מרכז רן נאור לחקר הבטיחות בדרכים
The Ran Naor Road Safety Research center

המכון לחקר התחבורה
הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל
Technion - Israel Institute of Technology
Transportation Research Institute

חקר הבטיחות במעגלי תנועה בדרכים דו-מסלוליות

דן קשינסקי
ד"ר דורון בלשה

במימון קרן מחקרים בענייני ביטוח ליד אגוד חברות הביטוח בישראל

דו"ח מחקר מס' S/40/2012

מאי 2012, חיפה

דו"ח זה משקף את דעות המחברים והמלצותיהם, ואיננו משקף בהכרח את דעותיהם של הטכניון ושל מוסד הטכניון למחקר ופיתוח.
מוסד הטכניון למחקר ופיתוח בע"מ אינו אחראי לדיוק הנתונים הכלולים בדו"ח ולמסקנותיו, ואין הדו"ח מהווה הנחיה או המלצה שלו.

תוכן הדו"ח אינו בהכרח משקף את דעותיהם של הגופים הרשמיים והרשויות המוסמכות האחראים לנושא, ואין הדו"ח מהווה תקן, הנחיה או נוהל מחייבים של אותם גופים ורשויות.

כל הזכויות שמורות למחברים ולמוסד הטכניון למחקר ופיתוח

תוכן העניינים

עמ'

תקציר.. 1
מבוא...3

1. מטרות המחקר ושיטת העבודה.. 5

2. סקר ספרות...8
   2.1 הקדמה...8
   2.2 מאפיינים גיאומטריים משפיעים...24
   2.3 השפעת הסדרי ואביזרי תנועה..37

3. מתודולוגיה...52
   3.1 ההיגיון המחקרי..52
   3.2 מהלך המחקר..54

4. ממצאים וניתוחם.. 76
   4.1 תאונות דרכים...76
   4.2 תצפיות...82
   4.3 מסקנות והמלצות..91
   4.4 סיכום.. 96

5. ביבליוגרפיה...98

נספח א'...100

רשימת טבלאות

טבלה מס׳ 2.1 : ריכוז התכונות התכנוניות של סוגי הכיכרות 10
טבלה מס׳ 2.2 : פירוט יתרונותיה וחסרונותיה של הכיכר הדו-נתיבית 12
טבלה מס׳ 2.3 : מס׳ תאונות ממוצע לצומת בארה״ב בצמתים שהומרו למעגלי תנועה (מ״מ 1) 16
טבלה מס׳ 2.4 : ירידה ממוצעת במספר תאונות דרכים לצומת במספר מדינות לאחר התקנת מעגל תנועה (מ״מ 1) 16
טבלה מס׳ 2.5 : הפחתת התאונות לסוגיהן במעגלי תנועה לסוגם בארצות שונות (מ״מ 1) 17
טבלה מס׳ 2.6 : שיעורי תאונות הולכי רגל בבריטניה במעגלי תנועה מרומזרים (מ״מ 1) 17
טבלה מס׳ 2.7 : שיעור תאונות של הולכי רגל ורוכבי אופניים במעגלי תנועה וצמתים מרומזרים בבריטניה 18
טבלה מס׳ 2.8 : שיעור תאונות לפני ואחרי התקנת מיני מעגלים בגרמניה 22
טבלה מס׳ 2.9 : שיעור תאונות לפני ואחרי התקנת מעגלים קומפקטיים בגרמניה 22
טבלה מס׳ 2.10 : קריטריון אפשרויות מיקום בנתיבים 35
טבלה מס׳ 2.11 : השפעת ניתוב ושילוט על בחירת הנתיב הפנימי במעגל לפניה שמאלה 38
טבלה מס׳ 2.12 : קונפליקט פוטנציאלי בדרגות שונות של התאמה לתקני אלברטה 47
טבלה מס׳ 3.1 : סוגי המעגלים הדו-נתיביים הקיימים 55
טבלה מס׳ 3.2 : רשימת הצמתים שנצפו 57
טבלה מס׳ 3.3 : רשימת הצמתים החד נתיביים 60
טבלה מס׳ 3.4 : רשימת האירועים ופרטיהם בצמתים שנצפו 64
טבלה מס׳ 3.5 : פריסת האירועים בצמתים מסוג 1 ובמיון לסוגיהם 69
טבלה מס׳ 3.6 : פריסת האירועים בצמתים מסוג 2 ובמיון לסוגיהם 70
טבלה מס׳ 3.7 : פריסת האירועים בצמתים מסוג 3 ובמיון לסוגיהם 71
טבלה מס׳ 3.8 : פריסת האירועים בצמתים מסוג 4 ובמיון לסוגיהם 72
טבלה מס׳ 3.9 : פריסת האירועים בצמתים מסוג 5 ובמיון לסוגיהם 73
טבלה מס׳ 3.10 : פריסת האירועים בצמתים מסוג 6 ובמיון לסוגיהם 74
טבלה מס׳ 4.1 : ממוצע שווה ערך תאונות ״קלות״ לפי 6 סוגי צמתים וקבוצת הביקורת 75
טבלה מס׳ 4.2 : פילוג התאונות לפי תקופות היום ולפי סוגי הצמתים. 76
טבלה מס׳ 4.3: מיון לסוגי התאונות לפי סוגי הצומת 77
טבלה מס׳ 4.4 : ממוצעי שווה ערך התאונות הקלות לפי סוגי צמתים מקובצים 78
טבלה מס׳ 4.5 : פירוט תאונות לפי מאפיינים בצמתים מקובצים לפי יום/לילה 79
טבלה מס׳ 4.6 : פילוג התאונות לפי סוגי צמתים מקובצים ולפי המעורבים בתאונה 80
טבלה מס׳ 4.7 : מס׳ האירועים הכולל הממוצע לצומת מכל סוג 83
טבלה מס׳ 4.8 : מס׳ אירועי הצמדות צידית ממוצע לצומת מכל סוג 83
טבלה מס׳ 4.9 : מס׳ אירועי מתן זכות קדימה ממוצע לצומת מכל סוג 84
טבלה מס׳ 4.10 : מס׳ אירועי חריגה מנתיב ממוצע לצומת מכל סוג 84
טבלה מס׳ 4.11 : מס׳ אירועים מסוג "אחר" ממוצע לצומת מכל סוג 84
טבלה מס׳ 4.12 : מס׳ אירועים כולל ממוצע לצומת בסוג 1 וקבוצת הסוגים 2 – 6 85

טבלה מס׳ 4.13: מס׳ אירועים מסוג הצמדות צידית ממוצע לצומת בסוג 1 וקבוצת הסוגים 2 – 6 85
טבלה מס׳ 4.14: מס׳ אירועים מסוג מתן זכות קדימה ממוצע לצומת בקבוצה 1 וקבוצת הסוגים 2- 6 85
טבלה מס׳ 4.15: מס׳ אירועים מסוג חריגה מנתיב ממוצע לצומת בקבוצה 1 וקבוצת הסוגים 2 – 6 86
טבלה מס׳ 4.16: מס׳ אירועים מסוג אחר ממוצע לצומת בקבוצה 1 וקבוצת הסוגים 2 – 6 86

רשימת ציורים

ציור מס׳ 2.1 : תחום קיומם של סוגי הכיכרות השונים 11
ציור מס׳ 2.2 : קביעת ההצדק למעבר למעגל חד נתיבי במדריך הפיני 11
ציור מס׳ 2.3 : קונפליקטים שנוצרים במעגל התנועה 14
ציור מס׳ 2.4 : קונפליקטים רכב – הולך רגל במעגל חד נתיבי 15
ציור מס׳ 2.5 : דוגמא לחפיפה בין תוואי נסיעה במעגל דו נתיבי 24
ציור מס׳ 2.6 : סיכום כל התאונות שנצפו 33
ציור מס׳ 2.7 : גיאומטריה בשיטת ״מסלול הרכב הטבעי״ 35
ציור מס׳ 2.8 : אופן הניתוב המקובל בכיכר דו-נתיבית 39
ציור מס׳ 2.9 : כיכר ללא ניתוב 40
ציור מס׳ 2.10 : ניתוב חלקי במסלול הסובב 40
ציור מס׳ 2.11 : ניתוב מ/אל כניסות/יציאות בלבד 41
ציור מס׳ 2.12 : ניתוב המשכי ליציאה ראשית 41
ציור מס׳ 2.13 : ניתוב המשכי בכיכר ומהכניסות וליציאות 42
ציור מס׳ 2.14 : ניתוב מחלק במסלול הסובב ובזרועות כניסה ויציאה 43
ציור מס׳ 2.15 : ניתוב רגיל במעגל לעומת ניתוב אלברטה 43
ציור מס׳ 2.16 : מצב זכות הקדימה בקונפליקט היציאה בניתוב רגיל לעומת אלברטה 44
ציור מס׳ 2.17 : סימון התאים במעגל התנועה 45
ציור מס׳ 2.18 : ספירת הקונפליקט הפוטנציאלי של הזרימה המקורית 47
ציור מס׳ 2.19 : דוגמת ״מעגל טורבו״ הולנדי 48
ציור מס׳ 2.20 : תמרור חלוקת נתיבים רגיל בגישה לכיכר 48
ציור מס׳ 2.21 : תמרורי חלוקת נתיבים אל ובתוך הכיכר 49
ציור מס׳ 2.22 : אפשרויות שילוט הדרכה צידי בגישה לכיכר דו-נתיבית 50
ציור מס׳ 2.23 : אפשרויות שילוט עילי בגישה לכיכר דו-נתיבית 51
ציור מס׳ 3.1 : סוגי המעגלים הדו-נתיביים הקיימים 56
ציור מס׳ 3.2 : סקיצות סוגי המעגלים וחלוקתם לתאי שטח 63
ציור מס׳ 4.1 : ממוצע שווה ערך תאונות קלות לפי סוג הצומת 76
ציור מס׳ 4.2 : היסטוגרמת פילוג התאונות לפי תקופת היום ולפי סוגי הצומת 77
ציור מס׳ 4.3 : היסטוגרמת מיון לסוגי התאונות לפי סוג הצומת 78
ציור מס׳ 4.4 : היסטוגרמת ממוצעי שווה ערך התאונות הקלות לפי סוגי צמתים מקובצים 79
ציור מס׳ 4.5 : היסטוגרמת תאונות לפי מאפיינים בצמתים מקובצים לפי יום/לילה 79
ציור מס׳ 4.6 : היסטוגרמת פילוג התאונות לפי סוגי צמתים מקובצים ולפי המעורבים בתאונה 80
ציור מס׳ 4.7 : חלוקת מעגל התנועה לאזורי קונפליקטים 89
ציור מס׳ 4.8 : ניתוב ותימרור מקדימים בגישה למעגל 92
ציור מס׳ 4.9 : ניתוב, תימרור ושילוט עילי בגישה למעגל 93

תקציר

הסדר התנועה מסוג מעגל התנועה תופס מקום הולך וגדל בארץ כמו גם ברחבי העולם כהסדר תנועה מועדף במקרים רבים עבור מאפייני תנועה מסוימים.

לאחר שהוכיח את עצמו, החלו המתכננים ליישמו בצמתים עם נפחי תנועה גדולים יותר ויותר, דבר שהוביל ליצירת מעגלי תנועה דו נתיביים ואף רב נתיביים.

ואולם, בניגוד למעגל התנועה החד נתיבי בו התנהלות הנהג הן בגישה למעגל והן בתוכו חד משמעית, הרי שבמעגל התנועה מרובה הנתיבים, התנהלות הנהג נעשית בנתיב נסיעה אחד מתוך כמה ותוואי נסיעתו בגישה למעגל התנועה ובתוכו נתון להחלטתו ולמיטב שיקוליו וכישורי נהיגתו.

במסגרת מחקר זה, נלמד הידע הקיים במדינות מובילות בעולם בתחום המחקר התחבורתי בנושא זה ונבחן המצב בארץ ביסודיות בשתי דרכים:

האחת, ניתוח מאפייני התאונות שהתרחשו במעגלי תנועה שנבחרו לצורך המחקר בדרכים הרב-נתיביות ומיון התוצאות לפי סוגי המעגלים הקיימים תוך השוואה עם מעגלי תנועה בדרכים חד נתיביות.

השנייה, בחינת התנהגויות משתמשי הדרך בצמתים אלה באמצעות תצפיות ורישום האירועים שהתרחשו בהם, כאשר גם אלה סווגו בהתאם למאפייניהן והוצלבו עם הממצאים לגבי התאונות.

לבסוף, גובשו המלצות בדבר התאמת אמצעים הנדסיים לצמצום היקף וחומרה של תאונות במעגלי תנועה בדרכים הרב נתיביות.

77 מעגלי תנועה בדרכים דו מסלוליות נבחרו וחולקו ל- 6 סוגים. בנוסף, הוגדרה קבוצת בקורת (0) שהיא קבוצת מעגלי תנועה חד מסלוליים ואשר מנתה 30 צמתים.

עבור כל הצמתים שבמחקר, כולל קבוצת הביקורת, נאספו נתוני תאונות הדרכים לשנים 2006 - 2010, במטרה להציג את היקף וחומרת בעיית התאונות במעגלי תנועה בדרכים הדו-מסלוליות.

נתוני התאונות נותחו סטטיסטית לפי מאפייניהם, בעיקר לפי סוגי התאונות וחומרתן בחלוקה עפ"י סוגי המעגלים, על מנת לאבחן דפוסי תאונות נפוצים באתרים הנבחנים.

מניתוח תאונות הדרכים לפי סוגי מעגלי התנועה ניתן להיווכח כי:

- שיעור התאונות במעגלי תנועה בדרכים דו מסלוליות על כל סוגיהם (סוגים 1-6) גבוה באופן משמעותי משיעור התאונות במעגלי התנועה בדרכים חד מסלוליות (סוג 0).
- שיעור התאונות המשוקלל במעגלי תנועה דו נתיביים מלאים (סוג 5) גבוה באופן מובהק לעומת יתר סוגי מעגלי התנועה בדרכים דו מסלוליות (סוגים 1-4).
- שיעור התאונות המשוקלל במעגלי תנועה שבהם שני הנתיבים מתכנסים לנתיב אחד המעגל (סוג 1) נמוך יותר מאשר כל מעגלי התנועה הדו נתיביים.

במקביל לניתוח התאונות, בוצעו תצפיות באותם צמתים וניתוח התצפיות שנעשו, אף הוא סווג באופן מקביל לסיווג עבור התאונות.

עיבוד תוצאות התצפיות וניתוחן נעשה בשני מישורים - האחד, ניתוח סטטיסטי והשני, ממצאים איכותניים הכוללים את מפות מיקומי האירועים עם אפיון האירועים בהם.

ניתוח דומה לניתוח הסטטיסטי של התאונות נעשה גם לאירועים שנרשמו בתצפיות (למעט קבוצת הביקורת).

מניתוח התצפיות ניתן להסיק :

- מספר האירועים במעגלי תנועה דו נתיביים מלאים (סוג 5) גבוה באופן מובהק מיתר סוגי מעגלי התנועה (סוגים 1-4).
- מספר האירועים במעגלי תנועה עם התכנסות (סוג 1) נמוך באופן מובהק מיתר מעגלי התנועה (סוגים 2-6).
- היחס הדומה בכמות האירועים וחומרתם לפי התצפיות לשיעור התאונות עבור סוגי המעגלים השונים יכול ללמדנו כי המשתקף מהתצפיות אכן יש בו כדי להצביע נכונה על פוטנציאל התאונות היחסי של כל סוג מעגל.

ניתן לסכם שהתמקדות אזורי האירועים היא זו :

- חלק מהותי של האירועים בעיקר במעגלים מסוג החד נתיבי מתרחש במבואות המעגל.
- חלק עיקרי מהאירועים מתרחש באזור השתלבות התנועה הנכנסת בתנועה הסובבת.
- חלק קטן מהאירועים מתרחש במעגל עצמו וביציאה ממנו.

ניתוח זה של מיקום התרחישים של כל אירוע כנגד מהותו ופרטיו, אפשר הסקת מסקנות באשר לאופן הטיפול האפשרי במזעור או אף מניעת אירועים מסוג אלה שאובחנו.

על סמך ממצאי הספרות והידע ההנדסי מחד, מאפייני התאונות ומאפיינים התנהגותיים בתצפיות מאידך, הוסקו מסקנות וגובשו המלצות להתאמה בין הצרכים מהשטח ואמצעי תשתית בטיחותיים שניתנים ליישום באתרים אלה.

עפ"י האמור לעיל, ניתן להגיע למסקנות וההמלצות הבאות :

- תהליך ההתכנסות מכוסה היטב בהנחיות התכנון ובעיית קיום תאונות באזור זה נעוצה בעיקרה באי-יישום ההנחיות בתוכניות.
- תופעת ההיצמדות הצדית ניתנת לייחוס, לפחות בחלקה, לרוחב נתיבים צר מדי
- בתצפיות לא נרשמו ככלל אירועים בהם היו מעורבים הולכי רגל ואולם ברישומי התאונות ישנם רבים כאלה. על כן, יש לתת את הדעת בכל זאת לנושא זה.
- יש לנקוט גישה של שדרוג סלקטיבי והדרגתי של מעגל תנועה חד-נתיבי בדומה למדיניות בגרמניה.
- יש לעדכן את הנחיות התכנון בכל הקשור באמצעי הדרכת הנהג לנסיעתו בגישה למעגל התנועה ובתוכו, דהיינו, ניתוב, תמרור ושילוט.

מבוא

מעגל תנועה (Roundabout, Rotary) הוא סוג מסוים של הסדר תנועה עבור צמתים במפלס אחד השונה מצמתים רגילים הן בגיאומטריה שלו והן בתפעולו.
בעבר, בארץ, מעגלי תנועה שנבנו בעיקר בתקופת המנדט הבריטי, בוטלו ברובם בשנות החמישים והשישים של המאה שעברה, עת החלה ההשפעה האמריקאית בתחום התחבורה והמעגלים הוחלפו בצמתים מרומזרים בדרך כלל.

אך דווקא אז החלה פריחתם המחודשת של מעגלי התנועה באירופה (מ״מ 1), בעיקר הודות לתקנת דרכים שתוקנה בבריטניה ב- 1966 ואשר קבעה שזכות הקדימה במעגל תנועה תינתן לסובבים בה, תקנה שהפכה הסדר כושל למוצלח ביותר, כאשר התברר שמעגלי התנועה מהווים פתרון בטיחותי הן לצומת עצמו והן לקטעי דרך שלמים. יתרונם בכך שהם מאטים את התנועה ברחוב, נותנים מענה לנפחי תנועה קטנים ובינוניים, מתאימים למערכת הרחובות העירוניים ואף לרשת הדרכים הבינעירונית, מהווים נקודות ציון המקלות על ההתמצאות, מאפשרים פיתוח נופי מעניין ומאפשרים פניות שמאליות ופניות פרסה בקלות יתרה.

כך החלו באירופה ויותר מאוחר גם בארץ לתכנן ולבצע מעגלי תנועה, תחילה ללא הנחיות כלשהן, אחר כך בעזרת הנחיות שכתבו מהנדסי תנועה עבור צה״ל (מ״מ 2) ויותר מאוחר עפ״י הנחיות תכנון שהוציא משרד התחבורה (מ״מ 3).

הסדר התנועה מסוג מעגל התנועה תופס מקום הולך וגדל בארץ כמו גם ברחבי העולם כהסדר הצומת המועדף בתנאים מסוימים וככזה שהוכיח את עצמו בהיקף הורדת שיעורי התאונות בהן הוא הותקן.

מעגל התנועה הותקן מלכתחילה בארץ, שוב כבמקומות רבים ברחבי העולם כהסדר שבו הגישות לצומת הן בנתיב אחד וכך גם המסלול הסובב שבמעגל עצמו.

לאחר שהוכיח את עצמו, החלו המתכננים, בעיקר בחו״ל, ליישמו בצמתים עם נפחי תנועה גדולים יותר ויותר, דבר שהוביל ליצירת מעגלי התנועה דו נתיביים ואף רב נתיביים, הן בגישות למעגל התנועה והן ברוחב המסלול הסובב בתוכו.

ואולם, בניגוד למעגל התנועה החד נתיבי בו התנהלות הנהג נעשית הן בגישה למעגל והן בתוכו כשאין לצידו רכב אחר ותוואי נסיעתו מוכתב לו בצורה חד משמעית ע״י אבני השפה שמצידי מסלול הנסיעה, הרי שבמעגל התנועה מרובה הנתיבים, התנהלות הנהג נעשית בנתיב נסיעה אחד מתוך לפחות 2 נתיבים ופרט לסימון על הכביש תוואי נסיעתו בגישה למעגל התנועה ובתוכו נתון להחלטתו ולמיטב שיקוליו וכישורי נהיגתו.

מלבד זאת, ממדי מעגל התנועה גדלים משמעותית, מן הסתם, הן רוחבי הגישות למעגל, הן רוחב המסלול הסובב והן רדיוס אי התנועה המרכזי והמעגל הסובב, מה שמכתיב חציות הולכי רגל ארוכות יותר והשתזרויות רוכבי אופניים מורכבות יותר.

כל אלה הובילו, לשיעורי תאונות גבוהים יותר במעגלי תנועה מרובי נתיבים ובתוכם דו הנתיביים, לעומת מעגלי התנועה החד נתיביים.

ברבות הזמן, התגבשה בארץ משפחה של צמתים שיש ביניהם דמיון עקרוני, תכנוני ותפעולי, אך אין זהות מוחלטת בין בני משפחה זו בהיבטים רבים – מיקום מעגל התנועה כחלק מרשת הכבישים, נפחי תנועה שונים, אחוז פניות שונה, שטח דרך אפשרי לפיתוח הצומת ועוד, הביאו את המתכננים למגוון פתרונות של מעגלי תנועה.
לכל אחד מהפתרונות או הסוגים, יש יתרונות וחסרונות ועתה, אחרי שנים של ביצוע מעגלי תנועה בארץ, מן הראוי לבחון האם, ואם כן באיזו שיעור ומדוע בסוגים מסוימים של המעגלים, היעד הבטיחותי לא הושג במלואו.
עבודה זו, מטרתה המרכזית לבחון סוגיה זו.
לצורך כך, מחקר זה ערך תצפיות מקיפות במעגלי תנועה מכל הסוגים, במטרה לנסות לאתר את ממדי הסיכון או הפוטנציאל לתאונה מכל סוג אפשרי ואת הנסיבות שעלולות להביא להתרחשותה ומתוך כך להגיע למסקנות והמלצות בדבר הדרכים והאמצעים בהם ראוי לנקוט בכדי להקטין או אף לבטל את הפוטנציאל הקיים להתרחשות זאת.
מחקר זה תומך במגמה להרחיב את השימוש במעגלי תנועה אף לצמתים עם נפחי תנועה גבוהים יותר, אך תוך הבנת הליקויים והקשיים הבטיחותיים ויצירת הנחיות תכנון מתאימות כפועל יוצא מכך.

