממוצע (ימים חזקים וחלשים בנספח 9):



איור 29 – התפלגות מצטברת של אחוז דיוק לפי קונפיגורציה

מאיור 29 עולה כי :

- עבור שלושת הקונפיגורציות אחוז החולים הנמצאים באחוז דיוק בין 90 ל – 100 גדול משמעותית יחסית לאחוזי הדיוק האחרים (0-90).
- בקונפיגורציה 1 אחוז החולים הנמצאים באחוז דיוק בין 90 ל – 100 הוא הגבוה ביותר ואף רוב החולים נמצאים בתחום זה.

9. עלויות מערכת ה-RFID

על מנת להתחשב גם בהיבט הכלכלי של הטמעת מערכת ה-RFID במלר"ד יש לבחון את הרכיבים הנחוצים לשם תפעולה. נתונים לגבי עלויות המערכות התקבלו מפרופסור טלי פריד מאוניברסיטת קליפורניה המתמחה במערכות RFID.

טבלה 17 – עלויות רכיבי RFID

עלות ליחידה ב- ש"ח	אמצעי
8,000	קורא פסיבי
1,000	אנטנה מרחבית
6,000	אנטנה ליניארית
80,000	תוכנה
25,000	תחזוקה תוכנה וחומרה
1	תגים פסיביים

הערכת עלות הרכיבים הדרושים לצורך התקנת מערכת RFID במלר"ד גנרי.

טבלה 18 – חישוב עלות כללית לקונפיגורציה

עלות	כמות נצרכת	עלות ליחידה ב- ש"ח	אמצעי
קונפיגורציה X	קונפיגורציה X		
Num of ANTENNA/4 * 8,000	Num of ANTENNA / 4	8,000	קורא פסיבי
Num of ANTENNA * 1,000	Num of ANTENNA	1,000	אנטנה מרחבית
Num of ANTENNA * 6,000	Num of ANTENNA	6,000	אנטנה ליניארית (שער)
80,000	1	80,000	תוכנה
25,000	1	25,000	תחזוקה תוכנה וחומרה
TOTAL	עלות השקעה ראשונית		
Average Arrival Rate * 1	Average Arrival Rate	1	תג פסיבי
Average Arrival Rate*1*365	עלות שנתית ממוצעת (משתנה) לאחר הטמעה		

- מספר התגים הינו כקצב ההגעות הממוצע.
- טווח הקליטה של אנטנה הינו כ- 9 מטר לכן כמות האנטנות נגזרת מגודלו הפיזי של כל מלר"ד.
- כל קורא יכול לחבר אליו 4 אנטנות ולקרוא את אותותיהן.
- עלות שנתית לאחר הטמעה הינה : $\text{NumOfTags} \times \text{CostOfTags} \times 365$
- עלות שנתית ממוצעת משתנה לאחר ההטמעה :
- $\text{NumOfAntenna} \times \text{CostOfAntenna} + \text{NumOfReaders} \times \text{CostOfReaders} + \text{CostOfEquipment}$
- המחיר אינו כולל עבודות תשתית והתקנה.
- עלות אנטנת שער כוללת עלות 2 אנטנות לינאריות.

9.1 עלויות מערכת RFID בי"ח רמב"ם

הערכת עלות הרכיבים הדרושים לצורך התקנת מערכת RFID בבית חולים רמב"ם. העלות המוצגת הינה עלות ממוצעת עבור מערכת ה-RFID (כתלות בכמות החולים הממוצעת המגיעה למלר"ד ביום).

9.1.1. אגף מהלכים

טבלה 19 – חישוב עלות קונפיגורציות אגף מהלכים

כמות נצרכת		
קונפיגורציה 2	קונפיגורציה 1	אמצעי
1	1	קורא פסיבי
6	4	אנטנה מרחבית
0	1	אנטנה ליניארית (שער)
1	1	תוכנה
1	1	תחזוקה תוכנה וחומרה
119,000	123,000	עלות השקעה ראשונית
71	71	תג פסיבי
25,915	25,915	עלות שנתית ממוצעת (משתנה) לאחר הטמעה

9.1.2. אגף שוכבים

טבלה 20 – חישוב עלות קונפיגורציות אגף שוכבים

כמות נצרכת			
קונפיגורציה 3	קונפיגורציה 2	קונפיגורציה 1	אמצעי
5	8	14	קורא פסיבי
13	25	50	אנטנה מרחבית
1	1	1	אנטנה ליניארית (שער)
1	1	1	תוכנה
1	1	1	תחזוקה תוכנה וחומרה
164,000	200,000	273,000	עלות תשתית וציוד טכני
77	77	77	תג פסיבי
28,105	28,105	28,105	עלות שנתית ממוצעת (משתנה) לשנה הראשונה

9.1.3. טבלת עלויות מסכמת

להלן העלויות של הקונפיגורציות השונות באגפים השונים :

טבלה 21 – סיכום עלויות לקונפיגורציה – מהלכים ושוכבים

שוכבים			מהלכים		
קונפיגורציה 3	קונפיגורציה 2	קונפיגורציה 1	קונפיגורציה 2	קונפיגורציה 1	
164,000	200,000	273,000	119,000	123,000	עלות השקעה ראשונית לקונפיגורציה ב- ש

10. דיון ומסקנות

10.1. דיון ומסקנות - אגף מהלכים

הקונפיגורציות באגף המהלכים נבדלות זו מזו באופן קריאת החולים בכניסתם למערכת ובחדר ההמתנה. המשמעות העיקרית של הבדל זה מתבטאת בעלות הכספית של כל קונפיגורציה הנובעת מכמות וסוג האנטנות הנדרשות. לפיכך לא ציפינו לקבל הבדל ברמות הדיוק של המדדים השונים בין הקונפיגורציות. בדיון זה אנו נתמקד ברמות הדיוק שמערכת מסוג זה יכולה לספק עבור כל פרמטר וע"י שילוב שיקולי העלות נבחן את כדאיות המערכת.

מדד זמן שהייה: מיכולות הטכנולוגיות של ה-RFID הנחנו באפיון המערכת כי לא קיימת סטייה בין קריאות מערכת ה-RFID למצב האמיתי. לכן לקונפיגורציה אין השפעה על מדד זה ומערכת ה-RFID נותנת פתרון מלא למדידת זמן שהייה.

מדד עומס אחות: האנטנה הממוקמת מעל עמדת האחיות היא בעלת רדיוס כזה הגורם למצב בו האנטנה קולטת חולים אשר נחשבים "בטיפול" בזמן שהם אינם נמצאים בטיפול (חולים אשר לא ממתנים בחדר ההמתנה וצובאים על עמדת האחיות). מסיבה זו אנו רואים סטייה משמעותית המגיעה עד ל- 47% ביום חזק (לעומת 18% ביום ממוצע ו- 9% ביום חלש). ביום כזה כמות החולים הבוחרים להיעמד בקרבת דלפק האחיות ולא להמתין בחדר ההמתנה גדלה, מה שגורם לכך שיותר חולים נקראים ע"י האנטנה הממוקמת בעמדת האחיות.

פתרון אפשרי לבעיה זו היא לתחם את עמדת האחיות וליצור אזור חיץ מוגדר. מצב זה יהפוך פיזית את עמדת האחיות למעין חדר רופא ויעלה משמעותית את רמת הדיוק של המערכת, מצד שני הדבר לא יאפשר לאיש צוות לראות את החולים בכל שלב ולהגיב במהירות למצבי חירום רפואיים.

מדד עומס רופא: מכיוון שטיפול רופא מתבצע תמיד בחדר המיועד לכך עם חולה יחיד ולפי הגדרת הקונפיגורציות מערכת ה-RFID מספקת כיסוי מלא לאזור זה, אין אנו רואים סטייה במדידת פרמטר זה. לכן מערכת ה-RFID מספקת פתרון מלא במדידת פרמטר זה.

מדד מקום בתהליך: מדד זה מושפע, כמו עומס האחיות, מהמצב המתואר בדלפק האחיות. בנוסף, גם מדד זה מושפע מקצב ההגעה למערכת כאשר ביום חלש התקבלה רמת דיוק של כ-98%, 96% ביום ממוצע ו- 93% ביום חזק, ללא תלות בסוג הקונפיגורציה. ניתן לראות שמערכת ה-RFID, אפילו בימים חזקים מספקת רמת דיוק טובה שתוכל להשתפר עוד יותר אם ייושם הפתרון המוצע לעיל בנושא דלפק האחיות. מכיוון שרמות הדיוק זהות עבור שתי הקונפיגורציות, ההחלטה על בחירת הקונפיגורציה תושפע מעלות המערכות בלבד. עלות זו תלויה בגודלו הפיזי של חדר ההמתנה. חדר המתנה גדול ידרוש מספר אנטנות רב יותר לשם כיסוי מלא של אזור ההמתנה בקונפיגורציה השנייה וייקר את עלות מערכת ה-RFID.

10.2. דיון ומסקנות - אגף שוכבים

הקונפיגורציות באגף השוכבים נבנו כך שהרזולוציה עולה מהקונפיגורציה הראשונה לשלישית (אנטנה על כל מיטה, 2 מיטות ו-4 מיטות). בבניה זו ציפינו שרמת הדיוק תרד ועלות המערכת תקטן עם עליית הרזולוציה. בדיון זה נבחן עבור כל פרמטר עד כמה משפיעה הרזולוציה על רמת הדיוק וע"י שילוב שיקולי העלות נבחן את כדאיות המערכת.

מדד זמן שהייה: בדומה לאגף המהלכים, לא קיימת סטייה בין קריאות מערכת ה-RFID למצב האמיתי.