1. מטרות המחקר ושיטת העבודה

1.1 מטרות המחקר

מהתמונה המתוארת במבוא, ברור הוא כי דרושה בחינה מקיפה ויסודית של נסיבות התאונות במעגלי התנועה בדרכים הדו-מסלוליות בישראל.

כדי לעשות זאת, יש לבצע את הפעולות הבאות:

1. יש ללמוד את הידע הקיים במדינות מובילות בעולם בתחום המחקר התחבורתי בנושא בעזרת סקר ספרות.
2. לבחון ביסודיות את המצב בארץ בכמה מישורים:
   א. ניתוח מאפייני התאונות שהתרחשו במעגלי התנועה בדרכים הרב-נתיביות תוך מיונן לסוגים שונים של תאונות ובמקביל מיון מעגלי התנועה לסוגים השונים הקיימים והנדרשים והצלבה בין השניים לאבחון מהות התופעות המהוות את שורשי הבעיות.
   ב. בחינת התנהגויות של משתמשי הדרך בצמתים אלה במקביל לאמור בסעיף א' לעיל כאשר גם אלה יסווגו בהתאם למאפייניהן ויוצלבו עם ממצאי האמור שם.
3. גיבוש המלצות בדבר התאמת אמצעים הנדסיים לצמצום היקף וחומרה של תאונות במעגלי תנועה בדרכים הרב נתיביות.
4. במידה שימצא לנכון שמוצדק הדבר, יוגדרו תנאי הסף המאפשרים, מהבחינה הבטיחותית, התקנת מעגלי תנועה בצמתים בדרכים הדו-נתיביות.
5. יצירת מצע מתאים לעדכון הנחיות התכנון הקיימות בארץ בנושא של מעגלי תנועה בכלל ובדרכים דו-מסלוליות בפרט.

מחקר זה מטפל באמור בסעיפים 1 ו- 2 ,כאשר, ניתנות בו גם המלצות ראשוניות לעניין סעיף 3.

1.2 שיטת העבודה

א. סקר ספרות

סקר ספרות מקיף בארץ ובעולם, במטרה ללמוד על תוצאות מחקרים בעולם בתחום זה, על הנחיות תכנון ועל אמצעים הנדסיים לצמצום תופעת תאונות במעגלי תנועה בדרכים רב נתיביות. האמצעים יסווגו בהתאם לסוגי אתרים (כגון: אמצעים יעילים למעגלים דו נתיביים, אמצעים לשיפור בטיחות במעבר משני נתיבים לנתיב בודד בגישה למעגל חד נתיבי, וכו'). לכל סוג של אמצעי הנדסי יוצג פירוט תנאי הדרך והתנועה שמתאימים

ליישום, וכמו כן, ירוכזו ממצאים של מחקרי הערכה לגבי רמת יעילותם של אמצעים מסוג זה.

ב. איתור וסיווג צמתים

במטרה לאסוף נתונים ולבצע תצפיות על מעגלי תנועה, נערכו סיורים בערים ברחבי הארץ לאיתור מעגלי תנועה שיכללו במחקר ולסווגם עפ"י מאפייניהם הגיאומטריים.
אותרו 77 צמתים מעגלים בדרכים דו מסלוליות עליהם נערכו התצפיות.
אלה חולקו ל- 6 סוגים המפורטים להלן ומתוארים בציור מס' 3.1.

1. הצרה של שני הנתיבים הנכנסים לזרוע מתמזגים לנתיב אחד, ונתיב אחד בכיכר.
2. הנתיב הימני בזרוע הינו לפנייה ימינה, הנתיב השמאלי לשאר הכיוונים ובכיכר יש נתיב אחד. הפרדה זו בין הכיוונים נעשית ע"י צביעת חצים על פני המיסעה.
3. כמו 2, אבל במסלול הסובב 2 נתיבים.
4. כמו 2, אבל אי תנועה דמוי "בננה" מפריד בין נתיב הפנייה ימינה לנתיב אחר.
5. 2 הנתיבים בזרוע נכנסים למעגל ובמסלול הסובב 2 נתיבים.
6. כמו 5, אבל הנתיב השמאלי במסלול הסובב משמש רק לפנייה שמאלה במעגל.

בנוסף, הוגדרה קבוצת בקורת (0) שהיא קבוצת מעגלי תנועה חד מסלוליים אשר מנתה 30 צמתים.
בכל מעגלי התנועה בדרכים הדו מסלוליות המנויים לעיל, נעשו סיורים להשלמת פרטים ולתכנון התצפיות שבוצעו בהם ומתוארים בהמשך.

ג. נתוני תאונות דרכים

עבור כל הצמתים שבמחקר, כולל קבוצת הביקורת, נאספו נתוני תאונות הדרכים, במטרה להציג את היקף וחומרת בעיית התאונות במעגלי תנועה בדרכים הדו-מסלוליות. מקורות הנתונים: קבצי תאונות הדרכים של הלמ"ס. נתוני התאונות הרלוונטיות לנושא, יזוהו באמצעות הצלבה בין מוקדי התאונות בצמתים הלא מרומזרים, מתוך קבצי הלמ"ס, לבין מפות הדרכים והיישובים. נתוני התאונות נאספו לשנים 2005-2010.
נתוני התאונות נותחו לפי מאפייניהם, בעיקר לפי סוגי התאונות וחומרתן, על מנת לאבחן דפוסי תאונות נפוצים באתרים הנבחנים. נערכה השוואה בין התאונות במעגלי תנועה בדרכים הרב-נתיביות לבין התאונות במעגלי תנועה בדרכים החד-נתיביות וכן בין הסוגים השונים של מעגלי התנועה בדרכים הדו מסלוליות.

ד. בחינה ותצפיות בתפקוד הצמתים

במקביל לעבודת ניתוח התאונות המתוארת לעיל, בוצעו תצפיות בצמתים, אם ע"י תצפיות אדם ואם באמצעות אמצעים אלקטרוניים מתאימים.

בוצעה בחינה סטטיסטית והנדסית מקיפה של התנהגות השותפים לתנועה ותפקודם הבטיחותי של מעגלי התנועה.

ה. ניתוח הממצאים

הממצאים שהתקבלו מנתוני תאונות הדרכים והתצפיות ההתנהגותיות נותחו על מנת ללמוד על תכונות מעגלי התנועה השונים, על הבעיות שמתעוררות בסוגים שונים של מעגלים ועל רמת הבטיחות הכוללת של כל סוג.

ו. מסקנות והמלצות

על סמך ממצאי הספרות והידע ההנדסי מחד, מאפייני התאונות ומאפיינים התנהגותיים באתרים מאידך, פותחו המלצות להתאמה בין הצרכים מהשטח ואמצעי תשתית בטיחותיים שניתנים ליישום באתרים אלה.

2. סקר ספרות

2.1 הקדמה

מעגל התנועה החד נתיבי מהווה פתרון גיאומטרי מצוין לצמתים מכמה סיבות (מ״מ 1):

א. הקונפליקט המורכב בין כיווני נסיעה רבים הנפגשים יחד מפצל לכמה מוקדים נפרדים עם אזורי קונפליקט פשוטים.

ב. אופן השתלבות הרכב הנכנס בצומת הוא פשוט ועליו לאתר פער מתאים בתנועה אחת בלבד החוצה אותו.

ג. המבנה הגיאומטרי של הכיכר מחייב את האטת כל כלי הרכב הנכנסים לכיכר, דבר שמקטין אף הוא את סכנת התאונות ומקל על השתלבות התנועות.

ד. לנהג הנכנס לכיכר ונע בה עד יציאתו ממנה אין דרגות חופש בתנועתו כגון: נקודת השתזרות או בחירת נתיב נסיעה, דבר המפשט את תפקודו ומונע חיכוכים עם התנועה שסביבו, גורם נוסף בהפחתת הפוטנציאל לתאונות.

ה. מאחר והמסלול הסובב מיועד ומתומרר להתנהלות טור תנועה אחד, לא נוצרת עבור רכב כבד ו/או ארוך בעיית רוחב נתיב נסיעה וכתוצאה ממנה חיכוך עם רכב סמוך.

ו. מאחר וכאמור אנו עוסקים בפתרון שבו התנהלות כל התנועה למן ההתקרבות לצומת דרך הנסיעה בתוכו וכלה ביציאתו ממנו, הרי שאופן הכוונת הנהג ליעדים הקיימים בכיווני הנסיעה היוצאים מהצומת אף הוא פשוט וחד משמעי.

ואולם, פתרון המעגל החד נתיבי מוגבל לנפחי תנועה נמוכים עד בינוניים ואם מעוניינים עדיין להשתמש בפתרון גיאומטרי זה מעבר לכך, דהיינו, לנפחים גדולים, מתעורר הצורך להגדיל את הגישות לכיכר ואת המסלול הסובב ל-2 נתיבים ויותר.

הפתרון המתקבל – מעגל תנועה דו או רב נתיבי, כבר שונה מהותית מהבחינה התנועתית מזה בן הנתיב הבודד, וכאשר ברצוננו להיצמד לפתרון הכיכר אך בה בעת להגדיל את קיבולתה כאשר הדבר נדרש ע״י הגדלת ממדיה, כך שהן בגישות אליה, כולן או מקצתן והן במסלול הסובב יהיה יותר מנתיב אחד, עלינו להתמודד עם אובדן חלק מהיתרונות הגלומים בכיכר החד-נתיבית ואשר הוזכרו לעיל.

2.1.1 סוגי מעגלי התנועה

החוקרים במדינות שונות סיווגו את מעגלי התנועה באופן דומה המפורט להלן (מ״מ 4):

א. צמתים מעגליים קטנים

צמתים מעגליים קטנים בגודלם – 45-80ft (בכל ציוני מידות המעגלים להלן הכוונה לקוטר המעגל הפנימי) – ונבנים בסביבה עירונית בה מהירות הנסיעה של כלי רכב בהם נמוכה מ-60km/hr ולכן הם מתאימים יותר לסביבה בה יש תנועה מסיבית של הולכי רגל. הקיבולת המתקבלת בכניסה לצמתים אלה זהה לזו המתקבלת בכניסה לצמתים קומפקטיים.

ב. צמתים מעגליים קומפקטיים – עירוניים

הם צמתים עם קוטר הנע בין 80-100 ft עם מהירות תכנונית של 16-20mph המתאימים לסביבה עם תנועת הולכי רגל ורוכבי אופנים. בדרך כלל צמתים אלה נבנים בנקודת היחתכות של שני כבישים ניצבים כמעט כאשר כלל הזרועות הנכנסות לצומת הם חד-נתיביות בכניסה. צמתים אלה נפוצים בגרמניה ובמדינות צפון אירופה.

ג. צמתים מעגליים עירוניים חד-נתיביים

צומת מעגלי עירוני עם נתיב אחד בכל הזרועות המגיעות לצומת המעגלי ונתיב אחד בכיכר. ההבדל בין הצמתים המעגליים העירוניים החד-נתיביים והקומפקטיים הינו בקוטר המעגל וזווית ההיחתכות של כלל הזרועות בצומת בכניסה וביציאה. התכנון שלהם מאפשר כניסה מהירה יותר לצומת – מהירות של 20mph, תנועה מהירה יותר בכיכר וביציאה. הקיבולת המוערכת בצמתים מעגליים עירוניים חד-נתיביים גבוהה מזו הצפויה בצמתים קומפקטיים.

ד. צמתים מעגליים עירוניים דו-נתיביים

צמתים מעגליים עירוניים דו-נתיביים בכיכר כוללים את כלל הצמתים המעגליים העירוניים שיש בהם כניסות דו-נתיביות. המהירויות המתקבלות בכניסה לצומת המעגלי, בכיכר או ביציאה הינם דומים לאלה המתקבלים בצמתים מעגליים עירוניים חד-נתיביים. מכיוון שיש הרחבה ברוחב המיסעה בכיכר יש גידול בקיבולת הכניסה של הצומת. תנועת הולכי רגל או אופנים תהיה במסלולים מיוחדים.

ה. צמתים מעגליים בין עירוניים חד-נתיביים

צמתים מעגליים בין עירוניים עם קוטר של 110-130 ft, מתרחשות בהם תנועה במהירויות גבוהות בכלל הגישות לצומת ולכן נדרש בהם תכנון גיאומטרי ומתקנים לבקרת תנועה מיוחדים המאלצים את הנהגים להאט בכניסה לצומת המעגלי כאשר המהירויות נעות בין 100-80km/hr. לצמתים מעגליים בין עירוניים יש קוטר גדול יותר

ומהירויות גבוהות בכניסה לצומת, בכיכר וביציאה ממנה מאלה הקיימים בצמתים עירוניים ולכן תנועת הולכי רגל באזור הינה נמוכה.

ו. צמתים מעגליים בין עירוניים דו-נתיביים

צמתים מעגליים בין עירוניים דו-נתיביים דומים בתכונותיהם לאלה של חד-נתיביים אבל שונים במספר נתיבי הכניסה ומספר נתיבי הכיכר. בנוסף לכך צמתים מעגליים בין עירוניים דו-נתיביים הם בעלי קוטר יותר גדול – 180-200 ft – מהירויות גבוהות בכניסה, בכיכר וביציאה מהצומת. המהירויות נעות בין 100-80 km/hr.

טבלה מס׳ 2.1 מרכזת את התכונות התכנוניות של סוגי הכיכרות שפורטו לעיל.

טבלה מס׳ 2.1: ריכוז התכונות התכנוניות של סוגי הכיכרות

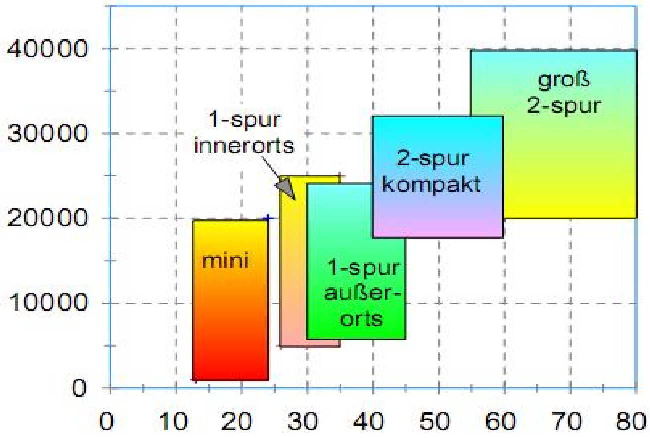
Table 2.1: Concentration of design features of the various kinds of roundabouts

	מאפייני תכנון	קטנים	עירוני קומפקטי	עירוני חד-נתיבי	עירוני דו-נתיבי	בין עירוני חד-נתיבי	בין עירוני דו-נתיבי
כללי	מספר נתיבים	1	1	1	2	1	2
	מקסימום ADT	12000	15000	20000	40000	20000	40000
	מאפייני אי פנימי	מסומן או מוגבה	מוגבה	מוגבה	מוגבה	מוגבה	מוגבה
	סוג רכב לתכנון	SU	SU/BUS	WB-50	WB-50	WB-67	WB-67
כיכר	קוטר חיצוני ft.	45-80	80-100	100-130	150-180	110-130	180-200
	מהירות תכנונית	15-18 mph	16-20 mph	20-25 mph	22-28 mph	22-27 mph	25-30 mph
	רוחב המיסעה	14-19 ft	14-19 ft	14-19 ft	29-32 ft	14-19 ft	29-32 ft
כניסה	מהירות תכנון	15 mph max.	15 mph max.	20 mph max.	25 mph max.	25 mph max.	30 mph max.
	רדיוס כניסה	25-45 ft	25-100 ft	35-100 ft	100-200 ft	40-120 ft	130-260 ft
	רוחב נתיבים	14-16 ft	14-16 ft	14-16 ft	25-28 ft	14-16 ft	25-28 ft

בהנחיות הגרמניות – FGSV מ- 2006 מוצג תחום קיומה של כל כיכר עפ״י קריטריון קוטר ונפח תנועה בצורה מעניינת כמוצג בציור מס׳ 2.1 כאשר על הציר האופקי ערכי הקוטר החיצוני של הכיכר במטרים ועל הציר האנכי ערכי הנפח היומי הממוצע הכולל בצומת.

ציור מס׳ 2.1: תחום קיומם של סוגי הכיכרות השונים

Figure No. 2.1: Range of existence of different types of roundabouts



(spur - נתיב)

המדריך הפיני לתכנון צמתים לא מרומזרים (מ״מ 5) מציע את הגרף המתואר בציור מס׳ 2 לקביעת ההצדק למעבר ממעגל חד נתיבי לדו נתיבי.

ציור מס׳ 2.2: קביעת ההצדק למעבר למעגל דו נתיבי במדריך הפיני

Figure No. 2.2: Determination of justification for transition to double lane roundabout in the Finnish Guide

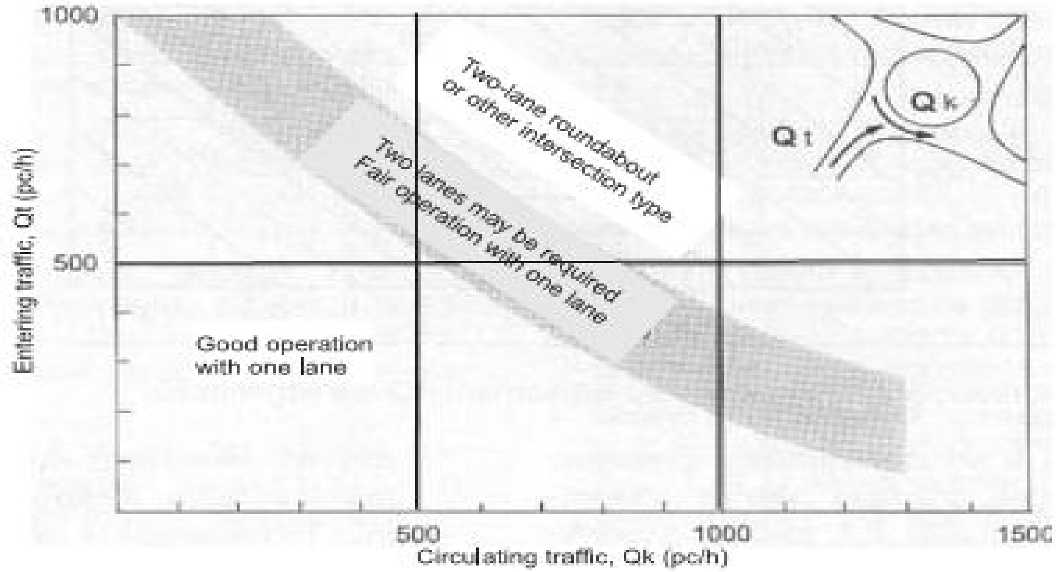


Figure 5.5: Operation of a roundabout according to the current Finnish guidelines (Tie- ja liikennetekniikka 2001)

2.1.2 הכיכר הדו-נתיבית – יתרונות וחסרונות

לאחר שהוצג מגוון הכיכרות ומקומה של הכיכר הדו-נתיבית בתוכן, נתרכז כעת רק בכיכר זו – נשוא עבודה זו.
להלן תפורטנה בטבלה מס׳ 2.2 יתרונותיה וחסרונותיה של כיכר זו (מ״מ 1) .

טבלה מס׳ 2.2: פירוט יתרונותיה וחסרונותיה של הכיכר הדו-נתיבית

Table 2.2: List the advantages and disadvantages of the double lane roundabout

מאפיינים	חסרונות	יתרונות
בטיחות	* בהשוואה עם צומת מרומזר, ההישגים הבטיחותיים של הצומת המעגלי הם עדיין פחות מאלה שאפשר לקבלם עם תכנון צומת מרומזר. * בהרבה מדינות, צומת מעגלי דו-נתיבי הינו פחות מוכר ויוצר אי היכרות של הנהגים לאילוצים הסביבתיים שמתקרבים אליהם מצב המגדיל סיכויי תאונה. * מספר נקודות הקונפליקט בצומת מעגלי דו-נתיבי הינו גדול בהשוואה לצומת מעגלי חד-נתיבי עניין המגדיל יותר את סיכויי התאונות בסביבתו.	* הקטנת מספר נקודות הקונפליקט בהשוואה עם צומת קונבנציונאלי בין כלל כלי הרכב והמשתמשים בצומת. * מהירות תפעולית נמוכה בכניסה לצומת מצב המפחית מספר התאונות בסביבתו. * חומרת התאונות נמוכה יותר כתוצאה מגיאומטריית הצומת המאלצת כלי רכב לנסוע לאט מצב העוזר יותר לקלוט שינויים בסביבת הצומת ולהגיע להחלטות מהירות יותר בעת ההפתעה. * אין תאונות הנגרמות כתוצאה מפניות שמאלה בצומת רגיל.
קיבולת	* בצמתים מעגליים בכלל יש שוויון עדיפויות בין כלל הזרועות ולכן יש הפחתה בקיבולת הכניסה של הגישה בעלת התנועה הראשית.	* כתוצאה מהאור הצהוב שהוא זמן אבוד בצומת מרומזר, צומת מעגלי דו-נתיבי ובהשוואה עם האטות כלי הרכב ועצירתם בקו ההמתנה ובתלות בגודל הפער המתקבל בנתיבי הכיכר, אפשר לקבל קיבולות יותר גדולות בכניסה לצומת מעגלי דו-נתיבי בהשוואה עם צמתים מרומזרים.
עיכוב	* בהשוואה עם צומת קונבנציונאלי, נהגים לא מעדיפים ההסטה בנתיב הגישה הישר המאלץ אותם להפחית מהירות בכניסה לצומת המעגלי מצב הגורם לעיכובים כאשר אין תנועה מתנגדת לכניסתם. * כאשר יש עומס תנועה בכל הגישות לצומת המעגלי הדו-נתיבי ותור בכל הכניסות, נוטים כלי רכב להיכנס בפער יותר קטן מצב המגדיל סיכויי תאונות וגם עיכוב נוסף בגישות האחרות.	* עיכוב כולל פחות מהעיכוב המתקבל בצומת מרומזר כאשר מתייחסים לנפח תנועה שווה מצב הנוצר בעיקר מקיום שני נתיבי כניסה לצומת מעגלי דו-נתיבי. * בשעות היום כאשר אין עומס יותר בתנועה, בצומת מרומזר נגרם עיכוב לכלי רכב המגיעים לצומת על ידי הרמזור המאלץ אותם לחכות עד להופעת האור הירוק אפילו אם אין תנועה מתנגדת בזרועות אחרות.