מדד עומס איש צוות: מתוצאותינו, למדנו כי הגורם המשפיע ביותר על הסטייה של מערכת ה-RFID מהמצב האמיתי הוא קליטה של איש הצוות במסדרון כמו בקונפיגורציה 3. קליטה זו יוצרת מספר לא מבוטל של טיפולים "פיקטיביים" ומגדילה משמעותית את עומס איש הצוות המתקבל מה-RFID. לדוגמא, במדד עומס אחות, ביום ממוצע אנו מגיעים לסטייה של כ- 0.84% בקונפיגורציות 1 ו-2 לעומת 1.82% בקונפיגורציה 3 – כלומר, הסטייה גדלה פי 2. יחד עם זאת, מדובר בסטייה יחסית קטנה בכל הקונפיגורציות (פחות מ- 5% אצל האחיות ו-2% אצל הרופא במקרה הקיצוני של קונפיגורציה 3 ביום חלש). הסטייה בעומס הרופא תמיד קטנה יותר מהסטייה בעומס האחיות מפני שהאחות "מסתובבת" יותר במסדרון מהרופא.

ראינו גם כי לסוג היום השפעה על הסטייה – ככל שהיום חלש יותר, הסטייה מהמדד האמיתי גדולה יותר. הדבר נובע מכך שביום חלש לאנשי הצוות יש יותר זמן פנוי להסתובב במסדרון. לכן, עבור מערכות בעלות אחוז גבוה של ימים חלשים או קצב הגעה יחסית נמוך, אנו נמליץ להימנע מלבחור בקונפיגורציה 3 בה נקבל אחוז סטייה גבוה יחסית.

במידת פרמטר עומס איש הצוות, מערכת ה-RFID נותנת אחוז דיוק של בין 95-98% ומספקת פתרון טוב למדידת פרמטר זה.

מדד עומס מיטות: בדומה לעומס איש צוות, גם במדידת עומס המיטות, הגורם היחיד המשפיע על הסטייה הוא קליטה במסדרון כמו בקונפיגורציה 3. הסיבה לכך היא שהיית חולה במסדרון ליד מיטה בדרכו לתפיסת מיטה במשך זמן העולה על זמן שהוגדר למערכת ה-RFID. קליטות אלו "מבלבלות" את מערכת ה-RFID וגורמות לסטייה במדידת הפרמטר. אי לכך, קונפיגורציות 1 ו-2 שאינן מכילות קליטה במסדרון נותנות פתרון מלא למדידת פרמטר זה.

ראינו גם כי לסוג היום השפעה על הסטייה – ככל שהיום חזק יותר, הסטייה מהמדד האמיתי גדולה יותר. ראינו במדידת עומס איש צוות כי סטייה כזו נוצרת מתנועה של אנשים במסדרון ובמקרה זה, מהחולים עצמם. תנועה זו גדלה ככל שהיום הוא חזק יותר ולכן נראה הפרשים גדולים יותר בימים אלו. לדוגמא, הסטייה במספר המיטות מגיעה ל- 1.3 מיטות ביום חזק לעומת 0.01 ביום חלש.

במידת פרמטר עומס המיטות, גם אם תבחר קונפיגורציה 3 בה אין דיוק מלא (כמו בקונפיגורציות 1 ו-2) מערכת ה-RFID נותנת אחוז דיוק של בין 95.5-98.5% ומספקת פתרון טוב למדידת פרמטר זה.

מקום בתהליך: במדידת פרמטר זה יש השפעה הן של קצב ההגעה והן של הקונפיגורציה. ראינו כי קונפיגורציה 1 היא יוצאת דופן וההשפעה של סוג היום על אחוז הדיוק אינה גדולה (אחוז דיוק של כ-99% ביום חלש לעומת 97% ביום חזק – 2% הפרש בלבד).

מניתוח התפלגות אחוז הדיוק אצל החולים ניתן לראות כי יש אחוז גבוה של חולים שעבורו אנו מזהים את המקום בתהליך באופן מדויק (90-100%). בקונפיגורציה 2 ו-3 נראה כי למרות נתון זה הממוצעים יורדים בצורה משמעותית כי יש חולים עבורם אחוז הדיוק נמוך מאוד (40-50%) והם מושכים את הממוצע למטה. בפרמטר זה אנו רואים את ההבדלים המשמעותיים ביותר בין הקונפיגורציות. ניקח לדוגמא יום ממוצע בו אחוז הדיוק בקונפיגורציה 1 הוא 97.4% לעומת 76.6% בקונפיגורציה 2 ומגיע עד 65% בקונפיגורציה 3. במדידת פרמטר מקום בתהליך נמליץ עבור מערכות שנותנות חשיבות גדולה לפרמטר זה לבחור בקונפיגורציה 1 שכן כל קונפיגורציה אחרת מספקת פתרון חלקי בלבד במיוחד עבור ימים חלשים.

לסיכום, אנו רואים כי ברוב הפרמטרים מערכת ה-RFID על כל תצורותיה מספקת פתרון טוב. בבוא הגורמים המוסמכים להחליט על קונפיגורציית המערכת עליהם לשקול את ההחלטה בהתאם לחשיבות כל אחד מהפרמטרים עבורם.

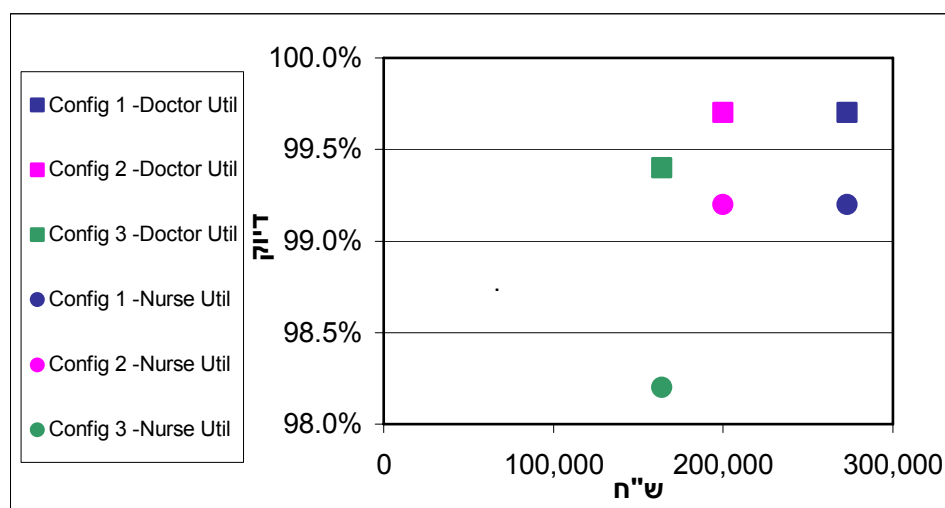
10.3. דיון ומסקנות - סיכום

בטבלה 22 מוצגות רמות הדיוק עבור הפרמטרים השונים בהתאם לקונפיגורציה הנבחרת ולעלות ההשקעה הכוללת. לדוגמא, עבור קונפיגורציה 2 בשוכבים וקונפיגורציה 1 במהלכים נקבל אחוז דיוק בפרמטר מקום בתהליך של 76.6 בשוכבים ו- 96.2 במהלכים ועלות של 323,000 ₪.

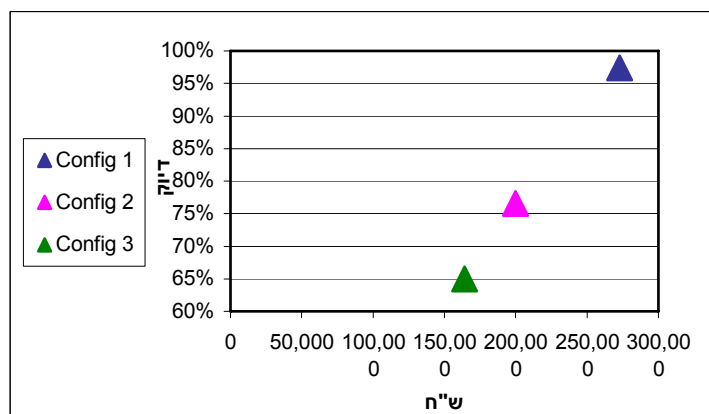
טבלה 22 – טבלת סיכום עלויות מול רמות דיוק

קונפיגורציית שוכבים	קונפיגורציית מהלכים	אחוז דיוק זמן שהייה	אחוז דיוק עומס אחות	אחוז דיוק עומס רופא	אחוז דיוק עומס מיטות	אחוז דיוק מקום בתהליך	עלות השקעה כוללת (₪)
1	1	100:100	99.2:81.5	99.7:100	100	97.4:96.2	396,000
	2	100:100	99.2:81.7	99.7:100	100	97.4:96.2	392,000
2	1	100:100	99.2:81.5	99.7:100	100	76.6:96.2	323,000
	2	100:100	99.2:81.7	99.7:100	100	76.6:96.2	319,000
3	1	100:100	98.2:81.5	99.4:100	97.2	65.0:96.2	287,000
	2	100:100	98.2:81.7	99.4:100	97.2	65.0:96.2	283,000

בבוא הגורמים המוסמכים לקבל החלטה בנוגע לסוג המערכת המוטמעת הם יוכלו להיעזר בטבלה זו ככלי תומך החלטה הממקם את אופי המערכת על שני צירים – עלות מול דיוק (תועלת).
איור 30 ו- 31 מציגים את פיזור דיוק הפרמטרים השונים באגף השוכבים אל מול העלות ע"פ הקונפיגורציות השונות:



איור 30 – עלות מול דיוק עבור עומסי איש הצוות אגף שוכבים



איור 31 – עלות מול דיוק עבור מקום בתהליך אגף שוכבים

10.4. דיון ומסקנות – מתווה להמשך

פרויקט זה הינו אבן דרך בתהליך יישום והטמעה מלאה של מערכות RTLT במלר"ד רמב"ם. בפרויקט זה נבדקה הייתכנות התפעולית של הטמעת מערכות RFID והראנו כי הטכנולוגיה אכן מסוגלת לענות על הצרכים שהוגדרו.

בעתיד, לאחר יישום מלא של מערכות RTLT במלר"ד, מערכות הסימולציה יוכלו להתבסס על פלטי ה-RFID לצורך חיזוי עתידי של מצב המערכת. בצורה כזו, מנהלי המלר"ד יוכלו לתכנן בזמן אמת ניצול יעיל של המשאבים וכוח אדם על סמך נתונים עכשוויים ומדויקים.

אנו ממליצים לפרויקטים עתידיים ליצור ממשק בין כלי הסימולציה למאגר הנתונים של מערכת ה-RFID שקיימת במלר"ד.

שימוש עתידי אפשרי נוסף בכלי הסימולציה שבנינו הוא במערכות שירות נוספות. מגנריות המודל, ניתן להקביל את מודל הסימולציה למערכות נוספות כגון בנק, קופת חולים ועוד. אנו ממליצים לפרויקטים עתידיים לבחון את כדאיות הטמעת מערכות דומות במוסדות שונים.

Amini, M.,_Otondo, R., Jenz ,B., Pitts ,M., " Simulation Modeling and Analysis: A Collateral Application an Exposition of RFID Technology", *production and operationl management*, Vol. 16 ,No. 5 ,pp 523-524 ,September October 2007.

Bardman , J., " Applications of ContextAware Computing in Hospital Work – Examples and Design Principles" , *ACM Symposium on Applied Computing*, Vol 1417, pp 1574-1579, March 2004.

Cangialosi , A., Monaly , J., Yang , S., "Leveraging RFID in Hospitals: Patiant Life Cycle and Mobility Perspectives", *IEEE Applications & Practice* , Vol 1, No 2, pp 11-17, September 2007.

Chawla , V., Ha , D., "An Overview of Passive RFID", *IEEE Applications & Practice* , Vol 1, No 2 ,pp 11-17 ,September 2007.

Green ,L., "Queueing Analysis in Healthcare", Patient Flow: Reducing Delay in Healthcare Delivery., Chapter 10, Vol 91, pp 281-308 , October 2006.

Hall ,R., Belson ,D., Murali ,P., Dessouky ,M., "Modeling Patient Flows Through The Healthcare System" Patient Flow: Reducing Delay in Healthcare Delivery., Chapter 1, Vol 91, pp 1-45 , October 2006.

Hoot ,N., LeBlanc ,L., Jones ,L., Levin ,S., Zhou ,C., Gadd ,C., Aronsky ,D., "Forecasting Emergency Department Crowding: A Discrete Event Simulation" ,*Annals of Emergency Medicine* ,Vol 52 ,No.2 , August 2008.

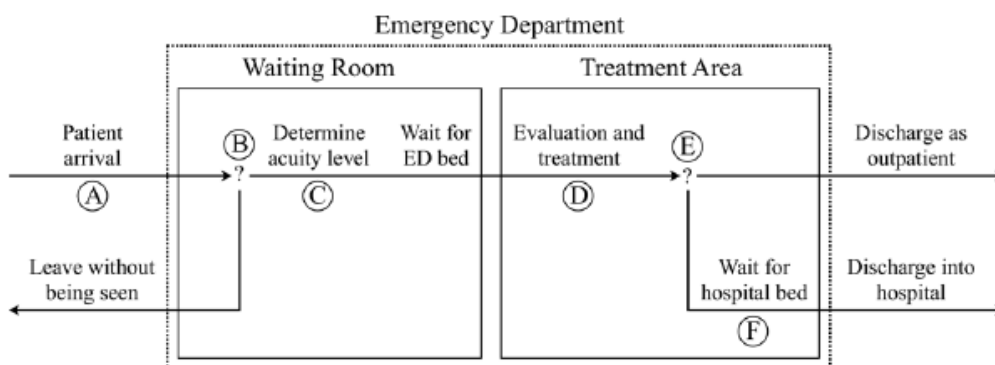
Isken ,M., Sugumaran, V.,Ward, T., Minds, D., Ferris ,W., " Collection and Preparation of Sensor Network Data to Support Modeling and Analysis of Outpatient Clinics", *Health Care Management Science*, Vol 8,pp 87–99, 2005

Lis ,C., Liuab, L., Cbenb, S., Wub, C., Huang, C., Cheod, X., " Mobile Healthcare Service System Using RFID", *International Conference on Networking, Sensing & Control IEE International Conference on*, Vol 2, pp 1014-1019, March 21-23, 2004

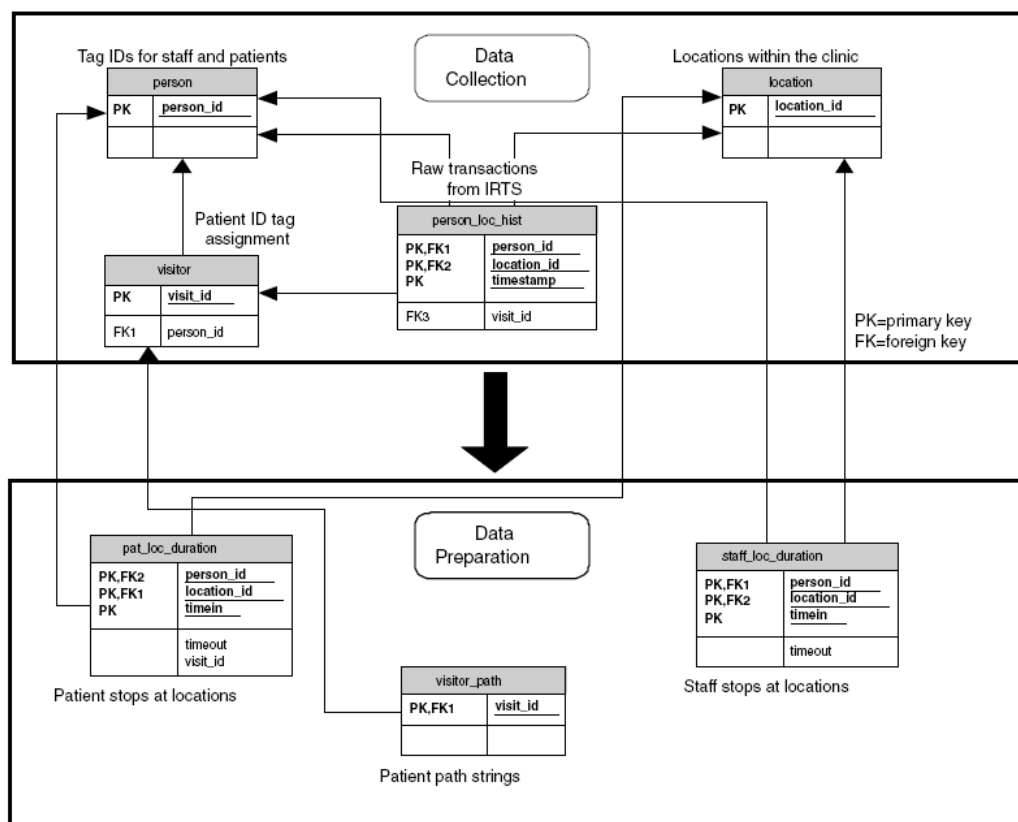
Sinreich, D., Marmor ,Y., "Emergency department operations: The basis for Developing a simulation tool", *IEE Transactions*, Vol 37, pp 233-245, 2005.

Internet marketing website: www.nextaq.com

נספחים



איור 32 – מודל הסימולציה של Hoot et al 2008



איור 33 – בסיס הנתונים של Isken & Sugumara 2005

(RFID (Radio Frequency Identification) - היא טכנולוגיה של תיוג אלקטרוני באמצעות גלי רדיו. הטכנולוגיה מבוססת על התקנים קטנים (תגים) המוצמדים לעצם אותו מעוניינים לזהות, ומאחסנים מידע הניתן לקריאה על ידי מכשיר מתאים באופן אלחוטי תוך שימוש בגלי רדיו. הטכנולוגיה מסוגלת ליצור מסד נתונים אשר יורכב ממספר גדול מספיק של תצפיות, כך שניתן לבסס עליו ניתוחים סטטיסטיים ברמת מובהקות גבוהה.