עלות	* עלות בניה של צומת מעגלי יכולה להיות יותר גבוהה במיוחד כאשר יש מגבלות טופוגרפיות וקשיי יישום. * דורש שטח יותר גדול ופיקוח על הבניה יותר מדויק וקפדני כי טעות בביצוע יכול לגרום לשינוי מהותי בכלל גיאומטריית הצומת.	* עלות תאונות פחותה בהשוואה לצומת מרומזר או צומת קונבנציונאלי מכיוון שחומרת התאונות הינה נמוכה דבר הנגרם ממהירויות יותר נמוכות בסביבת צומת מעגלי חד ודו-נתיבי.
הולכי רגל	* אי התנועה יכול להיות מכשול מפני מעבר נכים הנעים על כיסא גלגלים. * צומת מעגלי חד-נתיבי יותר בטוח להולך הרגל כאשר הוא צפה בזרם תנועה אחד בכל כיוון בדרך המקצר גם זמן החצייה ברחוב. * נקודות הקונפליקט בין הולכי רגל וכלי רכב גדול יותר בצומת מעגלי דו-נתיבי מאלה המתקבלות בצומת מעגלי חד-נתיבי.	* כתוצאה ממהירויות קטנות יותר בסביבת הצומת המעגלי, הולכי רגל יותר בטיחותיים. * נקודת הקונפליקט בין הולכי רגל וכלי רכב בצומת מעגלי דו-נתיבי הם פחות מאלה הקיימים בצומת קונבנציונאלי מכיוון שהלך הרגל צפה ובודק רק בתנועה בכיוון אחד ולא בשני כיוונים כמו המצב בצומת רגיל.

2.1.3 הבעיה הבטיחותית וממדיה

עיתוי אימוץ פתרון מעגלי התנועה לצמתים בארה״ב קרוב לזה של ישראל כאשר מתחילת שנות ה-90 החלו לצוץ המעגלים הראשונים בדומה לכאן. גם עקומת הלמידה של הנושא הן זו של ציבור הנהגים והן זו של אנשי המקצוע מקבילה במידה רבה לזו שבארץ. על כן, , עיקר סקר הספרות יהיה של זו שמקורה בארה״ב.

2.1.3.1 Roundabouts – Informal Guide

כאשר מתחילים את סקר הספרות שם ובכלל, מן הראוי לפתוח אותו בסקר המסמך האמריקאי Roundabouts – Informal Guide (מ״מ 1) . מסמך זה הוא המקצועי המקיף הראשון בנושא כאשר בהעדר מומחים לכך בארה״ב בתחילת שנות ה-90 עת השכילה ה-FHWA לרכז צוות של מומחים בינלאומיים מארצות שצברו ידע וניסיון רב בנושא.
המסמך עצמו מקדיש חלק נכבד לסקר ספרות קיימת ברחבי העולם ועל כן יעשה שימוש בה לנושאינו.

שיעורי תאונות

בנושא מעגלי תנועה דו-נתיביים נאמר שם כי מעגלים אלה ככלל בעלי מאפיינים בטיחותיים דומים בחלקם לאלה של המעגלים הפשוטים בני נתיב אחד. עם זאת, עקב הימצאם של נתיבי כניסה נוספים יש צורך לספק גם מסלולים סובבים ומסלולי יציאה רחבים יותר.

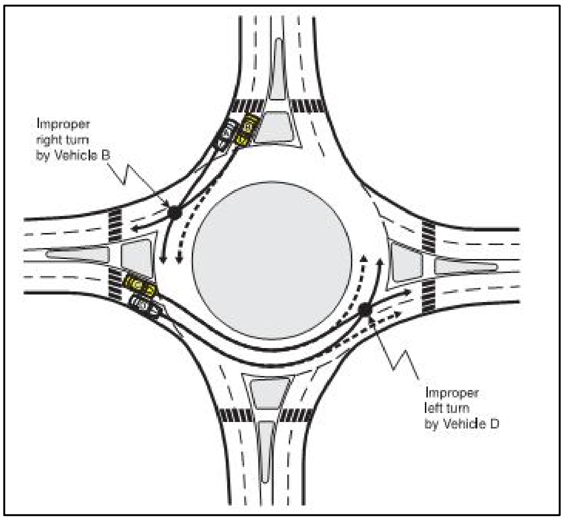
גם עפ״י מודל התנגשות בריטי עבור נפח נכנס ממוצע יומי של 10,000 כ״ר, ישנו גידול של 25% בתאונות עם נפגעים כאשר מגדילים את הנתיבים מאחד לשניים. כמות נקודות הקונפליקט הן בין כ״ר לבין עצמם והן בינם להי״ר גדלה משמעותית כאשר ישנם נתיבי גישה נוספים.

סוגי הקונפליקט הקיימים במעגלים מרובי נתיבים שאינם קיימים במעגלים בני נתיב אחד נוצרים כאשר נהגים משתמשים בנתיב הלא נכון או מבצעים פניה לא נכונה. אלה מוצגים בציור 2.3 להלן. במיוחד אלה שכתוצאה משימוש לא נכון בנתיב יכולים להיות תוצאה של תכנון גיאומטרי לא נכון אשר אינו מאפשר נסיעה זה לצד זה של כל טורי הרכב הנכנסים למעגלים או של הרגלי נהיגה לא נכונים במעגלים מסוג זה.

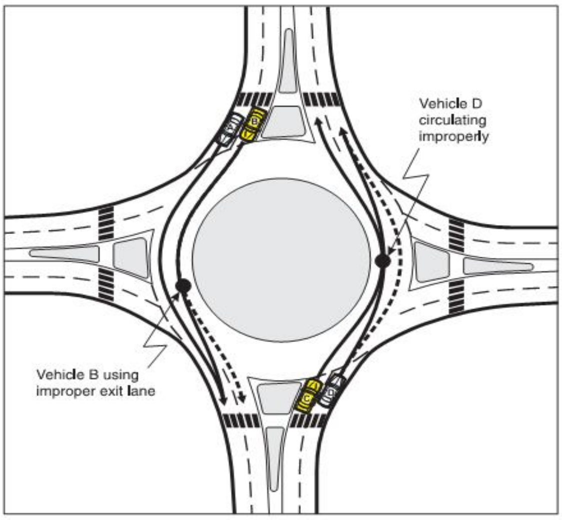
ציור מס׳ 2.3: קונפליקטים שנוצרים במעגל התנועה

Figure No. 2.3: conflicts generated in roundabout

כתוצאה מביצוע פניות באופן שגוי



כתוצאה משימוש לא נכון בנתיב



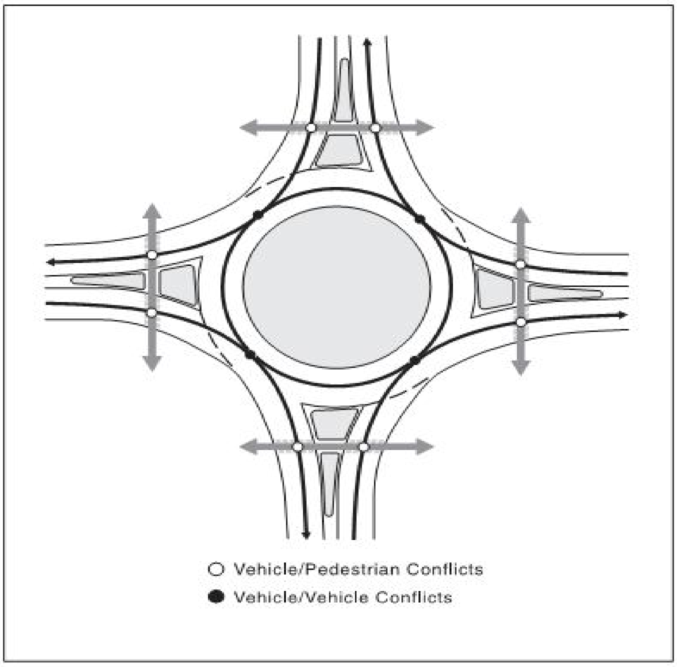
יחד עם זאת מאחר ובדומה למעגל החד-נתיבי, גם בפתרון המעגל הרב-נתיבי אופי הקונפליקט הוא של התמזגויות או התפצלויות בלבד, חומרת התאונות נמוכה עדין בהרבה יחסית לצמתים רגילים.

באשר להי״ר, לאלה ישנם בכל זרוע, בעיקרו, שתי נקודות קונפליקט עם כ״ר כמוצג בציור 2.4- עם התנועה הנכנסת ועם התנועה היוצאת. במעגל מרובה נתיבים, נוספות נקודות קונפליקט לכל מפגש של הי״ר עם נתיב נסיעה.

רוכבי אופניים מתמודדים עם נקודות קונפליקט דומות לאלה של נהגים גם במעגלי תנועה. אולם, בשל רכיבתם בד״כ בימין הדרך, קיימת נקודות קונפליקט נוספות בינם לכ״ר כאשר האחרונים חוצים אותם.

ציור מס' 2.4: קונפליקטים רכב – הולך רגל במעגל חד נתיבי

Figure No. 2.4: Vehicle - pedestrian conflicts in single lane roundabout



במעגלי תנועה, ניתן לאפשר לרוכבי אופניים נסיעה כרכב או כה"ר. כתוצאה מכך, היקף הקונפליקטים של רוכבי אופניים תלוי בהחלטתם באשר לצורת נסיעתם.

במעגלי תנועה דו-נתיביים ויותר שבהם באופן טבעי רוכבי אופניים מתנהלים בנתיב החיצוני מתמודדים אלה בעיקר עם תנועה יוצאת מהמעגל.

כאשר רוכבי אופניים מתנהלים במעגל תנועה כה"ר כלומר עולים על המדרכה לפני המעגל ויורדים ממנה חזרה לכביש לאחריו קיימות נקודות קונפליקט נוספות ביניהם לה"ר במדרכות.

נתוני סטטיסטיקת התאונות מסוכמים כאן באשר לביצועי הבטיחות הכוללים של מעגלי תנועה בארצות שונות כולל ארה"ב, ולאחר מכן מנותחים סוגי התאונות שאירעו בצרפת ובקוינסלנד, אוסטרליה.

תאונות אופניים וה"ר נידונות בנפרד

טבלה 2.3 מציגה את מספר התאונות במונחי מספר תאונות לשנה לצומת באלה שהומרו מצומת רגיל למעגל תנועה קטן/בינוני עם נתיב אחד ולמעגל תנועה גדול עם מספר נתיבים. כפי שניתן לראות שני סוגי המעגלים משיגים ירידה בהיקף הנפגעים ובתאונות נזק בלבד ואולם, כפי שניתן לראות קיים פער בין הירידה במעגלים חד-נתיביים וזאת שבמעגלים מרובי נתיבים.

בהשוואה לסטטיסטיקות באוסטרליה, צרפת ובריטניה שיעורים אלה כיום גבוהים.
יצוין שלמרות תדירותן הגבוהה יחסית של התנגשויות בארה״ב, אלה שבהן ישנם נפגעים נמוכות שם יחסית לאירופה.

טבלה מס׳ 2.3: מס׳ תאונות ממוצע לצומת בארה״ב בצמתים שהומרו למעגלי תנועה

Table 2.3: Average number of accidents in U.S. intersections converted into roundabouts

Type of Roundabout	Sites	Before Roundabout			Roundabout			Percent Change[5]		
		Total	Inj.[3]	PDO[4]	Total	Inj.	PDO	Total	Inj.	PDO
Small/Moderate[1]	8	4.8	2.0	2.4	2.4	0.5	1.6	-51%	73%	-32%
Large[2]	3	21.5	5.8	15.7	15.3	4.0	11.3	-29%	-31%	-10%
Total	11	9.3	3.0	6.0	5.9	1.5	4.2	-37%	-51%	-29%

Notes:
1. Mostly single-lane roundabouts with an inscribed circle diameter of 30 to 35 m (100 to 115 ft).
2. Multilane roundabouts with an inscribed circle diameter greater than 50 m (165 ft).
3. Inj. = Injury crashes
4. PDO = Property Damage Only crashes
5. Only injury crash reductions for small/moderate roundabouts were statistically significant.

Source: (9)

טבלה 2.4 מפרטת את נתוני הירידה בתאונות בצמתים לאחר התקנת מעגל תנועה.
כפי שצוין כבר, מספר תאונות נפגעים פוחת במידה רבה יותר בצמתים בהם מותקן מעגל תנועה מאשר תאונות נזק בלבד. כמו-כן, ההפחתה של שני סוגים אלה גדולה יותר בצמתים לא עירוניים מאשר בצמתים עירוניים.

יתכן וחלק מהתאונות נגרם עקב תכנון גיאומטרי לא נכון ואם ישופר התכנון, תושג הפחתה נוספת.

טבלה מס׳ 2.4: ירידה ממוצעת במספר תאונות דרכים לצומת במספר מדינות לאחר התקנת מעגל תנועה

Table 2.4: Average decrease in number of accidents per intersection in several countries after installing a roundabout

Country	Mean Reduction (%)	
	All Crashes	Injury Crashes
Australia	41 - 61%	45 - 87%
France		57 - 78%
Germany	36%	
Netherlands	47%	
United Kingdom		25 - 39%
United States	37%	51%

Source: (2). France: (11)

טבלה 2.5 מפרטת את הפחתת התאונות לסוגיהן, במעגלי תנועה לסוגם בארצות שונות.

טבלה מס' 2.5: הפחתת התאונות לסוגיהן במעגלי תנועה לסוגם בארצות שונות

Table 2.5: decrease in accidents by type in various countries

Country	Crash Description	Type of Roundabout	Type of Crash[1]		
			Entering-circulating	Rear-end	Single Vehicle
Australia	All crashes	Single and multilane	51%	22%	18%
France	Injury crashes	Single and multilane	37%	13%	28%
Germany	All crashes	Single lane	30%	28%	17%
Switzerland	All crashes	Single and multilane	46%	13%	35%
United Kingdom	Injury crashes	Single and multilane	20 - 71%	7 - 25%	8 - 30%

1. Percentages do not necessarily sum to 100% because only three major crash categories are shown.
Source: (10)

סוגי התאונות

יועיל מאד למתכננים לבחון את פרטי סוגי התאונות ומיקומן במעגלי התנועה. סטטיסטיקה זו זמינה בעיקר מאוסטרליה, צרפת ובריטניה.

הולכי רגל

כפי שצוין כבר, התקנת מעגל תנועה מפחיתה משמעותית את התאונות הן עם נפגעים והן נזק בלבד בין כלי-רכב.
נמצא שגם היקף תאונות ה"ר פוחת כשמותקן מעגל תנועה, כפי שמוראה בסטטיסטיקה בריטית המפורטת בטבלה 2.6. הדבר יתכן בשל מהירויות מופחתות במעגלים בהשוואה לצמתים רגילים.
הדבר גם קורה הודות לכך שכמות נקודות הקונפליקט בין ה"ר לכ"ר קטן בהרבה מזה שבצומת רגיל.

טבלה מס' 2.6: שיעורי תאונות הולכי רגל בבריטניה במעגלי תנועה מרומזרים

Table 2.6: Rates of pedestrian accidents in the UK roundabouts with traffic lights

Intersection Type	Pedestrian Crashes per Million Trips
Mini-roundabout	0.31
Conventional roundabout	0.45
Flared roundabout	0.33
Signals	0.67

Source: (1, 15)

רוכבי אופניים

עפ״י מחקר בריטי (מ״מ 6) שתוצאותיו מוצגות בטבלה 2.7 שיעור תאונות רוכבי רכב דו-גלגלי גבוה יותר במעגלי תנועה מאשר בצומת רגיל.
מחקרים בארצות אחרות הישוו את שיעור התאונות בין צמתים רגילים למעגלי תנועה אך לא עשו הפרדה בין אלה שבמעגל קטן או חד-נתיבי למעגל גדול או רב-נתיבי.

טבלה מס׳ 2.7: שיעור תאונות של הולכי רגל ורוכבי אופניים במעגלי תנועה וצמתים מרומזרים בבריטניה

Table 2.7: Rate of pedestrian and bicycle accidents in roundabouts and intersections with traffic lights in Britain

Intersection Type	Bicyclists	Motorcyclists
Mini-roundabout	3.11	2.37
Conventional roundabout	2.91	2.67
Flared roundabout	7.85	2.37
Signals	1.75	2.40

Source: (1, 15)

באשר למדיניות שילוב האופניים במעגלי תנועה, מאחר וחלק גדול מהתאונות שבינם לכ״ר נגרמות עקב הקונפליקט בין רכב נכנס למעגל לבינם ורכב יוצא מהמעגל לבינם, ננקטה ברוב מדינות אירופה גישה זו:

- לא להקצות נתיב לאופניים בצד החיצוני של מעגל התנועה.
- לאפשר לאופניים להתערב בתנועה במעגלים חד-נתיביים בעלי נפח נמוך (עד 8000 כ״ר ליום בהולנד).
- להתקין שבילי אופניים נפרדים מחוץ למעגל התנועה כאשר מדובר בנפחי כ״ר ואופניים גבוהים.

המהירות מהווה גורם סיכון בסיסי בבטיחות אופניים וה״ר. מהירות האופניים 20 עד 25 קמ״ש ואמצעים שיורידו את מהירות כ״ר לשיעור דומה תמזער את המהירויות היחסיות ותגביר את הבטיחות.

מרכיבים שיכולים להפחית את המהירות כמו עיקול כניסה חד יותר, רוחב הכניסה ותנוחת כניסת הזרועות למעגל נחשבים כאמצעים שיגבירו את בטיחות האופניים.

מודלים לחיזוי תאונות

נכון לזמן הכנת מסמך זה, לא היו קיימים בארה״ב מודלים כלשהם לחיזוי שיעור התאונות במעגלי תנועה ולפיכך אומצו כאלה של מדינות אחרות, כאשר מתוך ידיעה שמודלים מארצות אחרות אינם בהכרח משקפים נכונה את הצפוי במידה מסוימת עקב השפעות הרגלי נהיגה ושיטות תכנון, המודלים הזרים יכולים לשמש בעיקר לשם השוואה בין השפעה יחסית של פרמטרים שונים של הצומת על שיעור התאונות בו.

במשוואות 2.1 – 2.5 מוצגים מודלים אשר פותחו בבריטניה לכל סוג תאונה (מ״מ 6).

Entry-Circulating: (5-1) (2.1)

$$A = 0.052 Q_e^{0.7} Q_c^{0.4} \exp\left(-40C_e + 0.14e - 0.007ev - \frac{1}{1 + \exp(4R - 7)} + 0.2P_m - 0.01\theta\right)$$

where: A = personal injury crashes (including fatalities) per year per roundabout approach;
- Q_e = entering flow (1,000s of vehicles/day)
- Q_c = circulating flow (1,000s of vehicles/day)
- C_e = entry curvature = $1/R_e$
- e = entry width (m)
- v = approach width (m)
- R = ratio of inscribed circle diameter/central island diameter
- P_m = proportion of motorcycles (%)
- θ = angle to next leg, measured centerline to centerline (degrees)

Approaching: $A = 0.0057 Q_e^{1.7} \exp(20C_e - 0.1e)$ (5-2) (2.2)

where: A = personal injury crashes (including fatalities) per year at roundabout approach or leg;
- Q_e = entering flow (1,000s of vehicles/day)
- C_e = entry curvature = $1/R_e$
- R_e = entry path radius for the shortest vehicle path (m)
- e = entry width (m)

Single Vehicle: $A = 0.0064 Q_e^{0.8} \exp(25C_e + 0.2v - 45C_a)$ (5-3) (2.3)

where: A = personal injury crashes (including fatalities) per year at roundabout approach or leg
- Q_e = entering flow (1,000s of vehicles/day)
- C_e = entry curvature = $1/R_e$
- R_e = entry path radius for the shortest vehicle path (m)
- V = approach width (m)
- C_a = approach curvature = $1/R_a$
- R_a = approach radius (m), defined as the radius of a curve between 50 m (164 ft) and 500 m (1,640 ft) of the yield line

Other (Vehicle): $A = 0.0064Q_e^{0.8} \exp(25C_e + 0.2v - 45C_s)$ (2.4)

where: A = personal injury crashes (including fatalities) per year at roı approach or leg

Q_{ec} = product $Q_e \cdot Q_c$

Q_e = entering flow (1,000s of vehicles/day)

Q_c = circulating flow (1,000s of vehicles/day)

P_m = proportion of motorcycles

Pedestrian: $A = 0.029Q_{ep}^{0.5}$ (2.5)

where: A = personal injury crashes (including fatalities) per year at roundabout approach or leg

Q_{ep} = product $(Q_e + Q_{ex}).\ Q_p$

Q_e = entering flow (1,000s of vehicles/day)

Q_{ex} = exiting flow (1,000s of vehicles/day)

Q_p = pedestrian crossing flow (1,000s of pedestrians/day)

עפ״י המודלים הבריטיים, אם כן, עיקר הפרמטרים המשפיעים על שיעור התאונות הם רוחב הכניסה, רוחב המעגל הסובב, רדיוס העיקול בכניסה, עיקול זרוע הכניסה והזווית בין הזרועות.

עיקר ההשפעות הן אלה:

- עבור נפח כניסה של 20,000 כ״ר ליום, הרחבות הכניסה מנתיב אחד לשניים צפויה לגרום לגידול של 30% בתאונות עם נפגעים.

- עבור נפח של 40,000 כ״ר, הרחבת הכניסה מ-2 נתיבים ל-3, תגרום לגידול של 15% בהן.

- יחד עם זאת, המודלים לא יכלו להביא בחשבון את הסיכון הנוסף לאופניים וה״ר שיחשפו יותר לתנועת רכב.

- המסלול הסובב: להרחבתו השפעה קטנה יותר על שיעור התאונות מאשר רוחב הכניסה. שיעור התאונות צפוי לגדול בכ- 5% עבור הרחבה ב-2 מ׳.