3.1 תדרי רדיו (RF) – מושגים בסיסיים בטכנולוגיה

- הגל הוא הפרעה המובילה אנרגיה מנקודה לנקודה. הגלים האלקטרומגנטיים נוצרים מתנועת אלקטרונים ומורכבים משדות חשמליים ומגנטיים מתנדדים. גלים אלה מסוגלים לעבור דרך מספר סוגי חומרים שונים.
- נקודת הגל הגבוהה ביותר נקראת שיא, נקודתו הנמוכה ביותר נקראת שקע.
- המרחק בין שני שיאים או שקעים רצופים נקרא אורך הגל.
- אורך גל מלא אחד נקרא מחזור.
- פרק הזמן להשלמת מחזור אחד נקרא שיעור התנודה.
- מספר המחזורים בשנייה נקרא תדירות הגל. התדירות נמדדת ביחידות הרץ (Hz). שיעור תנודת הגל שתדירותו 1 הרץ הוא מחזור אחד לשנייה. מקובל לבטא תדירות ב-KHz, MHz ו-GHz.
- אמפליטודה היא גובה השיא או עומק השקע מנקודה ללא הפרעה. גובה השיא נקרא גם אמפליטודה חיובית ועומק השקע -אמפליטודה שלילית.
- גלי או תדרי הרדיו (RF) הם גלים אלקטרומגנטיים בעלי אורך גל בין 0.1 ס"מ ל-1000 ק"מ שתדירותם נעה בין 30 Hz ל-300 GHz. סוגים נוספים של גלים אלקטרומגנטיים הם גלי אינפרא-אדום, גלי האור, גלי אולטרה-סגול, קרני גאמה, קרני רנטגן וקרניים קוסמיות.
- ה-RFID בדרך כלל משתמש בגלי הרדיו שתדירותם בין 3 KHz ל-5.8 GHz.
- הגל הרציף (CW) הוא גל רדיו עם תדירות ואמפליטודה קבועות שלא מכיל בתוכו מידע כלשהו, אך ניתן לוויסות למטרת שידור אות.
- אפנון הוא תהליך שינוי תכונות גל הרדיו לקידוד אותות המסוגלים לשאת מידע.
- גלי הרדיו עלולים להיות מושפעים מהחומר שדרכו הם עוברים, החומר נקרא ידיותי ל-RF במידה והוא מאפשר לגלי הרדיו לעבור דרכו בתדירות מסוימת ללא אובדן אנרגיה משמעותי. החומר נקרא אטום ל-RF במידה והוא חוסם, משקף ומפזר את גלי הרדיו. החומר יכול גם לאפשר לגל לעבור דרכו עם אובדן משמעותי של אנרגיה. סוג כזה של חומרים מכונה סופג ה-RF. מידת האטימות או הספיגה היא יחסית, משום שמאפייני אטום ה-RF וסופג ה-RF תלויים גם בתדירות. מכאן ניתן להסיק שחומר האטום ל-RF בתדירות מסוימת יכול לתפקד כחומר ידיותי ל-RF בתדירות אחרת.

3.2 מערכת ה-RFID

מערכת ה-RFID היא אוסף משולב של מרכיבים המיישמים את פיתרון ה-RFID. המערכת כוללת את המרכיבים הבאים:

- תג וקורא - שני מרכיבים אלה נחוצים לכל סוגי מערכות ה-RFID.
 - אנטנת הקורא - מרכיב נחוץ לכל מערכת. כיום ניתן למצוא גם קוראים עם אנטנה מובנית.
 - בקר - זהו מרכיב נחוץ ומובנה בתוך קוראי הדור החדש.
 - חיישן, מפעיל ומערכת התראה - נדרש שימוש במרכיבים אלה לקלט חיצוני ולפלט של המערכת.
 - מערכת חומרה והנחייה - באופן תיאורטי, מערכת ה-RFID יכולה לתפקד עצמאית ללא מרכיב זה. באופן מעשי, המערכת היא כמעט חסרת ערך ללא מרכיב החומרה וההנחייה.
 - תשתית התקשורת - מרכיב נחוץ זה הוא שילוב של רשת קווית ואלחוטית ונדרשת תשתית תקשורת סדרתית לקישור יעיל בין המרכיבים המופיעים ברשימה לעיל.
- למערכת ה-RFID שני חלקים – הראשון (Edge) נקבע ע"י חוקי הפיזיקה והחלק השני מערב את טכנולוגיית המידע (IT). שני החלקים הם בעלי אותה רמת חשיבות. מערכת ה-IT היא חסרת ערך במידה והמידע המתקבל מן החלק הפיזי משובש ולא אמין. בדומה לכך, אין שימוש לחומרה מכוונת היטב במידה ומערכת ה-IT המשותפת אינה מנהלת ומעבדת את המידע היוצא.
- נסקור לעומק את מרכיבי המערכת החשובים:

3.2.1 תג:

מכשיר המאחסן ומשדר מידע לקורא באמצעות גלי רדיו. קיימים שלושה סוגי תגים: פאסיביים, אקטיביים ואקטיביים למחצה.

3.2.1.1 התגים הפאסיביים:

התג הפאסיבי מורכב ממיקרו שבב ואנטנה. לסוג זה של תג RFID אין מקור מתח פנימי משלו והוא עושה שימוש באנרגיה הנפלטת מהקורא בכדי לטעון עצמו ולשדר את המידע המאוחסן בו לקורא. התג הפאסיבי מתוכנן באופן פשוט למדי ואין לו חלקים נעים. כתוצאה מכך, יש לו תוחלת חיים ארוכה והוא עמיד בפני תנאי סביבה קשים (טמפר' קיצונית, כימיקלים וכדומה). לפי נוהל התקשורת בין התג לקורא, הקורא תמיד יוצר את הקשר הראשון וממתין לתגובת התג מסוג זה. השראת הקורא (השראה אלקטרומגנטית) הינה הכרחית לשידור מידע.

התג הפאסיבי קטן יותר מהתג האקטיבי או האקטיבי למחצה. הוא בעל טווחי קריאה מגוונים בין 2.5 ס"מ לכ-9 מ'. מחירו הוא בדרך כלל זול יחסית לשני תגים אלה.

כרטיס חכם הוא סוג מיוחד של תג ה-RFID הפאסיבי שנעשה בו היום שימוש נרחב במגוון תחומים (לדוגמה, תגיות זיהוי באבטחה). המידע על גבי כרטיס זה נקרא כאשר הוא נמצא בקרבה לקורא, אך אינו מצריך מגע פיזי עימו.

3.2.1.2 התגים האקטיביים :

תגי RFID אקטיביים הינם בעלי מקור מתח פנימי (לדוגמה: סוללה, מקור מתח סולארי ורכיבים אלקטרוניים לביצוע משימות מוגדרות. התג האקטיבי משתמש במאגר המתח הפנימי שלו על מנת לשדר את המידע לקורא. הוא לא זקוק להשראה אלקטרומגנטית מהקורא לשידור מידע.

הרכיבים האלקטרוניים הפנימיים יכולים להכיל בתוכם מיקרו-מעבדים, חיישנים ונקודות קלט/פלט המופעלות ע"י מקור מתח פנימי. כתוצאה מכך, לרכיבים אלה יכולת למדוד את טמפרטורת הסביבה ולחשב את הטמפרטורה הממוצעת לפי הנתונים. בנוסף, הם יכולים להשתמש בנתונים אלה להגדרת פרמטרים נוספים כגון תוקף הפריט המוצמד. התג יכול לשדר מידע זה לקורא (בעזרת רכיב הזיהוי הייחודי שלו).

ניתן לדמות את התג האקטיבי למחשב נייד עם מאפיינים נוספים (לדוגמה, חיישן או מערכת חיישנים). לפי נוהל התקשורת בין התג לקורא, התג מסוג זה תמיד יוצר קשר ראשון וממתין לתגובת הקורא. בשל העובדה שהשראת הקורא אינה נחוצה להעברת המידע, התג האקטיבי מסוגל לשדר את המידע שלו לסביבתו גם ללא נוכחות הקורא. סוג זה של תג אקטיבי שמעביר מידע לאורך זמן עם או בלי נוכחות הקורא נקרא גם משדר.

סוג אחר של תג אקטיבי נכנס למצב "שינה" או מתח נמוך בהיעדר פקודות מן הקורא. הקורא מעיר סוג כזה של תג ממצב "שינה" ע"י מתן פקודה מתאימה. מצב זה חוסך את אנרגיית הסוללה ולכן לתג מסוג זה תוחלת חיים ארוכה יותר בהשוואה לתג המשדר האקטיבי. בנוסף לכך, בשל העובדה שהתג משדר לאחר מתן פקודה בלבד, כמות הרעש הנגרמת ע"י גלי הרדיו בסביבתם פוחתת. סוג זה של תג נקרא משדר / מקלט (או משדר-משיב).

מרחק הקריאה מהתג האקטיבי יכול להגיע לכ - 30.5 מ' או יותר כאשר נעשה שימוש במשדר האקטיבי של תג כזה.

התג האקטיבי מורכב מן החלקים הבאים:

- מיקרו-שבב: גודל המיקרו מעבד ורמת יכולתו בדרך כלל גבוהים יותר ממיקרו שבבים המצויים בתגים הפאסיביים.
- אנטנה: בעלת יכולת לשדר את אותות התג ולקבל בתגובה את אותות הקורא. במקרה שלהתג האקטיבי למחצה או הפאסיבי, האנטנה מורכבת מרצועת מתכת דקה כמו נחושת.
- אספקת מתח פנימית: כל התגים האקטיביים נושאים מתח פנימי על מנת לספק מתח לרכיבים הפנימיים ולשדר מידע. במקרה של שימוש בסוללה, התג אקטיבי שורד בדרך כלל בין שנתיים ל-7 שנים בהתאם לאורך חיי הסוללה. ככל שקצב שידור המידע של התג נמוך יותר, כך חיי התג והסוללה ארוכים יותר. החיישנים הפנימיים והמעבדים צורכים אנרגיה ולכן עלולים לקצר את חיי הסוללה. כאשר סוללת התג האקטיבי מתפרקת לחלוטין, התג מפסיק לשדר הודעות. הקורא אינו יודע להבדיל בין פירוק הסוללה להיעלמות העצם המתויג מטווח קריאתו, אלא אם כן התג משדר את מצב הסוללה לקורא.
- רכיבים אלקטרוניים פנימיים: הרכיבים הפנימיים בתג מאפשרים לו לתפקד כמשדר, או לחלופין לבצע משימות מוגדרות כמו תכנות, הצגת ערכיהם של פרמטרים מסוימים, תפקוד כחיישן וכדומה.

רכיבים אלו יכולים גם לספק אופציה לחיבור חיישנים חיצוניים. תג אקטיבי יכול לבצע מגוון רחב של משימות בהתאם לסוג החיישן המוצמד. יש לציין כי לתג האקטיבי אין הגבלת גודל כל עוד השימוש בו יעיל, מכאן שהתגים האקטיביים יכולים להיות מותאמים למגוון רחב של יישומים שחלקם ייתכן ולא קיימים היום.