חוקרים אוסטרלים מציעים גישה שונה לחיזוי שיעור התאונות במעגלי התנועה (מ״מ 7). גישה זו מתבססת על מידות הקשורות בהתנהגות הנהג – מהירויות, נפח תנועה, רדיוסים במהלך חציית המעגל. המודל מוצג במשוואות 2.6, 2.7.

$$A_{sp} = 1.64 \times 10^{-12} \times Q^{1.17} \times L \times (S + \Delta S)^{4.12} / R^{1.91} \quad (5\text{-}6) \qquad (2.6)$$

and

$$A_{sa} = 1.79 \times 10^{-9} \times Q^{0.91} \times L \times (S + \Delta S)^{3.93} / R^{0.65} \quad (5\text{-}7) \qquad (2.7)$$

where: A_{sp} = the number of single vehicle crashes per year per leg for vehicle path segments prior to the yield line.
A_{sa} = the number of single vehicle crashes per year per leg for vehicle path segments after the yield line.
Q = the average annual daily traffic in the direction considered—one way traffic only (veh/d)
L = the length of the driver's path on the horizontal geometric element (m).
S = the 85th-percentile speed on the horizontal geometric element (km/h).
ΔS = the decrease in the 85th-percentile speed at the start on the horizontal geometric element (km/h). This indicates the speed change from the previous geometric element.
R = the vehicle path radius on the geometric element (m).

משוואות אלה מדגימות יחס ישיר בין היקף התאונות, רמת המהירות הכוללת והשינוי היחסי במהירויות. לכן, ניתן להשתמש במשוואות אלה להערכת ההבדלים היחסיים בין התועלות הבטיחותיות המושגות מתכנונים גיאומטריים שונים תוך הערכת מהירויות הנסיעה בהם.
כמובן שתופעת שיעור תאונות הדרכים המוגבר במעגלי תנועה דו נתיביים ומעלה ביחס למעגלי תנועה חד נתיביים מוכרת בספרות המקצועית עוד לפני המסמך האמריקאי שפורט לעיל.

בעבודה שנעשתה באוסטרליה (מ״מ 8), ישנן מספר קביעות אשר רלבנטיות למחקר זה:
תכנון נכון של כל מתקן תחבורתי גלום בפשרה הולמת בין 3 מרכיבים נוגדים: קיבולת, בטיחות ועלות.
איזון טוב ביניהם נדרש לקבלת תפעול אופטימאלי של המתקן. לצורך כך נדרש לדעת את תרומת הפרטים הגיאומטריים לכל אחד מאותם גורמים. כך הדבר גם באשר למעגל תנועה.
בהמשך מתריעים הכותבים לגבי הקש מעבודות בארצות אחרות וזאת בשל כמה סיבות: התנהגות נהגים שונה, גיאומטריה שונה של מעגלים מארץ לארץ, תנאי תנועה שונים, גורמים משפיעים אשר בארץ אחת בהיקף קטן ונשמטו סטטיסטית אך בארץ אחרת יכולים להיות משמעותיים.
בהמשך המאמר, החוקרים מציינים מספר סוגי תאונות שכיחים במעגלי תנועה שאינם חד-נתיביים כמו חיתוך בין כלי-רכב סובב ורכב יוצא מן המעגל, התנגשות בהתמזגות מ- 2 נתיבים לנתיב אחד, חיכוך בין 2 כ״ר הנעים בתוך המסלול הסובב ולפחות אחד מהם סוטה מנתיבו, ״יישור״ התנועה המעגלית לתנועה בקו ישר ואחרים.
מסקנות מאמר זה הן אלה: א. נטייה לתאונה מושפעת בעיקר ממהירות הנסיעה בכוון שבו יש נטייה לסטות מהנתיב. כלומר, אם הנהג יודע שמתאפשרת לו נסיעה במהירות העולה משמעותית ע״י ״יישור קו נסיעתו״ מאשר בתנועה שבה לא יסטה מנתיבו, אזי הוא יתפתה לעשות זאת. על-כן, יש ליצור מצב ע״י גיאומטריה מתאימה שבה גישת הנהג למעגל לא אפשרית במהירות גבוהה כזו שהדבר יהיה לו כדאי. עם זאת, יש לזכור את כללי העקביות במאפיינים הגיאומטריים בדרך מבחינת המהירות הדרושה ועל-כן יש לתכנן את הנגישות למעגל כהורדה הדרגתית של מהירות הנסיעה לרצויה.
גם החוקר הגרמני Brilon (מ״מ 4) מביא טבלאות מפורטות של שיעור תאונות ועלות תאונות במעגלי תנועה חד-נתיביים לפני ואחרי התקנתם.

בטבלאות מס׳ 2.9 ,2.8 מוצגים בהתאמה הנתונים עבור מיני מעגל ומעגל קומפקטי.

טבלה מס׳ 2.8: שיעור תאונות לפני ואחרי התקנת מיני מעגלים בגרמניה

Table 2.8: Rate of accidents before and after the installation of mini-circles in Germany

		before	after (Mini)	
accident rate	AR	0,79	0,56	acc. / Mio veh
accident cost rate	ACR	9,47	3,91	€ / 1000 veh

טבלה מס׳ 2.9: שיעור תאונות לפני ואחרי התקנת מעגלים קומפקטיים בגרמניה

Table 2.9: Rate of accidents before and after the installation of compact roundabouts in Germany

	before		after	
	AR	ACR	AR	ACR
Brilon, Stuwe [4]	0.97	14.77	1,62	7,36
Baumert [5]				
urban			0.53	6.02
rural			0,74	10.06
Meewes [6]			0.92	8.0
	acc/10^6 veh	€/10^3 veh	acc/10^6 veh	€/10^3 veh

בתמונה 2.1 מודגמים פתרונות ע״י מעגל התנועה הקומפקטי.
ברילון מציין כי עבור ה״ר וכ״ר המעגל הקומפקטי נראה כבטוח ביותר מכל הצמתים.

באשר לאופניים – עד לכ-15,000 כ״ר/יום אפשר למקמם בתוך המסלול הסובב. מעל זה יש להפרידם למסלול המרוחקים 4-5 מ׳ מהמסלול.
בגרמניה הייתה תמיד גישה מסויגת להתקנת מעגלי תנועה גדולים (מרובי נתיבים). יחד עם זאת הם נדרשים ע״י הציבור. ההסתייגות נובעת מרקורד תאונות גבוה. לצורך גישור על ניגוד זה הומצא טיפוס המעגל הנקרא – מעגל דו-נתיבי חלקי קומפקטי. טיפוס זה נפוץ במספר מדינות.

יחד עם זאת, כדי לצמצם למינימום שימוש בטיפוס זה נקבעו כללים קשוחים להליך מעבר ממעגלי תנועה חד-נתיבים לדו-נתיביים.
מחקרים אחרונים מראים ששיעור התאונות בטיפוס זה של מעגלי תנועה גבוה אך במעט מזה של

תמונה מס׳ 2.1: דוגמאות לפתרונות צמתים ע״י מעגלי תנועה קומפקטיים

המעגל הקומפקטי. החד-נתיבי. כמו-כן, רוב התאונות המדוברות הן מסוג נזק בלבד ושיעורן נמוך במיוחד אם נפחי ה״ר ואופניים נמוכים.

מעגלי תנועה דו-נתיביים מלאים לא מומלצים בגלל ריבוי תאונות שיטתי מסוג תאונות לא קשות. תאונות פציעה קשות הן נדירות.
דווקא יציאות מהמעגל ב-2 נתיבים הן בעיה בטיחותית עקב אינטראקציה שבין תנועה סובבת עם כ״ר העוזבים את המעגל מהנתיב הפנימי יותר במסלול הסובב.

מה שכן ניתן לדווח, הוא כי מעגלי תנועה רבי-נתיבים מרומזרים הוכחו כפתרון טוב במצבים מסוימים. ניסויים באתרים עם נפחים עד ל-50,000 כ״ר/יום היו כמוצלחים הן מהיבט הקיבולת והן מהיבט הבטיחות.

2.2 מאפיינים גיאומטריים משפיעים

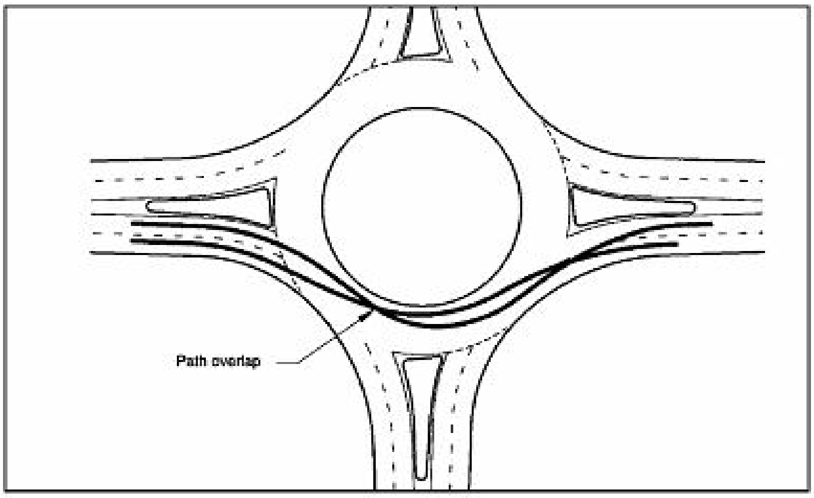
מחקר אמריקאי (מ״מ 9) העריך את השפעת העקמומיות הגיאומטרית והניתוב על בחירת הנהגים בתוואי ומהירות במעגלי תנועה דו נתיביים. באמצעות סימולטור מבוסס pc נאספו נתוני תוואי ומהירות כאשר נהג נסע דרך 6 מעגלי תנועה שנבדלו בנתוני עקמומיות וניתוב בכניסה ויציאה. 75 משתתפים נבחנו. התוצאות הראו שהנבחנים שמרו יותר על נתיבים כאשר במעגלים היתה הבחנה בין הנתיבים. כמו-כן, מהירות העוברים במעגלים היתה גבוהה יותר כאשר רדיוס האי המרכזי היה גדול יותר.

רדיוסים יותר קטנים של הכיכר יורידו את מהירות הגישה אליה למהירות התכן שלה, אך במעגלים דו-נתיביים רדיוסים קטנים יכולים לגרום לרכב בנתיב השמאלי לגלוש לנתיב הימני. דבר המאפשר לנהג להגדיל רדיוס ולשמור על מהירות גבוהה המהווה סיכון גובר לבטיחות. קיימות 2 גישות לתכנון רדיוס הגישה: רדיוס גדול לקטן ורדיוס גדול לקטן.

גישה ברדיוס גדול לקטן מתחילה בסטייה עדינה לימין אשר בהדרגה מחריפה בקצה המסלול הסובב, גישה ברדיוס קטן לגדול מתחילה בסטייה חדה ולאחר מכן משתנה לעקומה רחבה בשולי המסלול הסובב כמתואר בציור מס׳ 2.5.

ציור מס׳ 2.5: דוגמא לחפיפה בין תוואי נסיעה במעגל דו נתיבי

Figure No. 2.5: Example of overlapping between adjacent paths in double lane roundabout



הספרות חלוקה באשר להמלצות לגבי הניתוב בתוך המסלול הסובב כאשר המתנגדים טוענים שסימון זה יכול לגרום תחושת בטחון לא נכונה.

יחד עם זאת Troutbeck and Arndt (1998) (מ״מ 10) עומדים על כך שניתוב במסלול הסובב גורם לנהגים נטייה קטנה יותר לחרוג מנתיבים מכיוון שהם יכולים לראות את גבולותיו. מחקר זה בדק את השפעת גודל הרדיוס והניתוב על בחירת התוואי והמהירות במעגלים דו-נתיביים.

הדבר בוצע בסימולטור נהיגה בהשתתפות 75 נסיינים, גברים ונשים בגילאים 19-89.

הסימולטור דימה נהיגה ב-6 מעגלים הבאים :

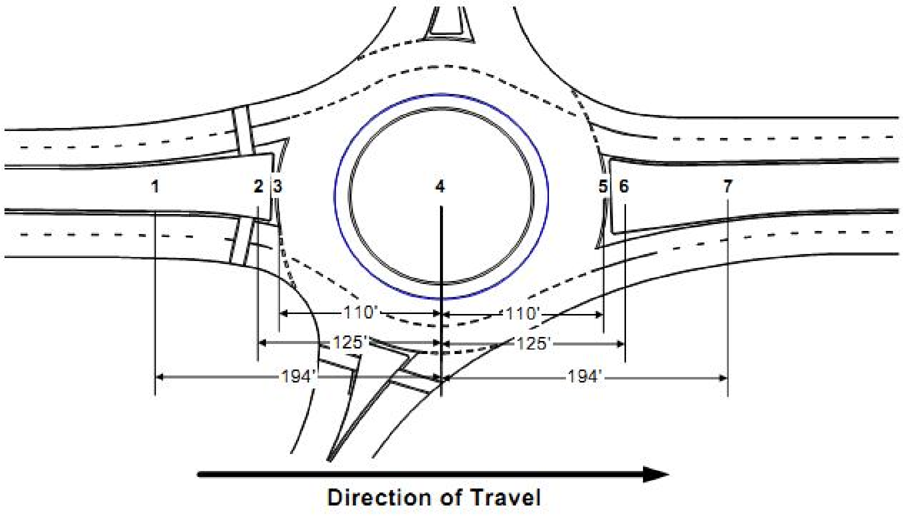
1. מעגל אורבני קיים עם ניתוב.
2. מעגל זהה ל-1 ללא ניתוב.
3. מעגל קיים במחלף ללא ניתוב.
4. מעגל זהה ל-כ עם ניתוב במסלול הסובב.
5. מעגל מותאם דו-נתיבי עם מעבר מרדיוס גדול לקטן.
6. מעגל מותאם דו-נתיבי עם מעבר מרדיוס קטן לגדול.

הנסיינים נהגו פעמיים דרך כל מעגל, פעם אחת בגישה בנתיב שמאלי ופעם שניה בגישה בנתיב ימני. כ״א נמדד ב-7 מקומות במעגל (ציור מס׳ 2) והמיון למיקום היה במפתח בין 9 אפשרויות כמפורט בטבלה 2.10.

טבלה מס׳ 2.10: קריטריון אפשרויות מיקום בנתיבים

Table 2.10: Lane position options criterion

Score	Lane Position	Score	Lane Position
0	Out of left-lane to left	5	Right-lane encroaching on left-lane
1	Encroaching on left-lane edge	6	Centered in right-lane
2	Centered in left-lane	7	Encroaching on right-lane edge
3	Left-lane encroaching on right-lane	8	Out of lane to right
4	Straddling lanes		



התוצאות שנתקבלו: מהירות החולפים במעגל גדול יותר (דו-נתיבי) היתה גבוהה יותר (ממוצע 35.3 mph) לעומת 17.8 mph במעגל קטן.

ניתוח התוואי: לגבי נהגים שהגיעו בנתיב הימני קיום הניתוב מנע מהם גלישה לנתיב השמאלי במסלול הסובב באתר 4.

לרדיוסים בכניסה היתה השפעה קטנה על המיקום באתרים 3/2 כאשר מעבר מרדיוס גדול לקטן גרם להטיה קלה לשמאל בדרך.

מדידות אתרים 1-4 לימדו שללא קשר לנתיב בו התקרבו למעגל או לקיום ניתוב, הנסיינים חלפו מהר יותר דרך המעגלים שבמחלפים כאשר מהירותם נשארת די קבועה לעומת הנסיעה דרך המעגלים העירוניים בהם יש האטה במהירות עד מרכז המעגל ומשם התחלת האצה.

הרדיוסים הגדולים יותר של מעגלים במחלפים מאפשרת לנהגים נסיעה במהירות גבוהה יותר.

ניתוח נתוני תוואי הנסיעה לגבי אותם מעגלים מלמד שלהעדר הניתוב היתה השפעה מוחלטת על המיקום בנתיב באתר 4 כאשר הגישה היתה בנתיב ימני.
בהעדר הניתוב, הנסיינים חרגו לנתיב השמאלי כשהם "חותכים" את המסלול הסובב. הכניסה במעבר מרדיוס גדול לקטן גרמה לכל הנסיינים לחרוג מנתיבם ללא תלות בנתיב הכניסה מעט לשמאל ביחד לכניסה במעבר מרדיוס קטן לגדול.

מאחר והנהגים ב-2 הנתיבים חרגו כמעט באותה מידה יש ספק אם לאפקט זה, התקף בשדה, השפעה על הבטיחות.

השפעת רדיוסי הכניסה על המהירות לא היתה משמעותית. מחקר זה מציע שסימון ניתוב ישפר את הבטיחות בהקטנת קונפליקטים של רכב רכב.

מחקר אחר תקף את הנושא מכוון אחר לגמרי. המחקר (מ"מ 11) העלה סברה שלמרחקי הראות המוגדלים במעגלים יותר גדולים יש השפעה שלילית על הבטיחות. גישה זו מעניינת במיוחד לאור העובדה שעד עתה היה מובן מאליו שהפער הסטטיסטי בין שיעור התאונות במעגלי תנועה רב-נתיביים לחד נתיביים נובע חיכוך בין כ"ר סמוכים, כניסה למעגל לא פנוי ותאונות עצמיות ואילו כאן הנושא נבדק מכוון אחר לגמרי.

המאמר חקר את נושא הקשר בין מרחק הראות של הנהג כמשתנה עצמאי לחיזוי מהירויות רכב הנוסעים ושיעורי תאונות הרכב במעגלי תנועה בארה"ב מבוסס על נתונים שנאספו ב-26 מעגלים חד-נתיביים.

לצורך כך, נלקח כפרמטר האחוזון ה-85 של מהירות הכניסה מאחר ובמודלים אחרים בתחום התפעול נלקח פרמטר זהה.
פותחו מודלים אשר חוזים את מהירות הגישה של האחוזות ה-85, מהירות הכניסה של האחוזון ה-85 וחישוב ההפרש ביניהם.
פותחו מודלים לחיזוי תאונות דרכים במעגלים ואלה המוצגים במאמר יכולים לשמש לחיזוי מהירויות גישה וכניסה ושיעור תאונות הדריכם.
המודלים שפותחו כאן אינם מתייחסים לגורם האנושי שלו השפעה משמעותית על אלה ובי היתר גיל הנהג ומינו.
נאסף מגוון של נתונים מאפיינים גיאומטריים של המעגלים שנכללו בתצפיות, כאשר מהם הוצאו נתוני מרחקי הראות בגישה לכל מעגל.
מהירויות האחוזון ה-85 ושיעורי תאונות הדרכים נבחרו המשתנים התלויים כאן. כאמור, נכללו 26 מעגלים בכל רחבי ארה״ב, חלקם בני 4 זרועות וחלקם בני 3 זרועות. ב-98 גישות בוצעו המדידות ששימשו לפיתוח מודל המהירות ו-80 גישות שימשו לפיתוח מודל שיעורי התאונות. נבדק תחילה קיום התפלגות נורמלית במהירויות.

לאחר מכן, באמצעות רגרסיה לינארית פותחו שני המודלים הקושרים, כאמור, בין <u>מרחק הראות</u> בגישה למעגל כמשתנה הבלתי תלוי למהירות הגישה אליו כאשר מקדם המתאם בנוסחת הקשר מצביע על מתאם גבוה מאוד בין המשתנה הבלתי תלוי למשתנה התלוי, כאשר השונות הנותרת מוסברת בגורמים אנושיים.
משוואה 2.8 מתארת את המודל שהתקבל:

$$AppSpd = 0.0334 \times InterSD \qquad (2) \qquad (2.8)$$

where:
AppSpd = 85th percentile approach speed, mph
InterSD = Intersection sight distance, ft.

המודל מצביע על כך שמהירות הגישה גדלה ביחס ישר לגידור במרחק הראות בגישה. בדומה פותח מודל (2.9) לתלות של מהירות הכניסה למעגל במרחק הראות והוא נראה כך:

$$EntSpd = 0.0212 \times InterSD \qquad (3) \qquad (2.9)$$

where:
EntSpd = 85th percentile entrance speed, mph
InterSD = Intersection sight distance, ft.

אף מודל זה בעל מובהקות גבוהה.
כמו-כן, פותחו המודלים – מודל לתלות מהירות הכניסה במרחק הראות של המסלול הסובב (2.10):

$$EntSpd = 0.1429 \times CirSD \quad (4) \qquad (2.10)$$

where:
EntSpd = 85th percentile entrance speed, mph
CirSD = Circulating sight distance, ft.

וכן מודל לתלות מהירות הכניסה במרחק הראות בגישה ובמרחק הראות במסלול הסובב גם יחד (2.11):

$$EntSpd = 0.0112 InterSD + 0.0553 CirSD \quad (5) \qquad (2.11)$$

where:
EntSpd = 85th percentile entrance speed, mph
InterSD = Intersection sight distance, ft.
CirSD = Circulating sight distance, ft.

כל המודלים הצביעו על גידול מהירות הכניסה ביחס ישר לשיעורי מרחקי הראות.
כמו-כן, פותח בהמשך מודל להפרש בין מהירות הגישה למהירות הכניסה כתלות במרחק הראות (2.12) שניתוחו גם מצביע על מתאם גבוה בין המשתנים:

$$DiffSpd = 0.01204 \times InterSD \qquad (2.12)$$

where :
DiffSpd = Difference between 85th percentile approach speed and 85th percentile entrance speed at roundabout entrance, mph
InterSD = Intersection sight distance, ft.

מודל נוסף שפותח הוא הקשר בין הפרש בין מהירויות הגישה והכניסה למרחק הראות במסלול הסובב (2.13):

$$DiffSpd = 0.0071 \times CirSD \qquad (2.13)$$

where:
DiffSpd = Difference 85th percentile approach speed and 85th percentile entrance speed at roundabout entrance, mph
CirSD = Circulating sight distance, ft.

כמו כן, פותחו 3 מודלים לחיזוי תאונות במעגלי תנועה כתלות במרחקי הראות.

הראשון לתאונות פנים-אחור (2.14), השני לתאונות עקב אובדן שליטה ברכב (2.15) והשלישי לסך כל התאונות מודל חזוי תאונות פנים אחור כתלות במרחק הראות (2.16):

$$Ent\ Rear = 0.0031 \times CirSD \qquad (8) \qquad (2.14)$$

where :
EntRear = Entry, rear-end crashes per year
CirSD = Circulating sight distance, ft.

ניתוח סטטיסטי של מודל זה מראה על מתאם גבוה יותר מאשר במודלים בהם משולבים מספר משתנים בלתי תלויים לחיזוי שיעור התאונות.

מודל חיזוי תאונות עקב אובדן שליטה:

$$Loss = 0.002 \times InterSD \qquad (9) \qquad (2.15)$$

where :
Loss = Loss of control, crashes/year
InterSD = Intersection sight distance, ft.