3.2.1.3 התגים האקטיביים למחצה:

לתגים האקטיביים למחצה מקור מתח פנימי ורכיבים אלקטרוניים לביצוע משימות מוגדרות. מקור מתח פנימי מספק אנרגיה להפעלת התג, אולם התג משתמש באנרגיה הנפלטת מהקורא לשידור המידע. בתקשורת תג-קורא, לתג מסוג זה הקורא תמיד יוצר קשר ראשון, וממתין לתגובת התג. יתרון השימוש בתג זה על פני התג הפאסיבי הוא בכך שהתג לא זקוק לאות מהקורא על מנת להפעיל את עצמו, והוא מסוגל לקרוא ממרחקים גדולים יותר. בשל העובדה שלא נדרש זמן לטעינת התג האקטיבי למחצה, תג זה יכול להיות בטווח קריאה תוך זמן קצר יותר. כתוצאה מכך, גם במידה והעצם המתויג נע במהירות גבוהה, המידע שעל גביו עדיין ניתן לקריאה. ייתכן שהתג האקטיבי למחצה יפגין יכולת קריאה טובה יותר לתיוג חומרים אטומים ל – RF וסופגי ה – RF. מרחק הקריאה של התג האקטיבי למחצה יכול להגיע לכ 30.5 מ' בתנאים אידיאליים.

3.2.2 קוראים

קורא ה- RFID הוא התקן המסוגל לקרוא ולכתוב מידע לתגי ה RFID התואמים. פעולת כתיבת מידע על התג ע"י הקורא נקראת יצירת התג. תהליך יצירת התג והתאמתו הייחודית לעצם נקרא הפעלת תג. הזמן שבמהלכו הקורא יכול לפלוט אנרגיית RF לקריאת תגים נקרא מחזור חובה של הקורא. מחזורי החובה של הקורא מוגבלים בהתאם לחוק הבינלאומי. הקורא משמש כמערכת עצבים מרכזית של כל מערכת חומרת ה- RFID - יצירת קשר ובקרה על מרכיב זה היא המשימה החשובה ביותר של כל ישות המתממשקת עם החומרה. לקורא מספר רכיבים עיקריים:

- משדר
- מקלט
- מיקרו מעבד
- זיכרון
- ערוצי קלט / פלט לחיישנים חיצוניים, מפעילים, ומערכות התראה.
- בקר
- ממשק התקשורת
- מתח

3.2.3 אנטנת הקורא:

הקורא מתקשר עם התג באמצעות אנטנה/ות - התקן נפרד שמחובר פיזית לקורא באחת מנקודות החיבור באמצעות כבל שאורכו מוגבל בד"כ ל 1-5 מ'. ניתן לחבר עד ארבע אנטנות לקורא אחד. האנטנה משדרת אות RF למשדר הקורא, ומקבלת את תגובת התג לאזור הקליטה של הקורא, מכאן שמיקום תקין של אנטנות הוא הכרחי לדיוק טוב בקריאה. בנוסף לכך. האנטנות מובנות בתוך חלק מהקוראים. בדרך כלל, קורא ה- RFID נבנה בצורת קופסא מלבנית או מרובעת.

3.2.4 בקר :

הבקר הוא סוכן מתווך המאפשר לישות חיצונית לתקשר ולעקוב אחרי התנהגות הקורא יחד עם מערכות התראה ומפעילים הקשורים לקורא זה. הבקר הוא המרכיב היחיד של מערכת ה-RFID שדרכו מתאפשרת תקשורת הקורא, אין ישות נוספת המעניקה לו יכולת זו. הבקרים יכולים להיות מובנים בתוך הקורא או כרכיבים נפרדים. על מנת לאתר מידע השמור על גבי הקורא, המחשב צריך להשתמש בבקר. הבקר משתמש גם בממשק תקשורת להתקשרות עם ישויות חיצוניות.

3.2.5 תשתית התקשורת :

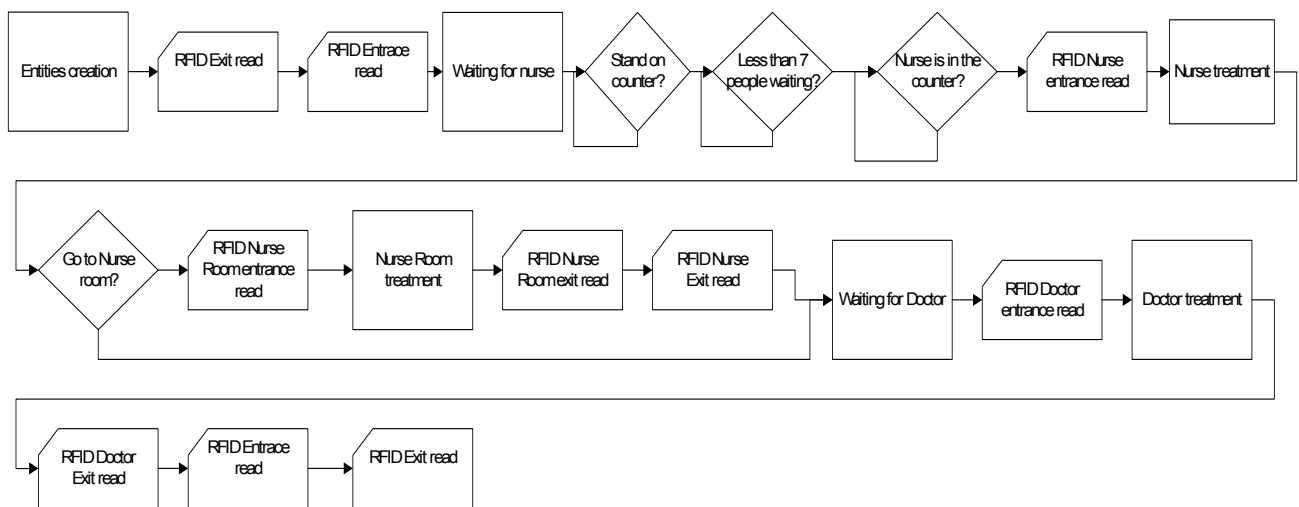
מרכיב זה מספק התקשורת ומאפשר אבטחה וניהול אינטגרטיבי של המערכת ושל מרכיבי ה-RFID השונים, ולכן משמש כחלק בלתי נפרד מהמערכת. הוא כולל רשת קווית ואלחוטית, חיבורים רצופים בין הקוראים, בקרים ומחשבים. רשת אלחוטית יכולה להיות אישית (PAN), מקומית (LAN) או מורחבת (WAN). רשתות תקשורת לווין לדוגמה, המשתמשות בתחום גלי ה-L הופכות להיות גם הן לחלק ממערכות ה-RFID הצריכות לעבוד בסביבה גיאוגרפית נרחבת מאוד שבה שליטת תשתיות הקורא אינה מובטחת.

3.3 חוזקות ה-RFID :

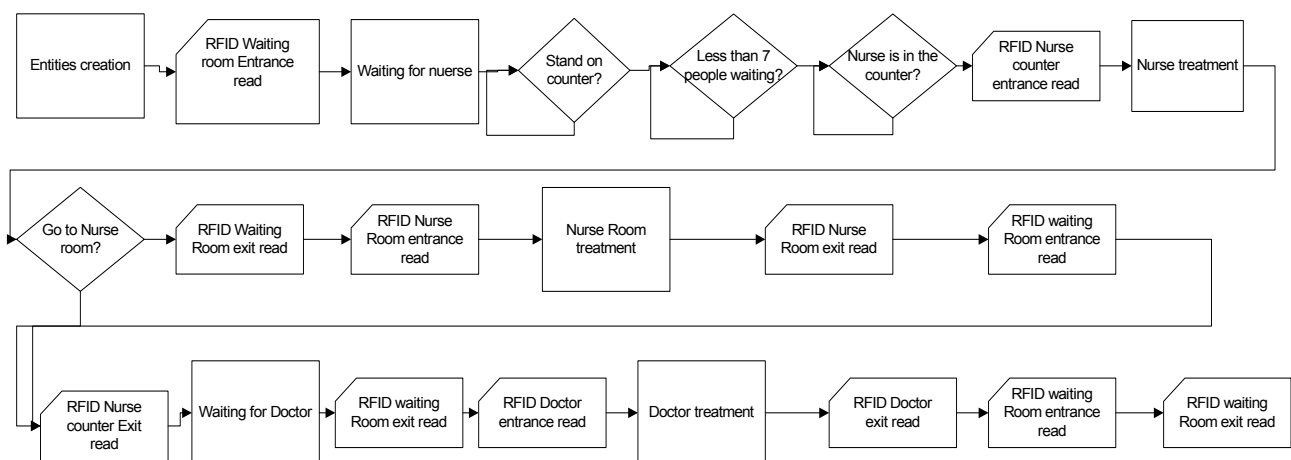
- חוסר מגע – תג ה-RFID ניתן לקריאה ללא מגע פיסי עם הקורא.
- מידע הניתן לכתיבה – מידע שעל גבי תג הכותב -קורא (RW) ניתן לשכתוב מספר רב של פעמים.
- ללא קו ראייה – תגי ה-RFID בד"כ לא מצריכים קו ראייה לקריאת התג ע"י הקורא.
- מגוון טווחי הקריאה – לתג ה-RFID טווחי קריאה הנעים בין סנטימטרים בודדים לעשרות מטרים.
- טווח זיכרון רחב – לתג ה-RFID יכולת לאחסן כל כמות מידע עד לכמות בלתי מוגבלת באופן מעשי.
- תמיכה לקוראי התג המנוונים - יש אפשרות להשתמש בקורא ה-RFID לקריאה אוטומטית של מספר תגי RFID בטווח הקריאה תוך פרק זמן קצר.
- עמידות – תגי ה-RFID מסוגלים לשרוד בתנאי סביבה קשים. לתג ה-RFID הפאסיבי ישנם מעט חלקים ניידים, ולכן ביכולתו לעמוד בפני תנאי סביבה קשים כמו חום, לחות, כימיקלים רעילים, הפרעות מכאניות ומתח. לדוגמה, ישנם תגים פאסיביים היכולים לשרוד בטמפרטורות שבין 40 ל 204 מעלות צלסיוס. בדרך כלל, תגים אלה נבנים בהתאם לסביבה של יישום ספציפי. כיום, לא קיים תג המסוגל לעמוד בפני כל תנאי הסביבה, התג האקטיבי והאקטיבי למחצה מכילים רכיבים אלקטרוניים פנימיים עם סוללה ולכן הם פחות עמידים לנזק בהשוואה לתג הפאסיבי. בנוסף, ככל שהתג עמיד יותר, מחירו גבוה יותר(בד"כ).
- ביצוע משימות חכמות – תג ה-RFID יכול להיות מתוכנן לביצוע משימות נוספות, כגון מדידת טמפרטורה ולחץ מלבד היותו נושא ומשדר מידע.