גם מצביע על מתאם גבוה המשתנה התלוי ללא תלוי במיוחד בהתחשב בעובדה שזהו מודל שנשען על משתנה בלתי-תלוי בודד.
גם כאן, המתאם שהתקבל גבוה מזה שמתקבל במודלים בהם שולבו 5 משתנים בלתי תלויים או יותר.
בעזרת רגרסיה לינארית פותח מודל לינארי שחוזה את סך כל התאונות:

$$TCrash = 0.0058 \times CirSD \qquad (2.16)$$

where :
TCrash = Total crashes, crashes/year
CirSD = Circulating sight distance, ft.

ניתוח סטטיסטי מצביע על מתאם גבוה בין המשתנה התלוי ומשתנה בלתי תלוי אחד.

מירב התאונות ארע בכניסה למעגל התנועה והניתוח מצביע על כך שככל שמרחק הראות במסלול הסובב גדל, גדל גם שיעור התאונות, כלומר גם כאן, התוצאות הפוכות לאינטואיציה, ואולם הניתוח מראה שהתוצאות תואמות את הממצא במודלים הקודמים שהוצגו. תוצאות אלה תואמות מחקר שבוצע בבריטניה אשר קבע שמרחק ראות גדול מדי (!) גורם לגידול מספר תאונות הדרכים שהמהירות גדלה כפונקציה של גידול מרחק הראות.

מקובל להניח ששיעור התאונות תלוי בעיקר בנפחי התנועה ואולם המוצג כאן מראה שלנתון מרחק הראות במעגלי התנועה לפחות מתאם יותר גבוה עם שיעורן, דבר מפתיע בהחלט ולא צפוי.

דו״ח NCHRP מס׳ 572 – מעגלי תנועה בארה״ב

נציין את הדו״ח החשוב של NCHRP, דוח מס׳ 572 - מעגלי תנועה בארה״ב , 2007 (11) (מ״מ 12) אשר מעבר להיותו מסמך מקיף ומסכם את הנושא, היו שותפים להכנתו חוקרים בולטים בנושא מרחבי העולם ועל-כן לנאמר בו חשיבות יתר.
בהתבסס על בחינה מקיפה של מעגלי תנועה בארה״ב, הדוח מציג שיטות להערכת הבטיחות וההשפעות התפעוליות של מעגלי תנועה ומעדכן קריטריונים לתכנון עבורם.

הדו״ח מציין שמאחר ותכנון מעגלי תנועה יחסית חדש לאמריקאים היתה רתיעה מלהכניסם ועל רקע העובדה שהתנהגות הנהגים שונה מארץ לארץ מעלה שאלה על מידת הרלוונטיות של מחקרים וממצאים בארצות אחרות לגבי ארה״ב. על-כן, מידע נוסף על בטיחות ותפעול מעגלי תנועה בארה״ב יהיה מאוד לעזר למתכננים בשאלה היכן מעגלים יפחיתו תאונות ועיכובים ובעידון הקריטריונים הנמצאים בשימוש. הדברים אמורים במיוחד לגבי הולכי רכל ורוכבי אופניים.

בעבודה זו נסקרו מודלים של תפעול ובטיחות. לאחר יצירת מאגר מקיף של מעגלים בארה״ב, נאספו נתונים מקיפים ממעגלים מייצגים לגבי מאפיינים גיאומטריים תפעוליים ובטיחותיים. במיוחד הושם הדגש על מעגלים עתירי תנועת ה״ר ואופניים.

לאחר מכן נבדקו המודלים האנליטיים השונים על מנת לראות באיזה מידה הם משקפים את המציאות בארה״ב. המודלים הטובים ביותר עודנו (הותאמו).

שאלות ספציפיות אלה הופנו לנושא ה״ר :

* איך ה״ר מתנהגים כשהם חוצים זרוע של מעגל? האם חוצים במעבר חצייה? האם חוצים בשלב אחד או שניים?
* מה התנהגות נהגים לגבי מתן זכות קדימה כשרואים ה״ר שמתכנן לחצות או חוצה?

* האם התנהגויות 2 הצדדים יוצרות מצבים מסוכנים? האם יש קונפליקטים ביניהם ומה הסיבות?

* איך התנהגויות 2 הצדדים בהשוואה למצבים בצמתים מסוגים אחרים?

* מה המאפיינים הגיאומטריים או התפעוליים אשר נוטים ליצור בעיות לה״ר או נוטים ליצור מצב יותר בטוח?
האם יש הבדלים בין זרועות נתיב אחד או 2 נתיבים?

* האם איזה שהוא מאפיין משתנה גיאוגרפית?

השאלות זהות לאלה שלגבי רוכב אופניים חוצים, אולם לגבי רוכב אופניים הנכנסים למעגל היו שאלות נוספות:

* איך רוכב אופניים ונהגים מגיבים זה לזה בגישה למעגל ובתוך המעגל הסובב? איפה הרוכבים ממקמים עצמם? האם הם "משתלטים" על הנתיב?

* האם יש קונפליקטים או תמרונים למניעת מגע ביניהם בגישה ובמעגל?

* איזה התנהגויות של רוכבים מגבירות את בעיות הבטיחות? (נהיגה נגד הכוון, פניה שמאלה אסורה)

ביצועים בטיחותיים

כללית, מעגלי תנועה שיפרו הן את סטטיסטיקת התאונות הכללית ובמיוחד תאונות פציעה ביחס לכל פתרונות הצומת שקודם לכן פרט לצומת "4 עצור".

כמו-כן, למעגלי תנועה בני נתיב אחד ביצועים בטיחותיים טובים יותר מאשר לאלה רבי-הנתיבים. ביצועים בטיחותיים אלה רגישים במיוחד לפרטי התכנון.

מחקר זה הגיע לכמה ממצאים עיקריים:

* מודלים לחיזוי תאונות בצומת עבור ביצועי הבטיחות לכלל הצומת (מעגל). המודלים מתייחסים למס' נתיבים, מס' זרועות ונפח תנועה יומי.
* מודלים לחיזוי תאונות בגישות למעגל התייחסות לסוגי תאונות השכיחים עפ"י נפח יומי ופרמטרים גיאומטריים עיקריים שנמצאו משפיעים על כך.
* השוואה עדכנית בין מעגלי תנועה לפתרונות צומת אחרים.

נמצא שפרטי הגיאומטריה בעלי השפעה פחותה על תפעול מעגלי התנועה מאשר התנהגות הנהגים.

המחקר הגיע לכמה ממצאים באשר להתנהגות ה"ר ורוכבי אופניים במעגלי תנועה:

* המחקר לא מצא בעיות בטיחותיות משמעותיות ללא ממונעים.
* יכולת השימוש שלהם יכולה להיות מושפעת בעתיד לרעה כתוצאה מעליה בנפחים.

* מעגלים רבי נתיבים עשויים לדרוש אמצעים נוספים לשיפור בעניין התנהגות הנהגים, ה״ר ואופניים.

מטרת המסמך – פיתוח כלים לתכנון נכון תפעולית, גיאומטרית ובטיחותית של מעגל עבור המתכנן המיומן בתכנון צומת.

תחום המחקר

* אינוונטר מעודכן של מעגלים נגישים לאיש המקצוע.
* מודלים ברמת התכנון המוקדם וחיזוי הבטיחות בהם
* מודלים ברמת תכנון מפורט לחיזוי בטיחות במעגל נתון.
* השוואה מורחבת בין ביצועי צומת לפני ואחרי התקנת מעגל.
* תהליך עדכני לניתוח קיבולת מעגלים.
* הערכות עיכוב, אורך תור עבור מעגלים חד ורב-נתיביים
* כלים חדשים לחיזוי מהירות בתהליך תכנון מפורט.
* מחקר מקיף על התנהגות ה״ר ואופניים במעגלים.
* מדריך עדכני לתכנון מבוסס על האמורים לעיל.

מודלי בטיחות שפותחו במסגרת מחקר זה

* פיתוח פונקציות (SPFs) ביצועים בטיחותיים ברמת הצומת להערכת הסיכוי לתאונות בזמן התכנון המפורט ע״י בחינת מודלים קיימים וכיולם מחדש (אם ניתן) ופיתוח חדשות אם הקיימות אינן מתאימות לארה״ב.
* פיתוח והערכת (SPFs) לגישות למעגל כדי לחקור יחסי תכנון והערכת טיבם של המודלים להערכת תאונות בגישות.

מודלי בטיחות שפותחו (המשך)

* הערכת הפוטנציאל של מודלים הקושרים מהירות בבטיחות – הן אבסולוטיות והן יחסית. הרציונל מאחורי זה שפרופילי מהירות הם הצהרת הנהג על תגובתו לתכנון.
* פיתוח השוואה מורחבת בין לפני ואחרי התקנת המעגל בצומת.

גישה לניתוב ה"ר ואופניים

הבסיס, איסוף נתונים רבים לגבי התנהגות ה"ר ורוכבי אופניים ונהגים. נערכו סטטיסטיקות, אשר הגדירו את פעילות והתנהגויות מרכיבים אלה. אחירם בעלי התנהגויות שונות בהרבה מהממוצע נחקרו למצוא גורמים תורמים לכך. התוצאות הושוו למחקר FHWA בנושא. ההתנהגויות הושוו לצמתי T עצור ו-4 עצור ומרומזרים.

מודלים של חיזוי בטיחות

כיום, עיקר העיסוק של המודלים הוא בשיפור, אם יש, בבטיחות עם התקנת המעגל ביחס למצב לפני כן. לכן, הנושא לא קיבל תשומת לב ראויה. דוח זה סוקר את המודלים השונים הקיימים לחיזוי בטיחות ביחס לפרמטרים גיאומטריים מבריטניה, אוסטרליה, צרפת ושודיה.
ציור 2.6 מציג את סיכום סוגי התאונות שנצפו. כפי שניתן לראות, רוב התאונות התרחשו במעגלי תנועה רב-נתיבים והיו מסוג רכב סובב-רכב יוצא או פנים-אחור.

ציור מס' 2.6: סיכום כל התאונות שנצפו

Figure No. 2.6: Summary of all observed accidents

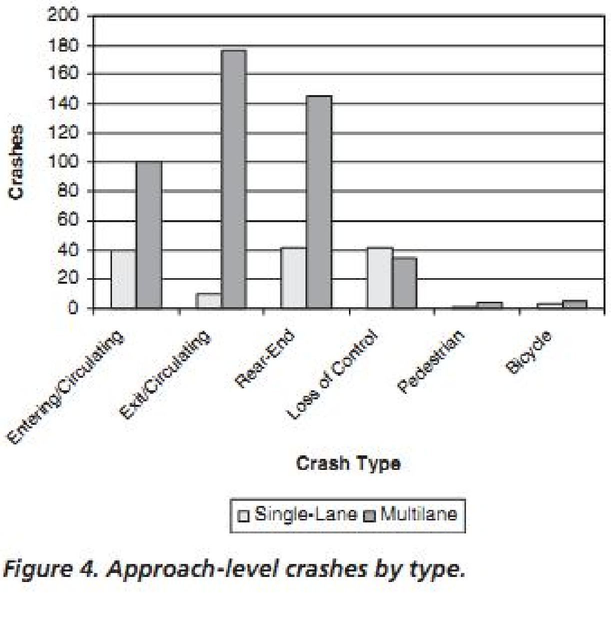


Figure 4. Approach-level crashes by type.

ממצאים בנושא הבטיחות

המודלים מארצות האחרות כוילו לנתונים האמריקאים ונערכו עליהם מבחני התאמה סטטיסטית ונמצא כלא מתאימים היטב.
נמצאו גם מגבלות נוספות:

* אין מודל ליותר מ-4 זרועות ויותר מ-2 נתיבים סובבים.

* רק מודל אחד חוזה את כלל התאונות במעגל ובנוי על מס׳ תאונות כפונקציה לינארית של גודל הנפח, כלומר מניח קשר לינארי. לפיכך, המסקנה שיש לפתח מודלים חדשים לחיזוי תאונות עבור נתוני ארה״ב

מודלים חדשים עבור הנתונים האמריקאים

לאור המסקנות מיישום מודלים זרים על נתוני ארה״ב, פותחו מודלים חדשים שכוילו ישירות על הנתונים האמריקאים. המודלים שפותחו הם בעלי הצורה הכללית והגמישה הבאה (נוסחה 3-1):

$$Crashes/year = \exp(Intercept) \cdot AADT^{b_1} \exp(X_1 + \cdots + X_n) \quad (3\text{-}1)$$

where

$AADT$ = average annual daily traffic entering the intersection

$X_1 \cdots X_n$ = independent variables other than AADT in the model equation

b_1 = calibration parameter

מודלים לחיזוי מס׳ תאונות

מסמך זה מציין כי למעגלי תנועה בני נתיב אחד ביצועים בטיחותיים טובים יותר מאשר לאלו הדו-נתיביים ומעלה ואילו רמת הביצועים הבטיחותיים באלו האחרונים רגישה במיוחד לפרטי התכנון הגיאומטרי. כמו-כן נקבע שם כי המעגלים הדו-נתיביים ומעלה דורשים אמצעים נוספים לשיפורם הבטיחותי עפ״י ההתנהגות של המשתמשים בדרך.

באשר למודלים לחיזוי שיעור תאונות, מצוין שם כי מודלים כאלה קיימים למעגלים שבהם המסלול הסובב בן 2 נתיבים לכל היתר.

המסמך מחלק את המודלים ל- 3 סוגים: הראשון, ברמת הצומת, השני, ברמת הגישות – גיאומטריה והשלישי ברמת הגישות – מהירויות.

במודלים מהקבוצה הראשונה, בדרך כלל המתכונת היא שורה של משתנים וביניהם מס׳ הנתיבים, כאשר סכומם מועלה בחזקה המהווה מקדם התאמה לקבלת שיעור התאונות החזוי. דבר זה מבטא את תרומת מס׳ הנתיבים שנלקחת בחשבון לשיעור התאונות. טבלת סיכום להשוואת המודלים מסוג זה מוצגת להלן ומראה שיעור תאונות גדול פי כ- 1.6 במעגלים בני 2 נתיבים לעומת אלה בני הנתיב האחד ושיעור גדול פי כ- 4 באלה בני 3 ו- 4 נתיבים ביחס לאלה בני הנתיב האחד.

במודלים האחרים לא מופיע משתנה מס׳ הנתיבים ועל-כן אין אפשרות להשוות בין מעגלים בני מס׳ נתיבים שונים.

המסמך מציג ניתוח לפני – אחרי שאחת ממסקנותיו היא שהשיפור הבטיחותי שהושג, דהיינו, ההקטנה בשיעור תאונות הדרכים ביחס לצמתים בני אותו מספר נתיבים שהיו לפני התקנת המעגל, היה גדול יותר במעגלים חד-נתיביים מאשר זה שבמעגלים הדו-נתיביים.

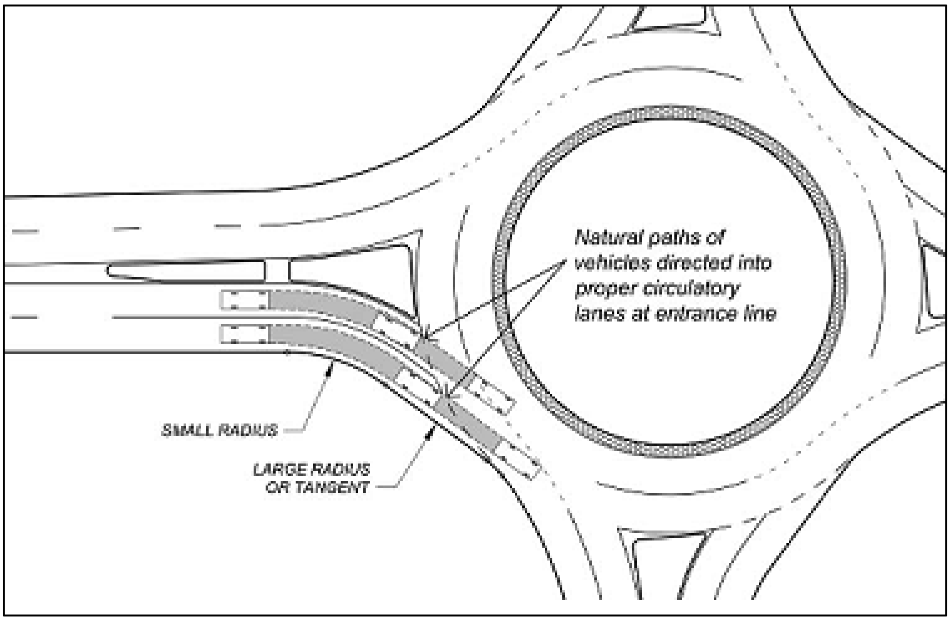
התייחסות נוספת למעגלי תנועה רב-נתיביים קיימת בהמשך.

דוח NCHRP מציין ש-8 מתוך 10 מעגלי התנועה בעלי מספר התאונות הרב ביותר בבסיס הנתונים שבידו הם מהסוג הרב-נתיבי למרות שחלקם בכלל המעגלים הוא שליש בלבד.

כפי המוראה בציור שלהלן, הדבר הגיוני במיוחד לאור העובדה שרובם תוכננו לפני פרסום ההנחיות. חקירת ממצא זה העלתה שרוב המעגלים תוכננו ללא שימוש בתפיסת "מסלול הרכב הטבעי" לתכנון מעגלי תנועה של ה- FHWA.

ציור מס' 2.7: גיאומטריה בשיטת "מסלול הרכב הטבעי"

Figure No. 2.7: Geometry in the "natural paths of vehicles" method



גורם נוסף שאותר כמשפיע על שיעור התאונות הוא רוחב נתיבים קטן מדי.
הנתיבים היו ברוחב של 3.0-3.4 מ' כל אחד בזרוע הנכנסת והמסלול הסובב היה ברוחב של כ-6.7 מ' בלבד, זאת לעומת הנחיות FHWA שהתפרסמו אח"כ וקבעו רוחב של 4.0-4.9 מ' לנתיב בזרוע הכניסה ורוחב מסלול סובב של 7.9-9.1 מ'.

מהשוואת תוואי הנסיעה הטבעית (Natural path) ותוואי נסיעה מהירה (Speed path) נמצא שהם זהים בגישות וביציאות, כלומר גורם זה לא מהווה פוטנציאל לתאונות ועל-כן, התחזקה ההשערה שרוחבי נתיבים קטנים מדי בזרועות הם הגורם לשיעור תאונות מוגדל.

הנטייה בהרבה ארצות לחשוב שככל שרוחב זרוע הכניסה גדל (ואז גם מס' הנתיבים גדל) הסיכוי לתאונות אף הוא גדל. תוך שימוש ברגרסיה לינארית יצרו Maycock ו-Hall (מ"מ 13) בבריטניה יחס אמפירי בין רוחב הכניסה לבין מס' התאונות בין תנועה נכנסת לתנועה סובבת.

אותו מודל משתמש ברוחב הכניסה כמשתנה ולא במס' הנתיבים. בדומה Kimber (מ"מ 14) השתמש באותם פרמטרים ליצירת יחס אמפירי. רוב המודלים האחרים לוקחים בחשבון את מספר נתיבי הכניסה ולא את רוחבה.

ניתוח הנתונים בארה"ב מראה שעיקרון זה תואם אותם אף שם. נמצא שרוחב הכניסה נמצא ביחס ישר לשיעור התאונות בין תנועה נכנסת לסובבת.

בעבודה זו ניתנו המלצות לגבי ערכי הפער הקריטי אשר עיקרן הפחתה בערכיו במידת מה לעומת אלה שבהנחיות ה-FHWA, אולם, מאחר ונושא השפעת ערך זה על מרחקי הראות הנדרשים וקביעת האיזון הרצוי בין מרחקי ראות מינימליים רצויים לבין מרחקי ראות גדולים מדי עדיין לא נחקר כראוי, ההמלצות הן המלצות ביניים בלבד.

נושא הגלישה מנתיבי הנסיעה (OVERLAP) במהלך הנסיעה בתוך המסלול הסובב הוזכר לראשונה ב-FHWA INFORMAL GUIDE וההמלצה בו היתה שזרועות הכניסה יתוכננו כך שהן מכוונות בכניסה ישירות לנתיבים שבמסלול הסובב (ציור מס' 2.7).

בדומה זרועות היציאה יתוכננו כך שהנתיבים ביציאה יהיו בהמשך ישיר לנתיבים במסלול הסובב. ניתוח כללי של נתוני הבטיחות במעגלים הרב נתיביים מוביל למסקנה ששיעור התאונות גבוה יותר במעגלים בהם עיקרון תכנוני זה לא מתקיים.

מסקנותיו שעל מעגלים רב-נתיביים להיות מתוכננים בקפדנות למנוע חפיפה בין תנועות כניסה ויציאה. ברוב המעגלים עתירי תאונות הדבר בלט.

במעגלי תנועה רבי-נתיבים קיים שיעור גבוה יותר של נהגים שאינם נותנים זכות קדימה להו"ר הן בכיוון הכניסה למעגל והן ביציאה ממנו. יחד עם זאת אין ממצאים סטטיסטיים (בארה"ב!) של שיעור תאונות מוגדר אולם הדבר עלול להביא להפחתת השימוש במעברי חצייה במעגלי תנועה ע"י הו"ר.

ואולם בנגוד לכך, נמצא שככל שרוחב הזרוע הנכנסת גדול יותר כך גדל שיעור התאונות בין רכב נכנס ורכב סובב. גם לזווית שבין זרועות הכניסה, יש השפעה על שיעור התאונות וכאן גם כן בין רכב נכנס לרכב סובב.

הדוח גם מציין כי במעגלי התנועה הרב-נתיביים, קיימת נטיה מוגברת של הנהגים שלא לתת זכות קדימה להו"ר הן במעברי החציה בכניסה והן באלה שביציאה. אף שהסטטיסטיקה (בארה"ב) אינה מצביעה על גידול בשיעור התאונות עקב כך, יש בכך כדי להרתיע הו"ר מלעשות שימוש בכלל במעברי חציה שבמעגלי תנועה.

עבודה אשר נעשתה בניו-זילנד ע"י Turner ו- Francis , 2006 (1) (מ"מ 15), מציגה פיתוח מודלים לחיזוי שיעור תאונות בסוגי צמתי שונים ובתוכם מעגלי תנועה. המודלים המוצגים הם במתכונת:

$$A = b_0 x_1^{b_1} x_2^{b_2}$$

שבה:

A	is the annual mean number of accidents
x_n	is the average daily flow of vehicles, pedestrians or cyclists
b_n	are the model coefficients

מכאן שמספר הנתיבים לא מופיע כמשתנה ישיר המשפיע על שיעור התאונות ואולם, הקורלציה בין מספר הנתיבים לבין הנפח ידועה ועל-כן תרומת מס' הנתיבים מופיעה במודלים אלה.