3.4 חולשות ה-RFID

- תפקוד דל בנוכחות עצמים אוטומי RF וסופגי RF התלוי בתדירות. הטכנולוגיה הנוכחית אינה מאפשרת עבודה תקינה עם חומרים אלה, ובמקרים מסוימים יוצאת מכלל פעולה.
- מושפע מגורמים סביבתיים - תנאי הסביבה יכולים להשפיע על תפקוד פתרונות ה-RFID בצורה משמעותית. במידה ובסביבת המערכת הפועלת נמצאות כמויות רבות של מתכות, נוזלים וכדומה, עלולה להיות השפעה על דיוק קריאת התגים, התלוי בתדירות. השתקפות אותות של אנטנת הקורא על עצמים אוטומי RF גורמת לתופעת ריבוי הנתיבים. בסביבות מסוג זה הדרך הבטוחה היא לספק קו ראייה ישיר לתגים מן הקורא. למרות מרחק קריאת התג, אנרגיית הקורא והתקן האנטנה הם הפרמטרים העיקריים הדרושים להתקנה במקרים אלה למניעת השפעת הסביבה, ואילו קו הראייה עוזר להגיע לתצורה זו. במקרים מסוימים הדבר אינו אפשרי (לדוגמה, בסביבה בה ישנה תנועה ערה של בני אדם). גוף האדם מכיל כמות גדולה של מים, שהם סופגי RF על תדרי ה-UHF והמיקרוגל הגבוהים. כתוצאה מכך, כאשר אדם נמצא בין התג לקורא קיים סיכוי גבוה שהקורא לא יהיה מסוגל לקרוא את התג לפני שהאדם יעזוב את הנקודה. בנוסף לכך, נוכחות של כל רשת אלחוטית בטווח פעילות המערכת עלולה להפריע לפעילות הקורא. מנועים חשמליים ובקרי המנועים יכולים להוות מקור לרעש העלול להשפיע על תפקוד תקין של הקורא. חלק מרשתות אלחוטיות מקומיות (LAN) עלולים להפריע לקורא בטווח של 900 MHz. בעיה זו קיימת לרוב בהתקנים שבהם ציוד ה-WLAN אינו משודרג.
- הגבלה על קריאות התג - כמות התגים הנקראים תוך פרק זמן מסוים היא מוגבלת. לדוגמה, כיום הקורא מסוגל לזהות מספר תגים בשנייה. על מנת להגיע למספר זה, הקורא צריך לקרוא את תגובות התגים כמה מאות פעמים בשנייה. הסיבה לכך היא שהקורא צריך לפתח סוג של אלגוריתם אנטי התנגשותי לזיהוי תגים אלה: לזיהוי תג בודד, הקורא צריך לרדת בטווח ערכים אפשריים. כתוצאה מכך, נדרשות מספר קריאות של תגובות התג לפני שהקורא יוכל יחשב את נתוניו. ההגבלה היא על מספר הקריאות שהתג יכול לבצע תוך יחידת זמן, המכתיבה לאחר מכן את ההגבלה על מספר התגים המזוהים תוך אותו פרק הזמן. שיפור טכנולוגיית הקריאה תגדיל ללא ספק את מספר התגים שיהיה ניתן לזהותם תוך שנייה אחת, אך מספר זה תמיד יהיה מוגבל עד לתקרה מסוימת.
- מושפע מהחומרה - תיתכן השפעה שלילית של החומרה על פיתרון ה-RFID במידה והחומרה לא הותקנה כראוי. התנגשות הקורא מתרחשת בעת חפיפת אזורי הכיסוי של שני הקוראים ואות של אחד הקוראים מתערב בשני, באזור כיסוי משותף. נושא זה חייב להילקח בחשבון בשלב תכנון מערכת ה-RFID, אחרת עלולה לחול הידרדרות בתפקוד המערכת.
- טכנולוגיה לא מספיק בשלה - ההתפתחות המהירה של טכנולוגיית ה-RFID ראויה להערכה אך יחד עם זאת שינויים מהירים בטכנולוגיה זו עלולים לגרום לבעיות אם לא נוקטים באמצעי זהירות מתאימים.



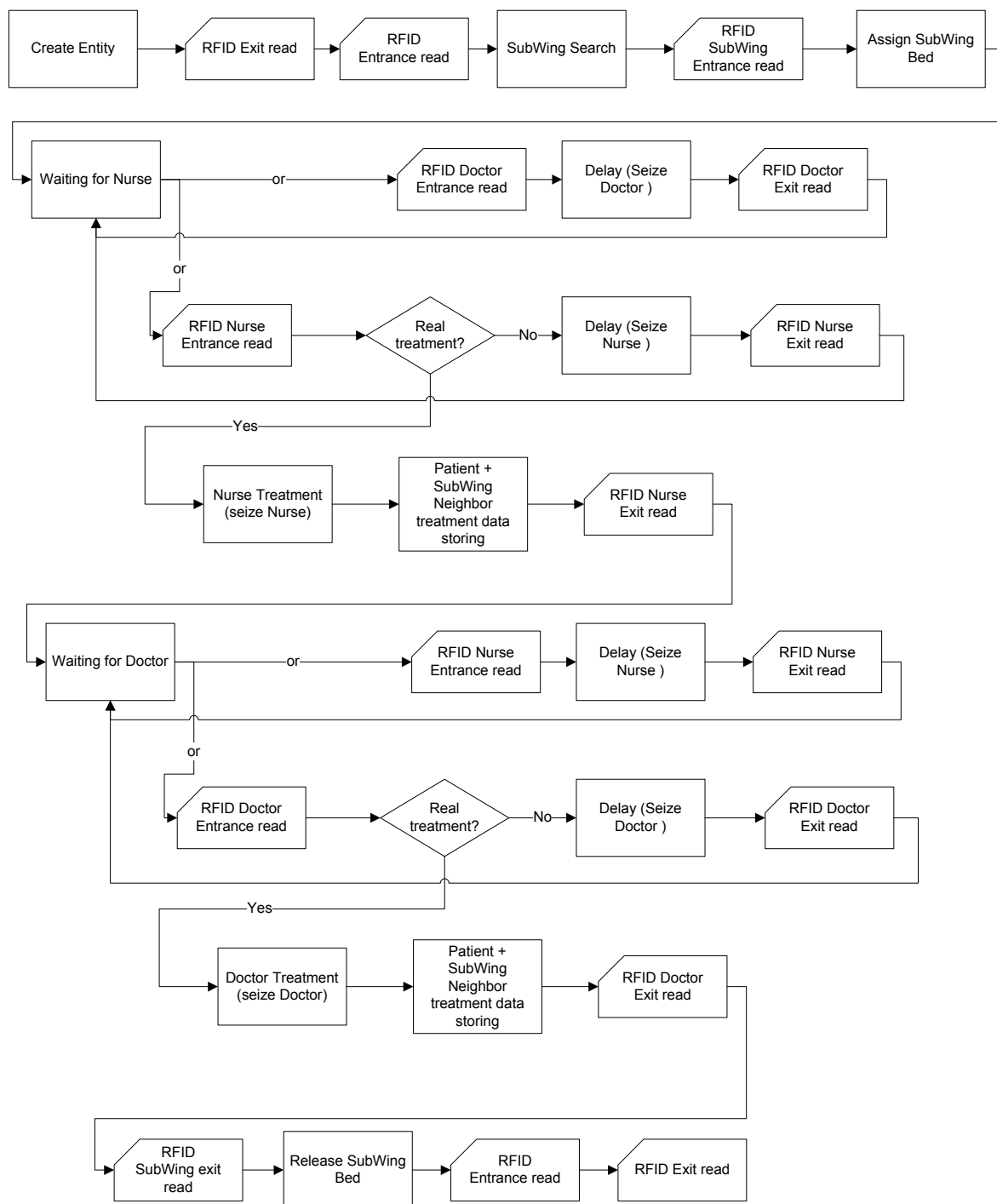
איור 34 – תרשים זרימה אגף מהלכים קונפיגורציה 1



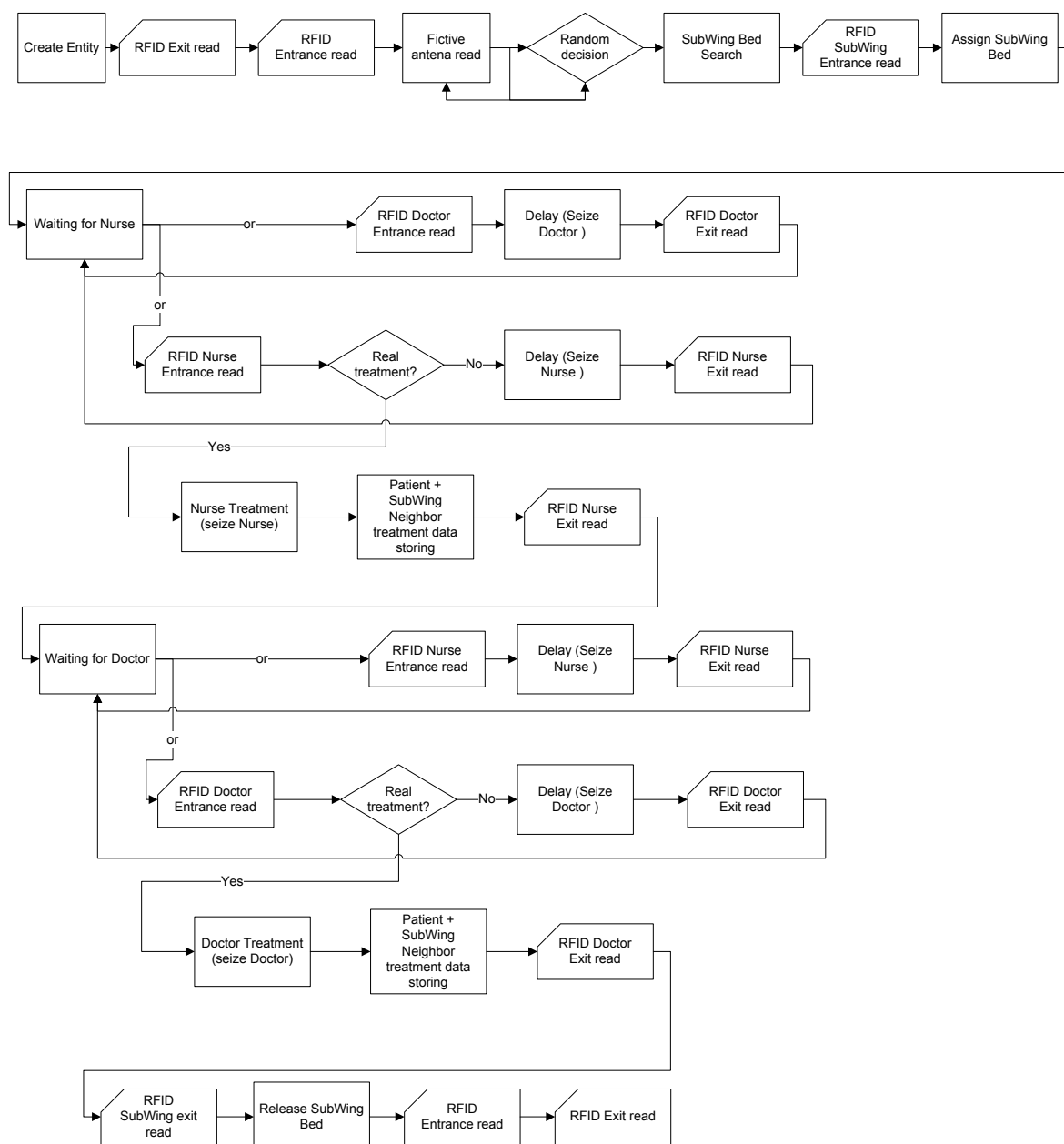
איור 35 – תרשים זרימה אגף מהלכים קונפיגורציה 2



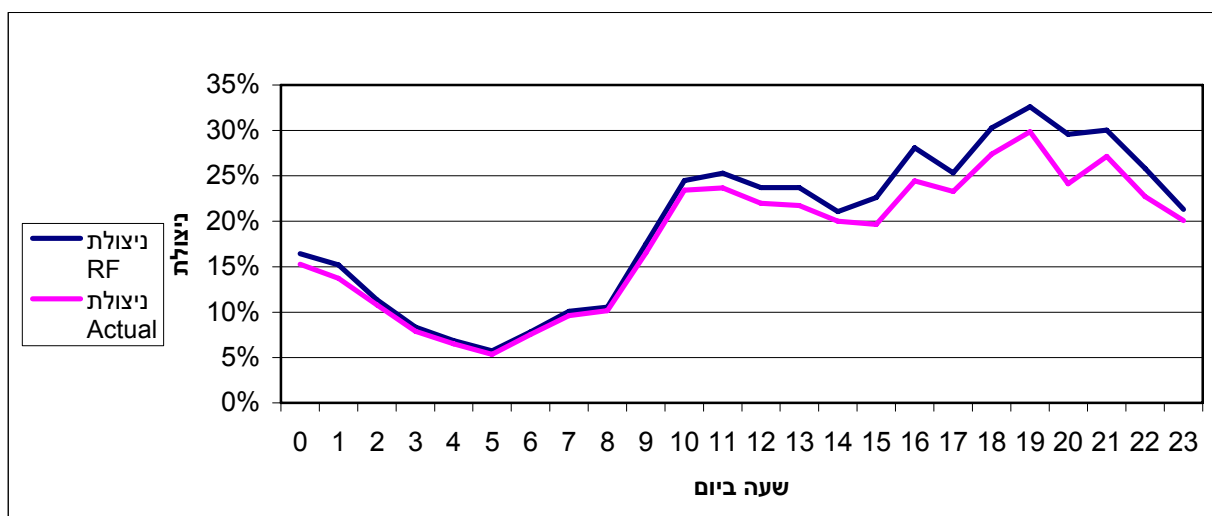
איור 36 – תרשים זרימה אגף שוכבים קונפיגורציה 1



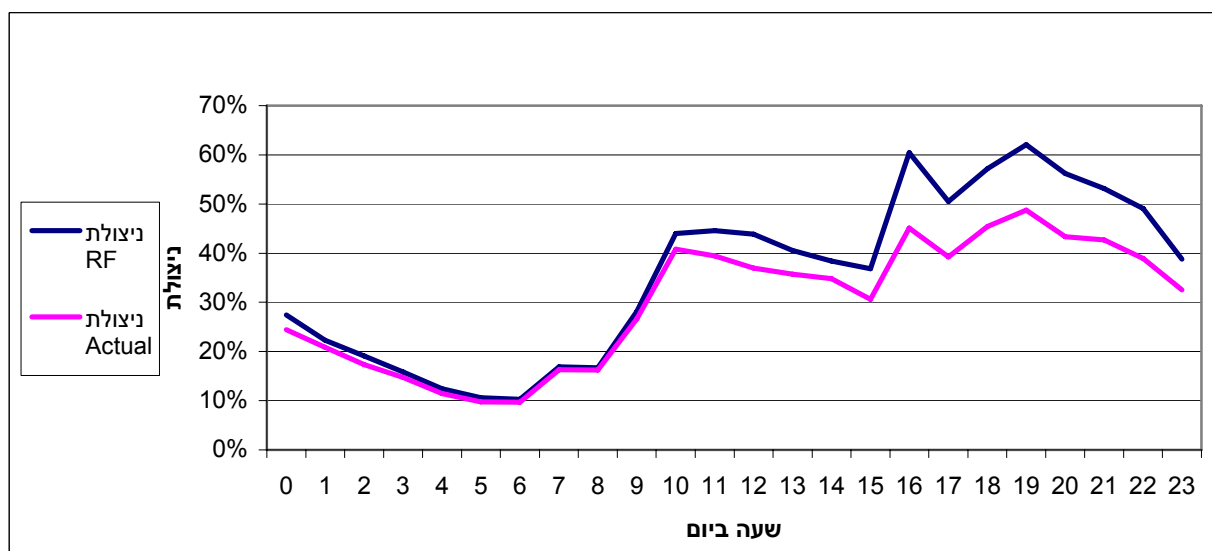
איור 37 – תרשים זרימה אגף שוכבים קונפיגורציה 2



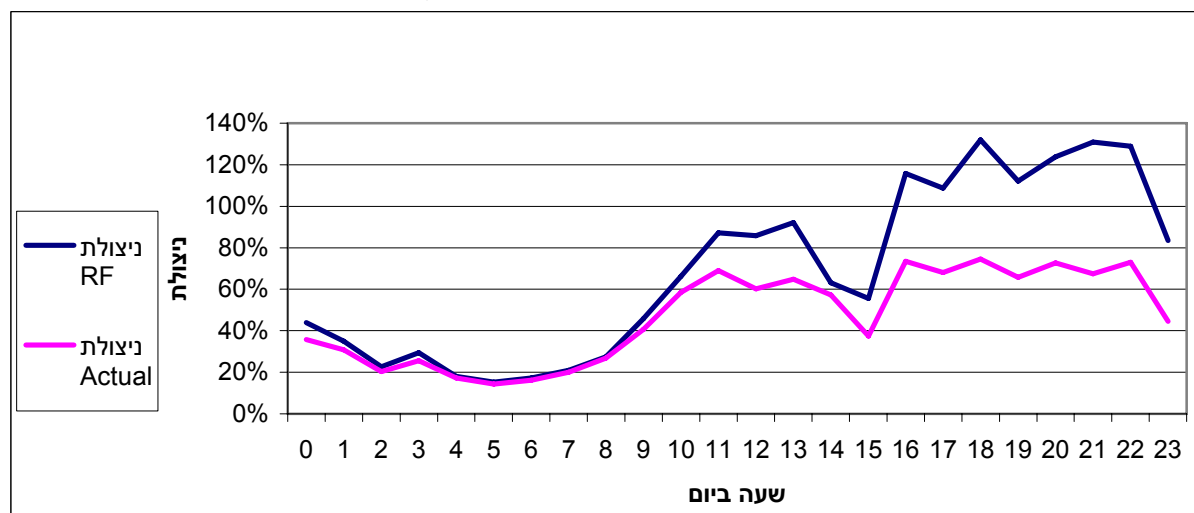
איור 38 – תרשים זרימה אגף שוכבים קונפיגורציה 3