2.3 השפעת הסדרי תנועה ואביזרי תנועה

אין ספק שהסדרי תנועה נכונים מהווים נדבך חשוב ברמתה התפעולית והבטיחותית של הכיכר אם זו בת נתיב אחד ואם זו כיכר דו או רב נתיבית.

מהדורת MUTCD החדשה (2009) (מ"מ 16) מכילה חידושים בתחום הניתוב ושילוט ההדרכה ליישום במעגלי תנועה. אמצעים אלה תוכננו מתוך כוונה להמחיש לנהג את האופן הגיאומטרי לו הוא נדרש בנסיעתו ליעד ספציפי במעגל.

עקב חוסר ידע באשר למידת הבנת הנהג את אמצעי מעגל התנועה נערך לקראת הוצאת מהדורת MUTCD החדשה מחקר ע"י NCHRP (מ"מ 17) באשר לאספקט הגורם האנושי בנושא זה. האובייקטים הנחקרים היו בעיקר ניתוב כניסה באמצעות חיצי "וו-חכה", שילוט מקדים עם חיצי עקומות מעגל וסימון ספציפי של הכיכר המרכזית בחיצי הניתוב והשילוט.

במסגרת המחקר הוצגו בשיטת "החשיפה להרף עין" סוגים שונים של חיצי הדרכה על הכביש ושלטי הדרכה עם מגוון חצי הכוונה בתוכם בפני ציבור ניסיוניים אשר נתבקשו לאחר מכן להגדיר את תוואי הנסיעה שהיו בוחרים בו לפי יעד נסיעה שהוגדר להם וכן להגדיר את מידת ביטחונם בבחירתם.

סוגי חצי ההכוונה על הכביש שנכללו בניסוי:
סימוני חיצים על הכביש, חיצי פניה ונסיעה ישר בשני הנתיבים, חיצי פניה בלבד בנתיב שמאלי, ישר וימינה בנתיב ימני, חץ נסיעה ישר בלבד בנתיב שמאלי, חץ פניה ונסיעה ישר בנתיב ימני, וללא סימון חיצים בכלל, שלטי הדרכה, חיצים "רגילים", חיצי "מעגל תנועה", תמרור אזהרה באי המרכזי במעגל התנועה, "שברון" שחור על צהוב, "שברון" שחור על לבן מלווה בתמרורי רח' חד סטרי.

התוצאות הופרדו לאלה שעבור הנסיינים שהוטל עליהם להגיע ליעד שאליו יש לפנות שמאלה, אלה שעליהם להמשיך ישר ואלה שעליהם לפנות ימינה. מבחן סטטיסטי בוצע על התוצאות לקבלת מובהקות התוצאות. טבלה מס׳ 2.11 מתארת אותן.

טבלה מס׳ 2.11: השפעת ניתוב ושילוט על בחירת הנתיב הפנימי במעגל לפניה שמאלה

Table 2.11: Impact of marking and signing on inner lane selection in the circular carriageway for taking left turn

Advance Guide Sign Condition	Pavement Marking	Correct Lane Choice	Between-Condition Comparisons
Conventional	Baseline	71.7 % (N=113)	No pavement marking presence (as experimental reference).
	Conventional Through-Left Turn	72.6 % (N=117)	No statistical difference from baseline or fishhook conditions
	Conventional Through-Only	51.7 % (N=116)	Fewer correct lane-choice responses than other tested conditions (α <.01).Lower confidence ratings than baseline (α <.05).
	Conventional Left-Only	74.1 % (N=116)	No statistical difference in correct lane-choices from baseline condition.
	Fishhook	68.4 % (N=117)	A larger proportion (α <.01) of correct lane-choices than through-only marking. Fewer correct lane choices (α <.01) than baseline.
Curved-Stem Arrow	Baseline	59.1 % (N=115)	Fewer correct lane-choice responses (α <.05) than corresponding baseline with conventional guide sign.
	Conventional Through-Left Turn	70.1 % (N=117)	No statistical difference from left-only or fishhook marking conditions.
	Conventional Through-Only	53.9 % (N=115)	Fewer correct responses (α <.01) than other tested conditions
	Conventional Left-Only	72.2% (N=114)	Not statistically different from through-left turn or fishhook marking conditions.
	Fishhook	75.0 % (N=116)	A larger proportion (α <.05) of correct lane-choices than Baseline and through-only markings.

אחוז הנהגים שקיבלו החלטה נכונה באשר לבחירת הנתיב <u>לפניה שמאלה</u> נתקבל עבור הצרוף שבין שלט הדרכה עם חצי הכוונה של מעגל תנועה וסימון חצים על הכביש מסוג ״וו-חכה״. הדבר מוסבר בכך שהנהג מזהה את הנתיב המתאים לנסיעתו עפ״י הזהות בין החץ שבשלט ליד היעד שאליו הוא נוסע לבין החץ שעל הכביש.

הניתוח הסטטיסטי גם הצביע על כך שאין הבדל של ממש בטיב החלטת הנהגים בין חץ פניה שמאלה רגיל לחץ שמאלה מסוג ״וו-חכה״.

בהעדר סימון חיצים על הכביש שלט עם חיצים רגילים נתן תוצאות יותר טובות משלט עם חיצי מעגל תנועה. יתכן שכדבר נבע מחוזר היכרות של הנהגים בארה"ב עם החיצים עבור מעגל תנועה.

גם במקרה של כיון נדרש לנסיעה – ישר, התוצאות הטובות ביותר שהתקבלו היו במקרה של צירוף שלט עם חצי מעגל וחצי וו-חכה על הכביש.
באשר לפניה ימנית, לא נמצא הבדל בתוצאות בין סוגי האמצעים.

בשאלון שהומצא לנסיינים לאחר הניסוי נמצא באשר לפניות שמאלה שצרוף חץ "וו-חכה" ישר ושמאלה יחד עם שלט עם חיצי מעגל מפיקים את הרגשת הביטחון הגבוהה ביותר באשר לקבלת ההחלטה הנכונה, וכן שישנו בטחון גדול יותר באשר להחלטה הנכונה כאשר מסומן חץ ישר ושמאלה ולא חץ שמאלה בלבד.

כמו-כן, נמצא שקיום "שברונים" על האי המרכזי של מעגל התנועה תורם להבחנת הנהגים בכך שנכנסו למעגל ולהפחתת מקרי ההתנגשות בו.

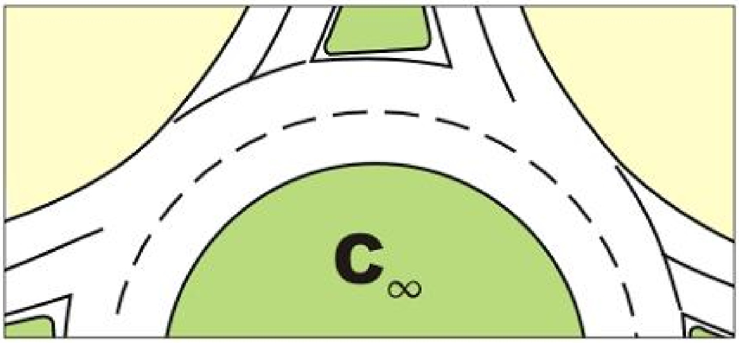
מחקרים שונים בחנו אופנים דרכים שונות לקביעת הסדרי התנועה בכיכר וגם בנושא כרבים אחרים אין אחידות דעים. חלק זה בכבודה יסקור את מאמרים נבחרים בנושא.

2.3.1 ניתוב

ניתוב יעיל של הכיכר והגישות אליה מהווה נדבך עיקרי ברמת תפעולה ובטיחותה של הכיכר.
בדרך כלל מדובר בהנחיות על אופן הניתוב הטריוויאלי בכיכר הדו-נתיבית, דהיינו, זה המחלק את המסלול הסובב לנתיבים שבו באופן רציף כמוראה בציור מס' 2.8.

ציור מס' 2.8: אופן הניתוב המקובל בכיכר דו-נתיבית

Figure No. 2.8: Customary way of lane marking in double lane roundabout



ואולם, קיימות אפשרויות רבות נוספות לניתוב המסלול הסובב יחד או ללא חיבור עם זרועות הכניסה ו/או היציאה.

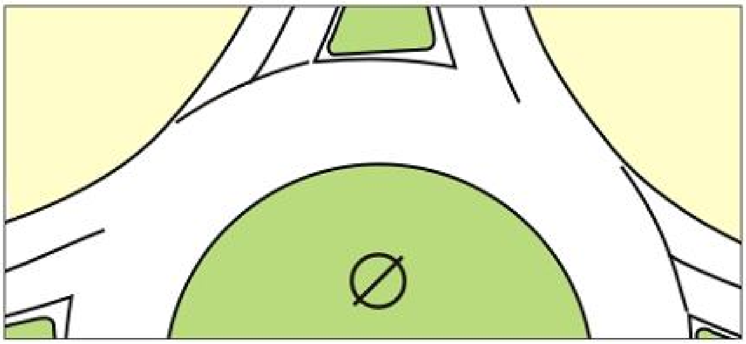
החוקר Kinzel, 2007 (מ״מ 18) סוקר ומנתח את שלל אפשרויות ניתוב הכיכר הדו-נתיבית. Kinzel מציין שכל האפשרויות שהוא מנתח, תואמות את ההנחיות הכלליות של ה- MUTCD – משרד התחבורה האמריקאי.

להלן מגוון האפשרויות הנסקרות שם :

- ״ללא ניתוב״ – מוצגת בציור מס׳ 2.9. זוהי דווקא אפשרות הנהוגה עדיין במקומות רבים והמחשבה העומדת מאחוריה היא שלמעשה רוב כ״ר מבצעים תנועות של מעבר וחציית נתיבים ואינם מבצעים בתוך הכיכר נסיעה ארוכה יחסית בתחומי נתיב מסוים אחד ועל-כן, מוטב שלא לסמן דבר.

ציור מס׳ 2.9: כיכר ללא ניתוב

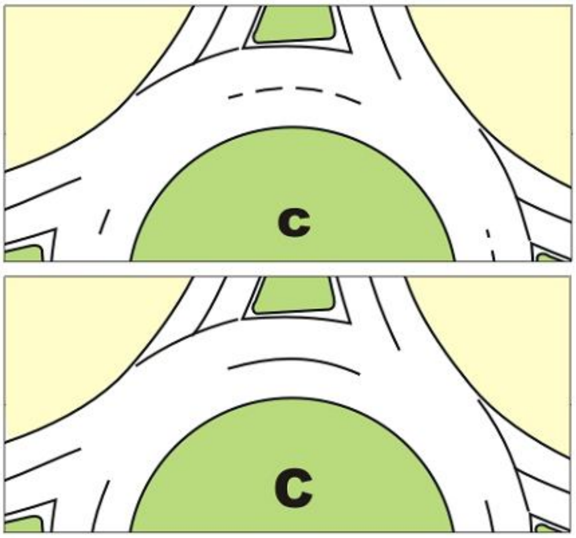
Figure No. 2.9: Roundabout without marking



- ניתוב מנחה בכניסה וביציאה – ניתוב מתמשך מעט אל תוך הכיכר וממנה ליציאות אולם ללא ניתוב במסלול הסובב. הדבר מנחה את הנהגים להסתדר בנתיבי נסיעה נפרדים אולם אינו קיים באזור שבו ממילא קיימים מעברי נתיבים רבים. הדבר מוראה בציור מס׳ 2.10.

ציור מס׳ 2.10: ניתוב חלקי במסלול הסובב

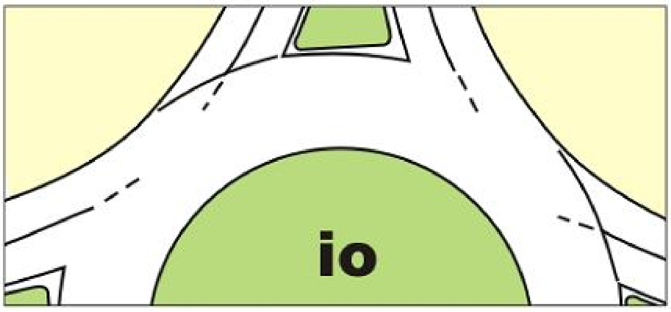
Figure No. 2.10: partial marking in the circular path



- ניתוב חלקי במסלול הסובב – ניתוב במסלול הסובב בקו מרוסק או רצוף (בישראל עפ״י תקנות התעבורה השני לא חוקי) במתכונת הרגילה של מפגש שתי דרכים בצומת שבה הניתוב בכל אחת מפסיק בתוך הצומת. דבר זה יכול לתרום לסדר בנסיעה בתוך הכיכר ולהבהיר לנהגים את עצם קיומם של כמה נתיבים במסלול הסובב, דבר שלא תמיד ברור לכולם. הדבר מוראה בציור מס׳ 2.11.

ציור מס׳ 2.11: ניתוב מ/אל כניסות/יציאות בלבד

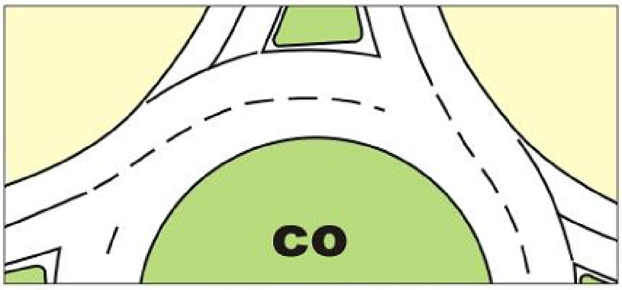
Figure No. 2.11: Marking from/to approaches/exits only

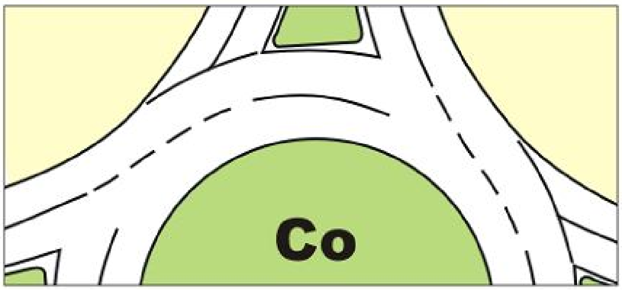


- ניתוב המשכי ליציאה ראשית – בחלופה זו הניתוב שבין נתיבי המסלול הסובב ממשיך אל בין זרוע יציאה ראשית. יש הגיון בחלופה זו מאחר וניתן להניח שבמקרה של יציאה ראשית, למעלה מהקיבולת של נתיב אחד בתוך הכיכר דרושה לנפח המעוניין לצאת ועל-כן, נפח נוסף מעוניין להשתמש גם בנתיב השמאלי במסלול בסובב לצורך אותה יציאה. ניתוב כזה נותן לנהגים לגיטימציה לכך ומקל על העומס בכיכר. סידור זה מוצג בציור מס׳ 2.12.

ציור מס׳ 2.12: ניתוב המשכי ליציאה ראשית

Figure No. 2.12: Continuous marking towards main exit

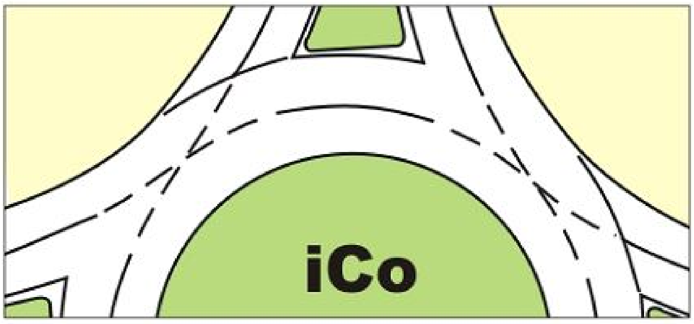


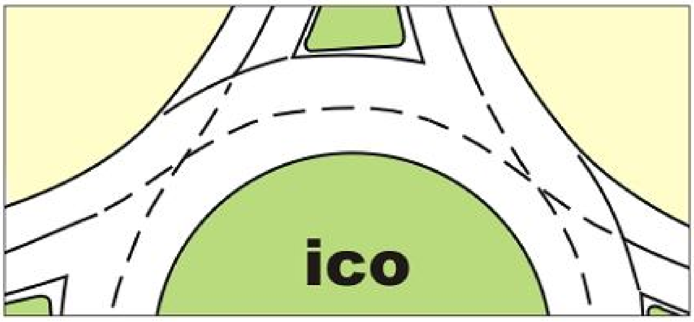


- ניתוב המשכי בכיכר וליציאה – בחלופה זו הניתוב נמשך במסלול הסובב הן להמשכו ונשאר בו רציף והן לניתוב שבזרועות היציאה. דבר זה משאיר אופציה לתנועה במסלול הסובב להמשיך מכל נתיב לכל מקום, כלומר, חופש פעולה מוחלט שאין ספק שטומן בחובו סיכונים בטיחותיים וחיכוכים בתנועה שעלולים להיות בעוכרה, לעכבה ולהוריד את קיבולת ההסדר. הסידור מוצג בציור מס׳ 2.13.

ציור מס׳2.13: ניתוב המשכי בכיכר ומהכניסות וליציאות

Figure No. 2.13: Continuous marking inside roundabout and from approaches to exits



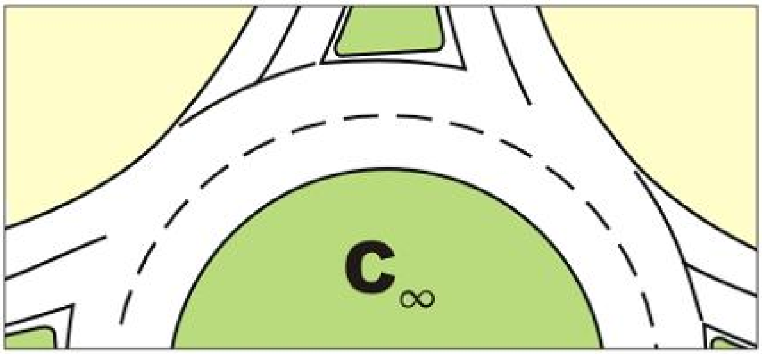


- ניתוב המשכי בכיכר ומופסק בכניסות וביציאות – במקרה זה קיים ניתוב המשכי בכיכר וגם ניתוב מלא לחלוקה בין 2 הנתיבים בכל זרועות הכניסה והיציאה כך שנתונה האופציה לתנועה להיכנס ב- 2 נתיבים ולצאת ב- 2 נתיבים אולם הניתוב אינו מנחה לעשות זאת. ברור שסידור זה יכול לגרום אי הבנות ולבעיות בטיחותיות ותפעוליות בדומה לסידור הקודם. סידור זה מוצג בציור מס׳ 2.14.

עבודה אחרת (מ״מ 19) מנתחת את הבטיחות במעגלי תנועה בהשוואה שבין ניתוב רגיל לניתוב נוסח אלברטה כאשר ההבדל ביניהם מומחש בציור 2.15.

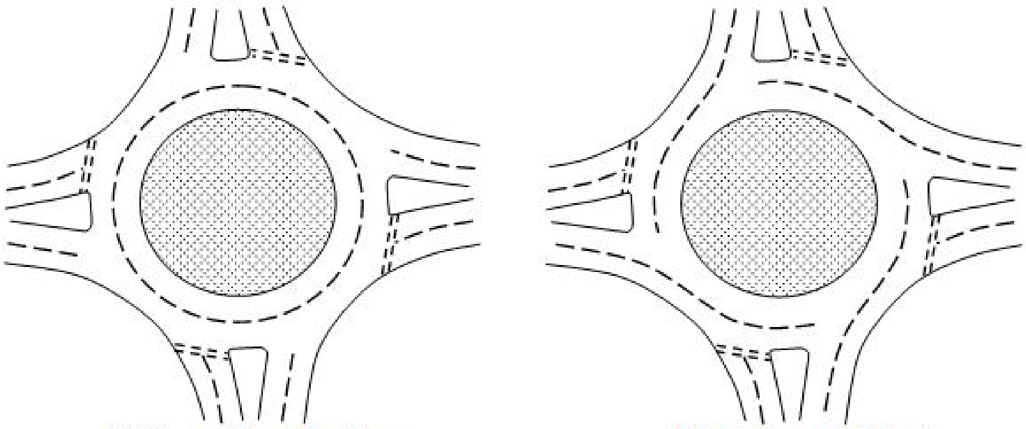
ציור מס׳ 2.14: ניתוב מחלק במסלול הסובב ובזרועות כניסה ויציאה

Figure No. 2.14: Dividing marking in circular path and approaches and exits



ציור מס׳ 2.15: ניתוב רגיל במעגל לעומת ניתוב אלברטה

Figure No. 2.15: Conventional marking versus Alberta marking



מודל תאים פותח שבו המקום והזמן הוגדרו כתאים שטח ואינטרוולים של זמן. בהסתמך על תנועת רכב בלתי תלויה הרי שתאונה תתרחש כאשר 2 כ״ר או יותר ימצאו באותו תא שטח באותה יח׳ זמן. ספירות כמות המקרים הפוטנציאליים להתרחשות זו מהווה את המדד לכימות הבטיחות במעגל התנועה הנבחן. התוצאות אינן מראות הבדל משמעותי בין הבטיחות של המעגלים בשתי שיטות הניתוב. יחד עם זאת, במעגלים בשטח אלברטה הקונפליקטים נוטים להתרכז במספר נקודות שחורות.

ניתוב רגיל (קונבנציונלי) לעומת ניתוח טיפוס אלברטה נראה כך:

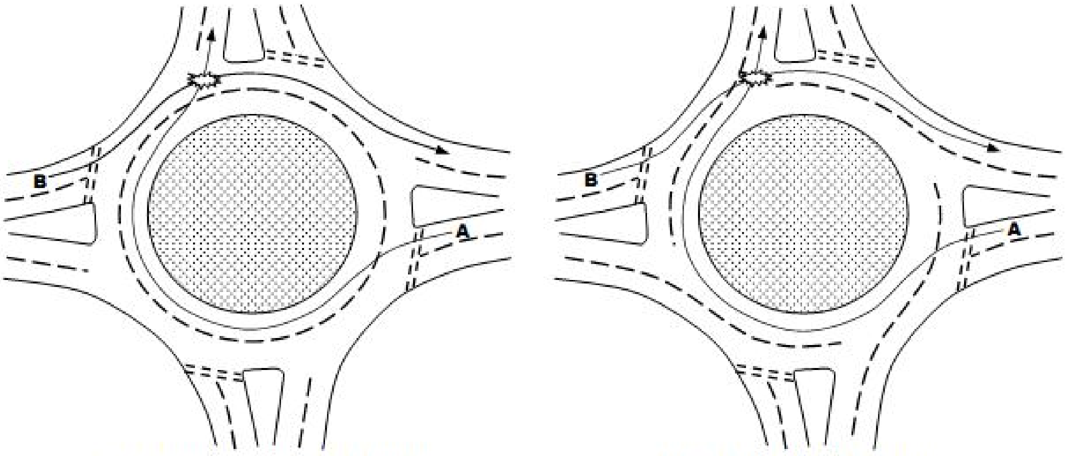
בשתי השיטות עקרון זכות הקדימה הוא רק שלתנועה הסובבת במסלול הסיבובי של מעגל התנועה יש זכות קדימה על פני התנועה המגיעה בגישות למעגל ורוצה להיכנס אליו.