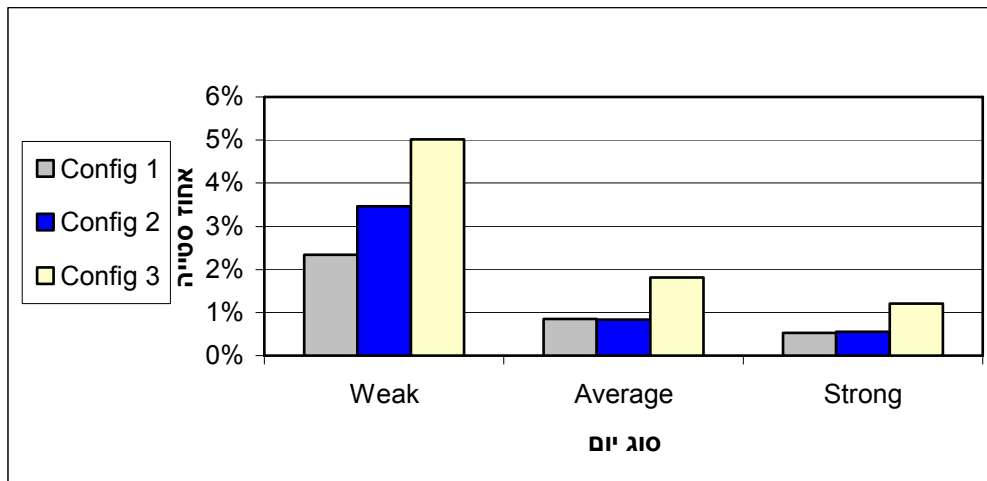
איור 39 – ניצולת על פני שעות היום – יום חלש, קונפיגורציה 1



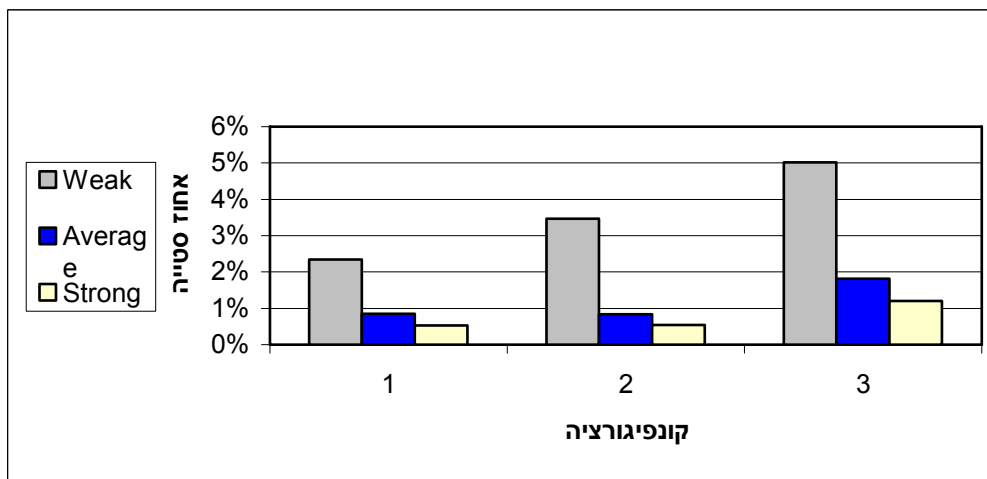
איור 40 – ניצולת על פני שעות היום – יום ממוצע, קונפיגורציה 1



איור 41 – ניצולת על פני שעות היום – יום חזק, קונפיגורציה 1



איור 42 – סטיית RFID בעומס אחות לפי סוג יום



איור 43 – סטיית RFID בעומס אחות לפי קונפיגורציה

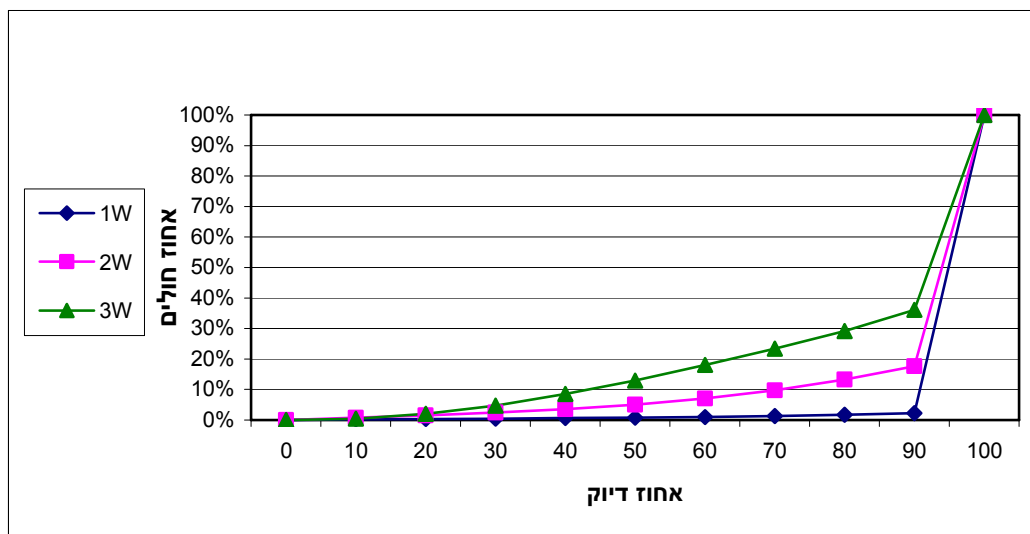
טבלה 23 – מבחן T עומס אחות שוכבים: הבדלים בין RFID למדד האמיתי

Config-Day	P value
1W	4E-28
1A	1.3E-24
1S	5E-19
2W	5.1E-25
2A	2.3E-23
2S	1.9E-18
3W	1.4E-25
3A	3.4E-30
3S	1.2E-26

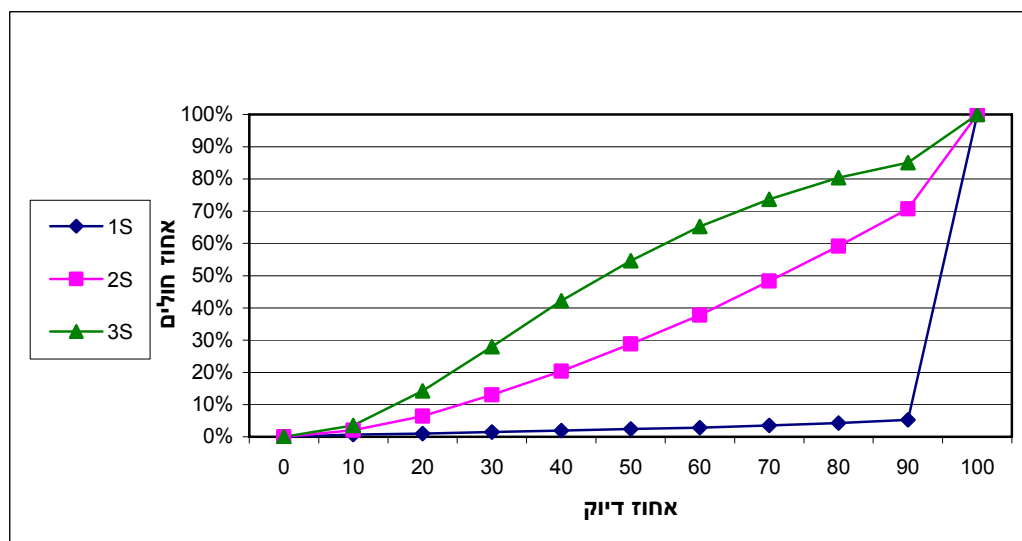
טבלה 24 – מבחן T עומס אחות שוכבים: הבדלים קונפיגורציות וסוגי ימים

Config-Day	1W	1A	1S	2W	2A	2S	3W	3A	3S
1W		6.4E-07	2.4E-07	0.344348			1.6E-07		
1A			2.7E-06		0.472976			2.5E-06	
1S						0.412819			1E-08
2W					1.1E-07	9.9E-08	9.7E-07		
2A						2.7E-06		1.4E-06	
2S									9.7E-08
3W								5.6E-08	1.6E-07
3A									2.3E-05
3S									

נספח מספר 9 9



איור 44 – התפלגות מצטברת של אחוז דיוק לפי קונפיגורציה (יום חלש)



איור 45 – התפלגות מצטברת של אחוז דיוק לפי קונפיגורציה (יום חזק)

פירוט החומר המופיע בתקליטור המצורף

- קובץ PDF ובו הדו"ח הסופי.
- ספריה המכילה את מודל הסימולציה בתוכנת ב- ARENA, אגף מהלכים.
- ספריה המכילה את מודל הסימולציה בתוכנת ה- ARENA, אגף מהלכים.
- ספריה המכילה את קבצי ניתוח המהלכים ובה תת ספריות:
 - 0 פלטי הסימולציה.
 - 0 קבצי ניתוח הנתונים.
- ספריה המכילה את קבצי ניתוח השוכבים ובה תת ספריות:
 - 0 פלטי הסימולציה.
 - 0 קבצי ניתוח הנתונים.
- ספריה המכילה את ניתוחי עלות המערכות.
- ספריה המכילה את מאמרי סקר הספרות.