תקנות התעבורה (בהונג קונג) לא מטפלות כראוי בבעיית ההיפרדות (Diverging). כאשר מדובר במעגל מרובה נתיבים נוצר קונפליקט בין רכב ממשיך בנתיב החיצוני לבין רכב יוצא מהנתיב השני לו. במקרה זה לשיטת הניתוב תפקיד בהגדרת זכות הקדימה בין תנועות אלה. ציור 2.16 מדגים את סטטוס זכות הקדימה בקונפליקטים המתרחשים במעגל בין שתי התנועות בשתי שיטות הניתוב. בכל אחת מהן במקום הקונפליקט ישנה זכות קדימה לתנועה אחרת.

יצוין כי שיטת הניתוב נוסח אלברטה אומצה ברבים ממעגלי התנועה באוסטרליה וניו-זילנד ונבדקת כעת בהונג קונג (מקום המחקר).

ציור מס' 2.16: מצב זכות הקדימה בקונפליקט היציאה בניתוב רגיל לעומת אלברטה

Figure No. 2.16: Right of way state in exit conflict in conventional marking compared to Alberta-type marking



(a) Conventional Marking (b) Alberta-type Marking

למעבר משיטה אחת לשנייה יש השפעה על מידת השימוש בכמה מנתיבי המסלול הסובב. מובן שבשיטת הניתוח הרגילה ישנה עדיפות לשימוש בנתיב החיצוני יותר שכן רק היציאה ממנו לזרוע יוצאת אינה כרוכה במתן זכות קדימה לתנועה אחרת בעוד שבשיטת אלברטה גם ליציאה מהנתיב הפנימי יש זכות קדימה על פני תנועה ממשיכה במעגל בנתיב החיצוני ועל כן נעשה שימוש מוגבר בנתיב הפנימי בשיטת אלברטה.

לכאורה, ניתן לצפות להגברת הבטיחות בשיטה זו אך ניתוח כמותי אינו תומך בהשערה זו.

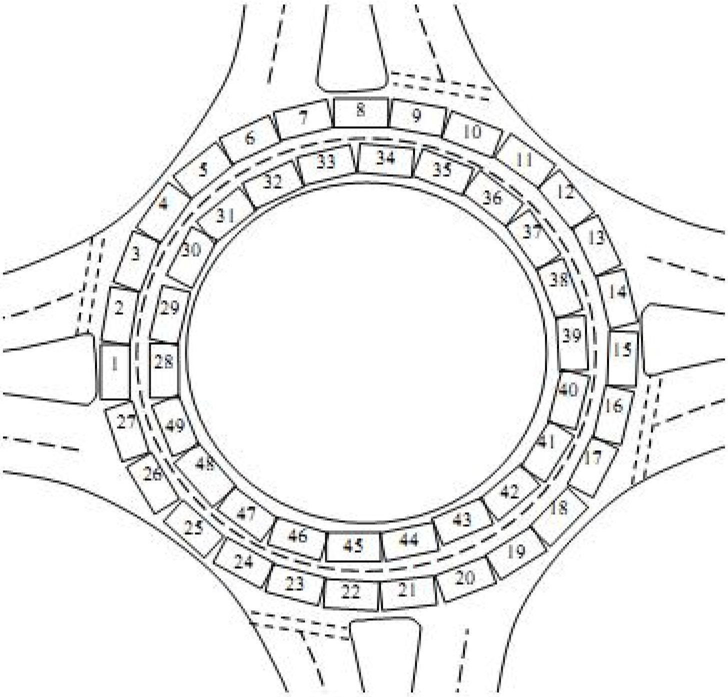
הניתוח הכמותי נעשה כך: כל נתיב במסלול הסובב חולק לתאי שטח וכל רכב מודמה לנסיעה בלתי תלויה דרך תא שטח ביח' זמן אחת. ע"י פיתוח מתמטי אינטגרל יכול להראות את כמות המקרים שבהם יותר מרכב אחד "תופס" תא שטח יחד עם כ"ר אחרים באותה יח' זמן, דבר שכמובן במציאות לא יכול להתרחש אך יש בו כדי להצביע על פוטנציאל הקונפליקט שהוא מדד לבטיחות במעגל.

הנחות בבסיס פיתוח המודל: (1) נסיעה בלתי תלויה של כל כ"ר באחר. (2) מהירות אחידה של התנועה הסובבת (3) יח' הזמן היא שנייה אחת, כלומר, הימצאות שני כ"ר או יותר באותה שניה, משמעותו קונפליקט.

נלקח לצורך המודל מעגל בעל רדיוס פנימי של 20 מ' ושבו מהירות התנועה הסובבת 6 מ'/שנ' שהם כ-22 קמ"ש ועל כן מספר תאי השטח כ-20 לאורך נתיב סובב. לסיכום, נתיב I מחולק ל-Ni תאים בעלי אורך Li, כמוראה בציור 2.17.

ציור מס' 2.17: סימון התאים במעגל התנועה

Figure No. 2.17: Cells indication in the roundabout



כל תנועה, אם כן, במעגל מובעת ע"י מחרוזת של תאים.

למעשה, אפשר להגדיר סט מסוים של מהלכים (Path) של כ"ר בתוך המעגל שכ"א הוא מחרוזת תאים. יחד עם זמן הכניסה, מקבלים מידע מלא על תנועת כ"ר מסוים במעגל.

באמצעות פיתוח מתמטי מקבלים מטריצת CO (Cell Occupancy) – מטריצת תפוסת תאים.

בכל מקרה לאחר הצבת תנועות כ״ר שבו מתקבל ערך במטריצה גדול שווה 2 מצביע על קונפליקט. ס״כ רכב x זמן המעורב בקונפליקט בפוטנציאלי הוא אם כן :

$$PCvt = \sum_{c=1}^{N_c} \sum_{t=1}^{T_{sp}} O_{t,c} I[O_{t,c} \geq 2]$$

כאשר :

Nc – סך התאים במעגל

Tsp – זמן כולל של הקלטת תנועת כ״ר

Ot,c – מטריצת CO מורכבת מ-Tsp x Nc ערכים :

$$I[O_{t,c} \geq 2] = \begin{cases} 1, \text{ if } O_{t,c} \geq 2 \\ 0, \text{ otherwise} \end{cases}$$

באמצעות פיתוח מתמטי נוסף מנוכים כל הקונפליקטים התיאורטיים מסדר שני, כלומר, כל אלה שמתרחשים בין 2 כ״ר ש״התנגשו״ באחד התאים (הגיעו לאותו תא באותה יח׳ זמן) בנסיעה דרך תאים נוספים באותן יח׳ זמן.

השוואה בין שתי שיטות הניתוב

לצורך כך נעשה סקר שדה בו הובלטו המסלולים של כ״ר במעגל מנותב בשיטת אלברטה כמחרוזות של תאי השטח שהוגדרו. ההקלטה נעשתה בשעת שיא ובשעת שפל. לכל כ״ר נרשם זמן כניסה ומספר מסלול.

במעגל מנותב לא בשיטת אלברטה נרשמו 101 מסלולים שונים שבוצעו ע״י הנהגים. לעומת זאת, במעגל מנותב בשיטת אלברטה נחזו הרבה פחות מסלולים. נחזו 5 מסלולים שונים עבור כל זרוע נכנסת ובסה״כ 20 מסלולים בלבד בכל המעגל.

בהסתמך על התהליך המתואר לעיל מתקבלות תוצאות עבור הקונפליקט הפוטנציאלי עבור שתי שיטות הניתוב כמפורט בטבלה מס׳ 2.12 וציור מס׳ 2.18 לשעת שיא ושעת שפל.

המסמך מציע מודל מבוסס תאי שטח עם חישוב שיעור פוטנציאל לקונפליקט שניתן להשתמש בו להערכת רמות בטיחות, ספירת הקונפליקט (Pc) יכולה לשמש כאינדיקציה למידת החשיפה לסיכון.

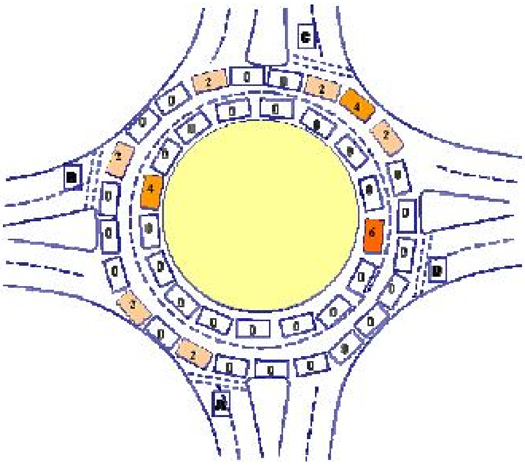
טבלה מס׳ 2.12: קונפליקט פוטנציאלי בדרגות שונות של התאמה לתקני אלברטה

Table 2.12: potential conflict of varying degrees of compatibility standards of Alberta

Off-peak Hour					
Data	Original	With conversion			
Alberta compliance	39%	58%	76%	88%	100%
Potential conflict	26	24	20	20	28
Peak Hour					
Data	Original	With conversion			
Alberta compliance	38%	57%	75%	88%	100%
Potential conflict	36	34	44	40	32

ציור מס׳ 2.18: ספירת הקונפליקט הפוטנציאלי של הזרימה המקורית

Figure No. 2.18: Counting the potential conflict of the original flow



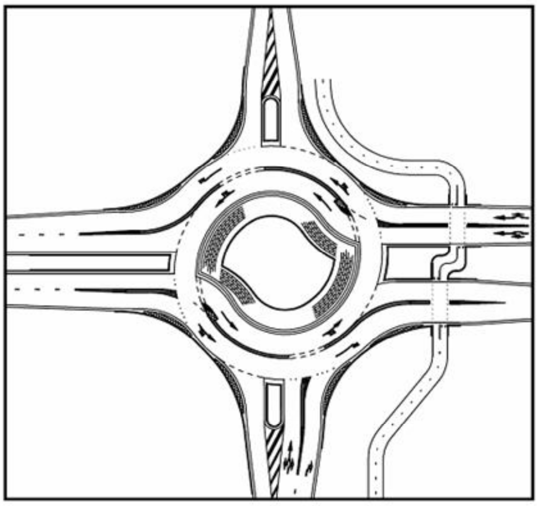
מתוצאות סקר זה מתברר שאין הבדל משמעותי בהיקף פוטנציאל הקונפליקט בכדי שניתן יהיה להסיק שהניתוב בשיטת אלברטה משפר את בטיחות המעגל. יחד עם זאת, בשיטת אלברטה משפר את בטיחות המעגל, יחד עם זאת, בשיטת ניתוב זו נמצא ריכוז פוטנציאל הקונפליקט במספר אזורים מצומצמים במעגל.

עבודה אחרת (מ״מ 20) מתארת את מעגלי התנועה המכונים ״מעגלי טורבו״ אשר פותחו ויושמו בהולנד. ציור מס׳ 2.19 מראה דוגמא של מעגל מסוג זה.

המאפיין העיקרי של מעגלים אלה הוא הפרדה בתוך המעגל בין הנתיבים לא ע״י סימון צבע בלבד אלא באמצעות אלמנט פיזי ״מתון״, דהיינו, כזה שמרתיע את הנהג מלחצותו אך בו בזמן מאפשר לרכב חריג בממדיו כן לעשות זאת.

ציור מס׳ 2.19: דוגמת ״מעגל טורבו״ הולנדי

Figure No. 2.19: Example of Dutch "Turbo roundabout"



2.3.2 תמרור מוקדם

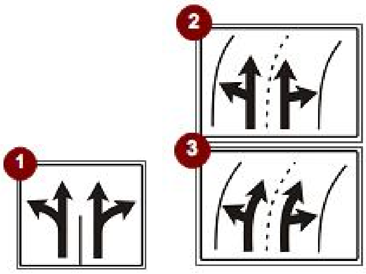
החוקר Kinzel דן גם בנושא התמרור המוקדם. נקדים ונאמר וגם הכותב מציין זאת, ההנחיות לא בארה״ב ואל בישראל אינן דורשות תמרור מתריע מוקדם בגישה לכיכר דו או רב נתיבית אשר אמור להסביר או להנחות את הנהג על עצם קיום מספר נתיבי גישה ו/או נסיעה בתוך הכיכר ו/או לאיזה כיווני נסיעה מוביל כל אחד מהם.

עם זאת, נמצא שיש סיוע בכך לתנועה כן להסביר או להנחותה במידע זה, דבר אשר יכול לחסוך אי הבנות, חיכוכים בתוך הכיכר ואף למעלה מזה וכן פגיעה בזרימת התנעה וכתוצאה מכך פגיעה בקיבולת ההסדר. הכותב סוקר מספר דרכים להציג לנהג את המידע הדרוש לו לקראת כניסתו לכיכר.

- תמרור חלוקת נתיבים רגיל – כדוגמת תמרור 613 (לשעבר ג-34) בישראל הבא להציג לנהג את כוון הנסיעה המותר מכל אחד מהנתיבים בגישה. הדבר ניתן להיעשות במספר צורות כמוצג בציור מס׳ 2.20.

ציור מס׳ 2.20: תמרור חלוקת נתיבים רגיל בגישה לכיכר

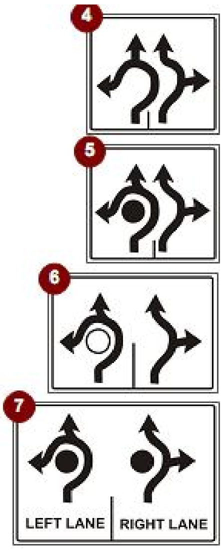
Figure No. 2.20: Regular lane division signing in roundabout approach



- תמרור חלוקת הנתיבים אל ובתוך הכיכר – הכותב מציג סדרת תמרורים אפשריים הבאים לפרט לנהג את ייעודו של כל נתיב בגישה לכיכר בהמשך הנסיעה בתוך הכיכר. סדרה זו מוצגת בציור מס׳ 2.21.

ציור מס׳ 2.21: תמרורי חלוקת נתיבים אל ובתוך הכיכר

Figure No. 2.21: Lane division signing in approach and within the roundabout



2.3.4 שילוט

כבכל גישה לצומת ובעיקר בינעירוני דרוש להציב שילוט הדרכה בדבר היעדים בכיווני הנסיעה הקיימים בצומת.
שילוט ההדרכה הקיים בהנחיות השילוט של הארצות השונות ובכלל זה ישראל מתוכנן כך שהוא מפרט היטב את היעדים בכל זרוע יציאה מהכיכר אולם הוא אינו ״מגויס״ לשמש גם כמנחה בדבר השימוש בנתיבים המתאימים לצורך הנסיעה לכל יעד ובוודאי שאינו מתוכנן כך שיוכל לסייע בהסברת הסדר הניתוב בכניסה לכיכר, בנסיעה בה וביציאה ממנה. במאמרו, Kinzel מציג גם מספר חלופות אפשריות לתכנון שילוט שכן ישמש גם כמנחה בדבר הסדר התנועה בכיכר יחד עם ההדרכה על אופן הנסיעה ליעדים השונים המצוינים בו. שילוט זה אפשר שיהיה צידי ואפשר שיהיה עילי. ציור מס׳ 2.22 מציג את מגוון אפשרויות שילוט ההדרכה הצידי.

שלט A הוא השלט הדיא גרמתי הבסיסי העוזר בהמחשת הזרועות הקיימות בכיכר והיעד מכל אחת אולם לא מעבר לזה, דהיינו, אין מידע בדבר הסדר הניתוב עצמו.
שלט B דומה לתמרור חלוקת נתיבים כאשר ביחס לכל נתיב מצוין היעד שאליו מוביל. דבר זה מסייע בהתמקמות בגישה לכיכר אולם עדיין לא מוסיף מידע על ההסדר שבתוכה.
שלט C אינו מתייחס לכיכר.

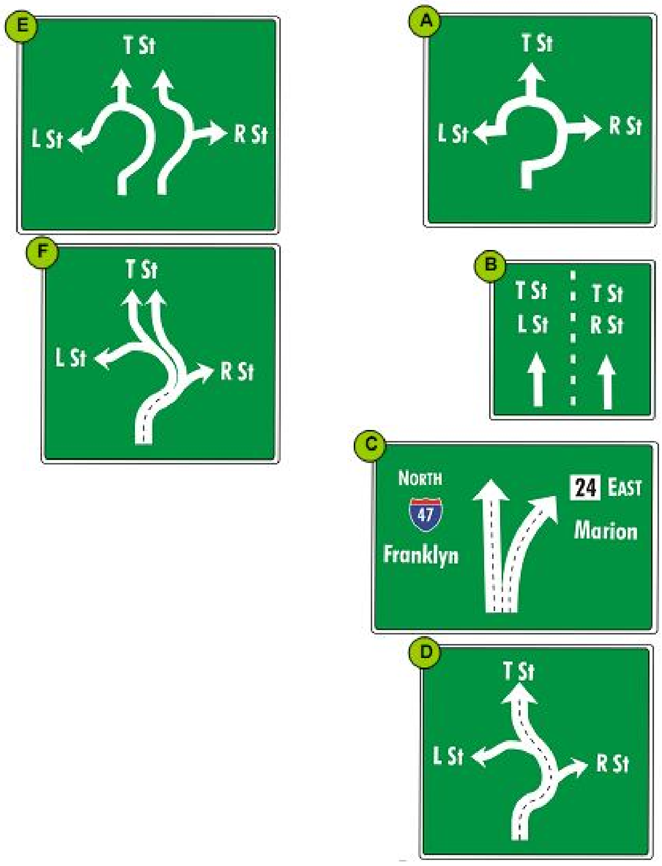
שלט D מספק מידע הן באשר ליעד בכל זרוע ובאופן עקרוני אף את הסדר הניתוב בכיכר, דהיינו, המחשת העובדה שישנה המשכיות של 2 נתיבים בתוך הכיכר.

שלטים E ו- F מספקים מידע מושלם אודות היעדים בכל זרוע יציאה, הנתיב/ים בו/בהם יש להתמקם לפני הכיכר כדי להגיע לכל אחד מהם ולמעשה על הסדר הניתוב בתוך הכיכר.

אין ספק שיתרונם של שני האחרונים ברור.

ציור מס׳ 2.22: אפשרויות שילוט הדרכה צידי בגישה לכיכר דו-נתיבית

Figure No. 2.22: Lateral guide signing options in approach to double lane roundabout



כחלופה, אולי אף מועדפת כאשר אין התנגדות מצד גורמים שונים כגון הירוקים או גופי תשתית עילית, ניתן להציב את שילוט ההדרכה בגישה לכיכר כשילוט עילי. לשילוט זה מספר חלופות כמודגם בציור מס׳ 2.23.

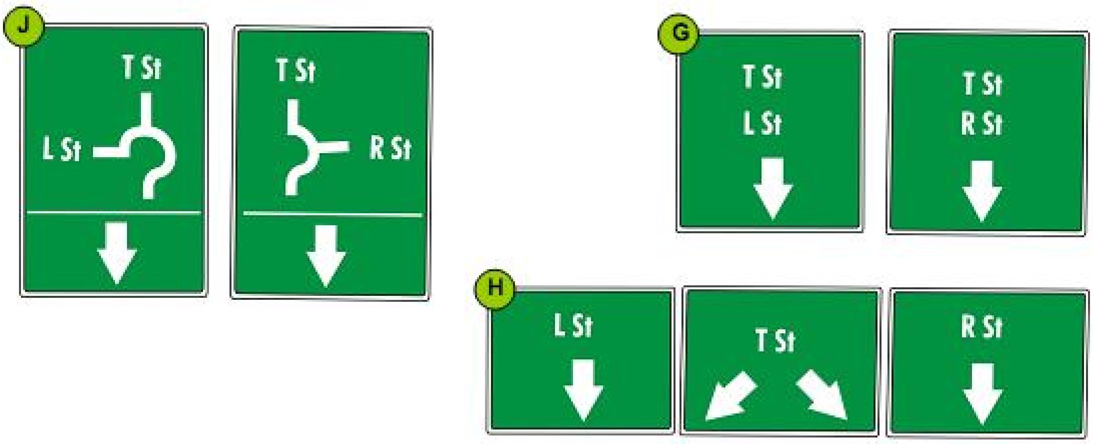
חלופות H,G הן שילוט עילי בסיסי המפרט לנהג את היעד מכל נתיב בגישה לכיכר אולם אינם מתייחסים ל הסדר שבתוך הכיכר.

חלופה J מפרטת הן את הנתיב שממנו ניתן להמשיך ליעדים המצוינים בשלט והן, למעשה את הסדר הנסיעה בתוך הכיכר לנסיעה ליעדים שבאותו שלט. חלופה זו מאחדת את שתי מטרות

השילוט היעיל בגישה לכיכר ואין ספק שהיא המועדפת, אולם נשאלת השאלה אם לא ניתן לוותר על החיצים כלפי מטה (לנתיב) ולהוסיף ראשי חץ בקצות הקווים לפני שמות היעדים.

ציור מס' 2.23: אפשרויות שילוט עילי בגישה לכיכר דו-נתיבית

Figure No. 2.23: Overhead guide signing options in approach to double lane roundabout



3. מתודולוגיה

3.1 ההיגיון המחקרי

כאמור בפרק מטרות המחקר לעיל, לצורך בחינה מקיפה ויסודית של נסיבות תמרוני התנועה במעגלי התנועה בדרכים דו-מסלוליות בארץ, יש לבחון ביסודיות את שני האספקטים הבאים:

א. ניתוח מאפייני התאונות שהתרחשו במעגלי התנועה בדרכים הרב-נתיביות תוך מיונן לסוגים שונים של תאונות ובמקביל מיון מעגלי התנועה לסוגים השונים הקיימים שיפורטו בהמשך והצלבה בין השניים לקבלת רזולוציה עד כמה שיותר גדולה של מהות התופעות המהוות את שורש הבעיות.

ב. בחינת התנהגויות של משתמשי הדרך בצמתים אלה במקביל לאמור בסעיף א׳ לעיל כאשר גם אלה יסווגו בהתאם למאפייניהן ויוצלבו עם ממצאי האמור שם.

3.1.1 ניתוח מאפייני תאונות הדרכים

נתוני תאונות הדרכים נלקחו לשנים 2006-2010.
ניתוח מאפייני התאונות אמור לתת את התמונה הכללית של סיווג התאונות לפי מאפיינים שונים:

א. **חומרת התאונות** - סיווג של התאונות לפי חומרתן יכול לתת תמונה טובה של חומרת הבעיות הבטיחותיות במעגלי התנועה מסוגים שונים ביחס לאחרים.

ראשית, חשובה מידת החומרה של תאונות במעגלים הדו-נתיביים בכלל ביחס למעגלים החד נתיביים.
חשיבות זאת גבוהה מעצם הצורך לכמת את היקף בעיית תאונות הדרכים במעגלים דו-נתיביים בכלל ביחס לזו שבחד נתיביים, דבר שיצביע על דחיפות הטיפול בנושא ו/או יתכן אף שעל מידת השימוש במעגלים דו-נתיבים.

לצורך שקלול מאפיין זה יעשה שימוש במפתח חומרת תאונות המקובל לשימוש ואשר נקבע עפ״י מידת הנזק למשק הלאומי של כל דרגת חומרה והוא ניתן כיחס בין הנזק של כל חומרה ביחס לתאונה קלה. המפתח הוא זה:
תאונה קלה - 1, תאונה קשה - 8, תאונה קטלנית - 50.
מפתח זה ישמש בהמשך בבואנו להשוות את נתוני התאונות עפ״י סוגי המעגלים.

ב. **סוג התאונה** - סיווג סטטיסטי של התאונות לסוגיהן ייתן תמונה טובה לגבי הנסיבות אשר בעטיין ארעה התאונה, דהיינו, מהות הגורמים המעורבים בתאונה.

לנתונים אלה חשיבות עליונה באשר להסקת מסקנות בהמשך באשר לאמצעים ושיפורים שניתן יהיה לנקוט בהם לצמצום ממדי התאונות לסוגיהן.

סיווג התאונות נלקח מנתוני הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, כאשר המיון וקיבוץ הסוגים לקבוצות נעשה כדלהלן:

- פגיעה בהולך רגל.
- התנגשות בין שני כלי רכב מסוג צד/צד
- התנגשות בין שני כלי רכב מסוג חזית/צד
- התנגשות עם דומם/תאונה עצמית
- אחר (כל יתר סוגי התאונות שבסיווג למ"ס כולל הסוג "אחר" שם).

האמור לעיל על סוג המעורבים בתאונה, יש בו כדי להצביע בסבירות גבוהה על מיקומה. כך למשל, פגיעה בהולך רגל במעגל תנועה, בדרך כלל, מתרחשת במעברי החציה, התנגשות בין שני כלי רכב תתרחש במקום בו קיים קונפליקט בין תנועות נוגדות, דהיינו, במקרה של מעגל תנועה, במקום הצטרפות התנועה מזרוע נכנסת לתנועה שבמסלול הסובב, זאת למעט במקרה של תאונה היא מסוג צד-צד, סוג תאונה המתרחש בדרך כלל במקום התמזגות 2 טורי כלי הרכב בזרוע כניסה לטור אחד או במסלול הסובב.

ג. **תקופת היום** - מיון התאונות לפי תקופת היום בה התרחשו (יום או לילה) יש בו כדי להצביע על תרומה מובהקת של קיום תאורה בצומת כגורם התורם להתרחשות תאונה בה. מן הסתם, אם ימצא כי אין שוני מובהק בין שיעור התאונות בין תקופות היום, ניתן יהיה להסיק שנושא התאונות אינו בעל משמעות במעגלי תנועה.

3.1.2 ניתוח התנהגות משתמשי הדרך

ניתוח התצפיות שנעשו כפי שיפורטו להלן, אף הוא סווג באופן מקביל לסיווג שפורט לעיל. האירועים שנרשמו המהווים, למעשה, "כמעט תאונה" או אף תאונה כפי שקרה בפועל ב-2 מקרים, סווגו לאותן קטגוריות של מהות האירוע כאשר הנמנים עליהם:

- **בלימת פתאום** - יכולה להתרחש במקרה של חציית הולך רגל או הימצאות רכב אחר מלפנים.
- **אי מתן זכות קדימה** - יכול להביא לכדי התנגשות בין שני כלי רכב, בדרך כלל מסוג חזית-צד.

- **חריגה מנתיב** - יכולה להתפתח לכדי תאונת צד-צד או תאונה עצמית בחפץ דומם.

בהתבסס על ההשקפה שהאירועים מהווים, למעשה, אירועי "כמעט תאונה" או "פוטנציאל תאונה", הרי שהם מצביעים בכמותם היחסית על הסתברות יחסית לתאונות, ומכאן שניתן ללמוד
מהיחס שבין האירועים וחומרתם בסוגי המעגלים השונים לגבי רמת הסיכון באותם מעגלים.

קבלת יחס דומה בכמות אירועים וחומרתם בין סוגי המעגלים במסגרת התצפיות ליחס שהתקבל של כמויות התאונות וחומרתן בין סוגי המעגלים השונים יכולה ללמדנו כי המשתקף מהתצפיות אכן יש בו להצביע נכונה על פוטנציאל התאונות היחסי של כל סוג מעגל.
דבר זה יש בו כדאי להעניק לגיטימציה לניתוח ממצאי התצפיות באשר למקום התרחשות האירוע ואופיו, נתונים מהם ניתן ללמוד רבות על מאפייני התרחשות התאונות במעגלי התנועה ומהם ניתן להסיק באשר לצעדים בהם ניתן לנקוט להקטין את ממדיהן.

3.2 מהלך המחקר

3.2.1 תצפיות

3.2.1.1 סיווג הצמתים

לצורך איסוף נתונים לניתוח והסקת מסקנות נאספו נתונים ונצפתה התנועה ב-77 מעגלי תנועה עירוניים ברחבי הארץ לפי הסוגים המפורטים בהמשך. בצמתים אלה נכללו סוגי מעגלי התנועה הדו-נתיביים העירוניים הקיימים בארץ.
טבלה מס' 3.1 מפרטת את סיווג מעגלי התנועה הדו-נתיביים.

בנוסף לכך, בוצע איסוף נתוני תאונות דרכים לגבי 30 צמתים חד-נתיביים ברחבי הארץ ואשר יהוו קבוצת ביקורת.
נתוני צמתים אלה שימשו על מנת לקבל את היחס בין היקפי התאונות המתרחשות בצמתים דו-נתיביים לצמתים חד-נתיביים.
בטבלה מס' 3.2 מפורטת רשימת הצמתים בהם בוצעו התצפיות ואת הנתונים המפורטים של כל צומת וצומת.

טבלה מס׳ 3.1: סוגי המעגלים הדו-נתיביים הקיימים

Table 3.1: Types of existing roundabouts in dual carriageways in Israel

קוד	התכנסות לנתיב אחד	נתיב ימני אם לא מתכנסים	מספר נתיבים במסלול הסובב	מספר הצמתים מהסוג
1	כן	אין	1	35
2	לא	ימינה בלבד ללא הפרדה	1	9
3	לא	ימינה בלבד ללא הפרדה	2	8
4	לא	פניה ימינה עם הפרדה	1	8
5	לא	המשך ישר ופניה ימינה	2	13
6	לא	אין	2 - 1	4

בציור מס׳ 3.1 מתוארים סוגי המעגלים המפורטים בטבלה 3.1 לעיל.

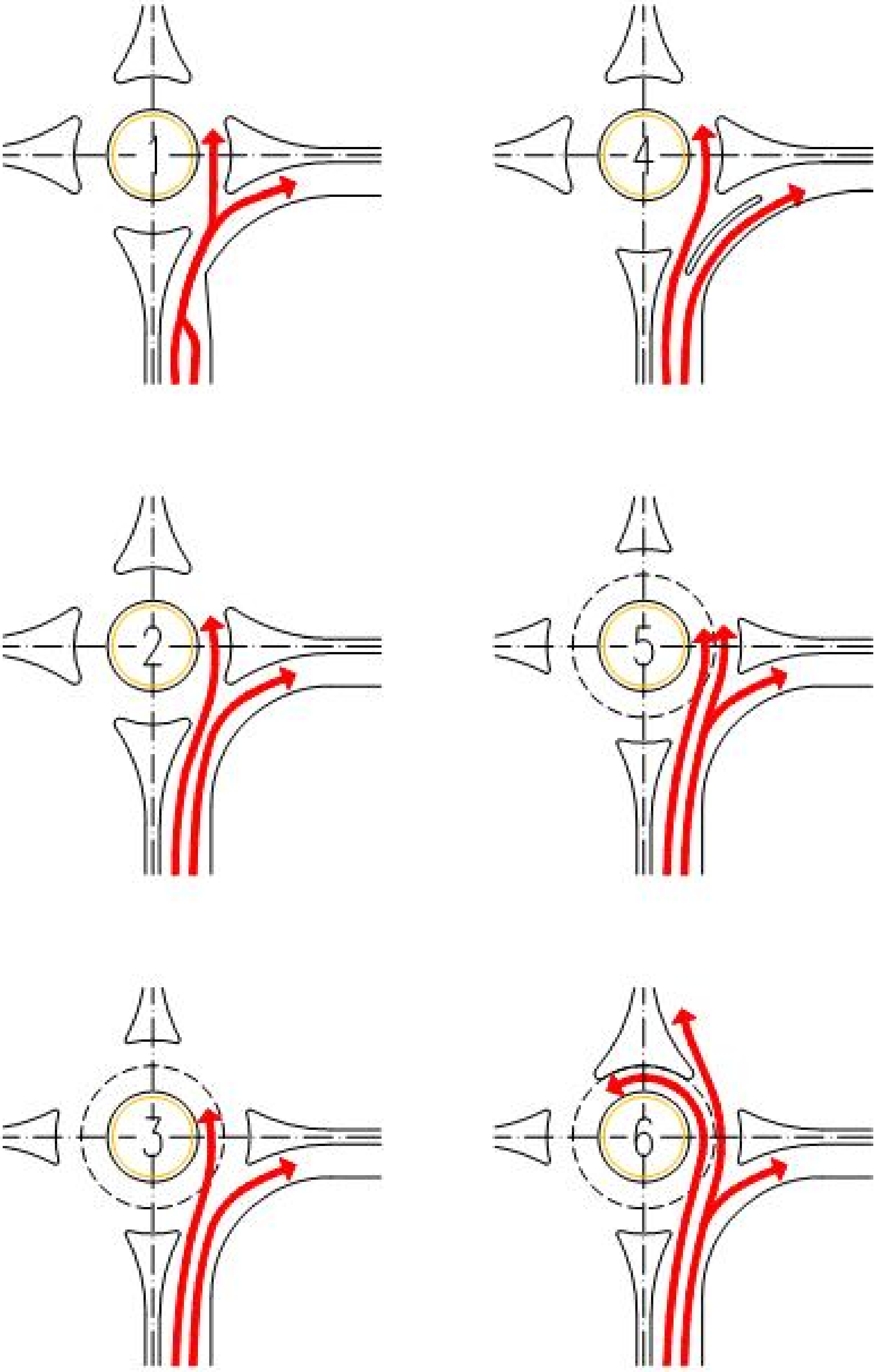
בטבלה 3.3 מפורטת רשימת הצמתים החד נתיביים – קבוצת הביקורת.

3.2.1.2 ביצוע התצפיות

התנועה נצפתה בכל צומת כמחצית היום, דהיינו 6-5 שעות בשעות היום בגישה לצומת מאחת הזרועות כך שניתן לצפות בתיעוד בתנועה הנכנסת למעגל התנועה מהזרוע המצולמת, את מפגשה עם התנועה במעגל הסובב ואת התנהגותה בתוך המעגל הסובב עד לזרוע השלישית לפחות.
התצפיות נעשו ע״י צוות בן 2 אנשים באמצעות מצלמת וידאו המותקנת על גבי חצובה בגובה של כ- 3.5 – 4.0 מ׳ בדרך כלל על מדרכת או המפרדה של זרוע הגישה שנצפתה במרחק של 10 – 20 מ׳ ממקום כניסת הזרוע למעגל התנועה.

ציור מס׳ 3.1: סוגי המעגלים הדו-נתיביים הקיימים

Figure No. 3.1: Existing dual carriageway types of roundabout



טבלה מס' 3.2: רשימת הצמתים שנצפו

Table 3.2: List of intersections observed

רשימת צמתים מעגליים בדו מסלוליות נסקרים אזור הצפון																			
קוד הצומת	קוד למ"ס	ישוב/כביש	שכונה/רובע	רחוב 1		רחוב 2		רחוב 3		רחוב 4		סוג מעגל						מס' נתיבים	מס' צילום
				שם	סוג	שם	סוג	שם	סוג	שם	סוג	1	2	3	4	5	6		
1	00110001	אור עקיבא	מרכז	הנשיא ויצמן	מאסף ראשי	המלך דוד	מאסף משני	הנשיא ויצמן	מאסף ראשי	דוד המלך	מאסף משני				1			1	014
2	640018	אור עקיבא	מרכז	הנשיא ויצמן	מאסף ראשי	דוד אלעזר	מאסף משני	הנשיא ויצמן	מאסף ראשי	דוד אלעזר	מאסף משני	1						1	018
3	00120001	אור עקיבא	מרכז	הנשיא ויצמן	מאסף ראשי	שד' שידלובסקי	מאסף ראשי	הנשיא ויצמן	מאסף ראשי	שד' שידלובסקי	מאסף ראשי	1						1	015
4	210001	אור עקיבא	מרכז	האילן	מאסף ראשי	הזית	מאסף משני	האילן	מאסף ראשי	הזית	מאסף משני				1			1	019
5	00150001	אור עקיבא	מרכז	הנשיא ויצמן	מאסף ראשי	קופלוביץ'	מאסף משני	הנשיא ויצמן	מאסף ראשי						1			1	013
6	X	אור עקיבא	מחלף 4	רמפה לצפון	מאסף ראשי	שד' שידלובסקי	מאסף ראשי	רמפה מדרום	מאסף ראשי	שד' שידלובסקי	מאסף ראשי						1	1/2	
7	X	אור עקיבא	מחלף 4	רמפה מצפון	מאסף ראשי	שד' שידלובסקי	מאסף ראשי	רמפה לדרום	מאסף ראשי	שד' שידלובסקי	מאסף ראשי						1	1/2	
8	00040002	אור עקיבא	מרכז	הנשיא ויצמן	מאסף ראשי	הרצל	מאסף משני	הנשיא ויצמן	מאסף ראשי	רש"י	מקומי	1						1	016
9	09200009	חדרה	בית אליעזר	הפרדס	מאסף ראשי	הפרדס	מאסף ראשי	השיזף	מקומי			1						1	005
10	07860004	חדרה	מרכז	הרברט סמואל	עורק	כביש 4	עורק בינעירוני	שמעוני	עורק	כביש 4	עורק בינעירוני					1		2	012
11	9160004	חדרה	ויצמן	אהרונסון	עורק	השומר	מאסף משני	אהרונסון	עורק	מבצע עובדה	מאסף משני	1						1	020
12	00230008	חדרה	פאר	ביאליק	מאסף ראשי	הלל יפה	מאסף ראשי	בן צבי	מאסף משני	ביאליק	מאסף ראשי	1						1	001
13	00170007	חדרה	מרכז	הנשיא ויצמן	עורק	רוטשילד	מאסף משני	הנשיא ויצמן	עורק	רוטשילד	מאסף משני					1		1/2	011
14	09390009	חדרה	בית אליעזר	הפרדס	מאסף ראשי	חטיבת הנחל	עורק	חטיבת הנחל	עורק			1						1	003
15	9460009	חדרה	בית אליעזר	חטיבת גולני	עורק	יפה נוף	מאסף משני	יפה נוף	מאסף משני			1						1	004
16	09210009	חדרה	בית אליעזר	הפרדס	מאסף ראשי	נחל פולג	מקומי	הפרדס	מאסף ראשי	הלימון	מקומי	1						1	006
17	08060002	חדרה	מרכז	רבין	מאסף ראשי	חטיבת הנחל	עורק	רבין	מאסף ראשי	אחד העם	מאסף משני	1						1	002
18	08040002	חדרה	מרכז	צהל	מאסף ראשי	ארלוזורוב	מקומי	הנשיא ויצמן	עורק	ירושלים	מאסף משני	1						1	010
19	18380380	חיפה	ורדיה	ראש מיה	מאסף ראשי	מבצע יונתן	מאסף משני	שמשון	מאסף ראשי	ורדיה	מאסף משני					1		2	0692
20	7910213	חיפה	נווה שאנן	חניתה	מאסף משני	חניתה	מאסף ראשי	ניסנבוים	מאסף ראשי			1						1	0690
21	11330612	חיפה	נווה שאנן	ניסנבוים	מאסף ראשי	סילבר	מאסף משני	ניסנבוים	מאסף ראשי			1						1	0689
22	14460616	חיפה	נווה שאנן	חניתה	מאסף ראשי	סילבר	מאסף משני	חניתה	מאסף ראשי			1						1	0691
23	18380312	חיפה	כרמל צרפתי	טשרניחובסקי	מאסף ראשי	דרך צרפת	מאסף ראשי	דרך סטלה מאריס	מאסף משני					1				1/2	0693 0694
24	00160233	חיפה	עיר תחתית	מגינים	מאסף ראשי	בן גוריון	מאסף ראשי	מגינים	מאסף ראשי	בן גוריון	מאסף ראשי			1				1/2	0697
25	X	חיפה	קרית אליעזר	אלנבי	מאסף ראשי	סלוואדור	מאסף משני	אלנבי	מאסף משני								1	1	
26	00630001	קרית ים	מרכז	שד' ירושלים	עורק	יגאל אלון	מאסף משני	שד' ירושלים	עורק	שד' הפלמ"ח	מאסף ראשי					1		2	חסר

27	07860001	קרית ים	מרכז	שד' ירושלים	עורק	שד' צה"ל	מאסף ראשי	שד' ירושלים	עורק	שד' צה"ל	מאסף ראשי					1		2	0698 0699
28	30002	כרמיאל	מרכז	שד' נשיאי ישראל	עורק	צה"ל	מאסף ראשי	שד' נשיאי ישראל	עורק	קרן היסוד	מאסף ראשי		1					2	חסר
29	7540001	קרית ים	מרכז	שד' הפלמ"ח	מאסף ראשי	פנחס לבון	מאסף משני	שד' הפלמ"ח	מאסף ראשי	שד' ההסתדרות	מאסף משני		1						
30	07460003	קרית מוצקין	מרכז	אוסישקין	מאסף משני	ההגנה	מאסף משני	אוסישקין	מאסף משני	אהרון	מאסף משני		1						
31	12360002	קרית מוצקין	מרכז	חשמונאים	מאסף משני	יגאל אלון	מקומי	חשמונאים	מאסף משני			1							
32	7520001	קרית מוצקין	מרכז	חשמונאים	מאסף משני	ז'בוטינסקי		חשמונאים	מאסף משני			1						1	0701
33	07690002	קרית מוצקין	מרכז	חשמונאים	מאסף משני	בן גוריון	מאסף ראשי	חשמונאים	מאסף משני	בן גוריון	מאסף ראשי					1		2	0700
34	7350001	קרית מוצקין	מרכז	חשמונאים	מאסף משני	ויצמן	מאסף ראשי	ויצמן	מאסף ראשי				1					2	0703
35	7300001	קרית מוצקין	מרכז	ורד	מאסף משני	ויצמן	מאסף ראשי	ויצמן	מאסף ראשי				1					2	0704
36	7360003	קרית מוצקין	מרכז	אוסישקין	מאסף משני	ויצמן	מאסף ראשי	ויצמן	מאסף ראשי				1					2	חסר
37	7390002	קרית מוצקין	מרכז	שד' גושן	מאסף ראשי	ויצמן	מאסף ראשי	יששכר	מאסף ראשי								1	2	0702
38	90002	כרמיאל	מרכז	שד' נשיאי ישראל	עורק	שד' נשיאי ישראל	עורק	הדקל	מאסף ראשי				1					2	
39	8340077	כרמיאל	מרכז	שד' נשיאי ישראל	עורק	צה"ל	מאסף ראשי	שד' נשיאי ישראל	עורק	קרן היסוד	מאסף ראשי		1					2	
40	120003	כרמיאל	מרכז	שד' נשיאי ישראל	עורק	איריס	מאסף משני	שד' נשיאי ישראל	עורק						1				
41	330003	כרמיאל	מרכז	שד' נשיאי ישראל	עורק	חבצלת	מאסף משני	שד' נשיאי ישראל	עורק	יודפת				1					
42	00390003	כרמיאל	מרכז	שד' נשיאי ישראל	עורק	מורד הגיא	מאסף משני	שד' נשיאי ישראל	עורק	שד' קק"ל				1					
43	420001	כרמיאל	מרכז	שד' נשיאי ישראל	עורק	דרך השלום	מאסף משני	שד' נשיאי ישראל	עורק	שד' בית הכרם						1			
44	390003	כרמיאל	מרכז	שד' נשיאי ישראל	עורק	כביש לאורט	מקומי	שד' נשיאי ישראל	עורק	דרך השלום	מאסף משני					1		2	
46	410003	כרמיאל	מרכז	בית הכרם	מאסף משני	קק"ל	מאסף משני	בית הכרם	מאסף משני	קק"ל	מאסף משני	1							
47	07530004	נצרת עילית	מרכז	שד' מעלה יצחק	עורק	יזרעאל	מאסף משני	שד' מעלה יצחק	עורק					1					
48	07840004	נצרת עילית	מרכז	שד' מעלה יצחק	עורק	דרך הגליל	מאסף משני	שד' מעלה יצחק	עורק					1					
49	X	נצרת עילית	מרכז	שד' מעלה יצחק	עורק	כביש 79	עורק	שד' מעלה יצחק	עורק						1				
50	7070002	נצרת עילית	מרכז	שד' מעלה יצחק	עורק	החטיבות	מאסף משני	שד' מעלה יצחק	עורק					1					
51	08150063	נצרת עילית	מרכז	שד' מעלה יצחק	עורק	גלבוע	מאסף משני	שד' מעלה יצחק	עורק				1						
52	X	נצרת עילית	אזור תעשיה	שד' מעלה יצחק	עורק	יקינטון	מאסף משני	שד' מעלה יצחק	עורק						1				
												17	9	7	6	8	4		

רשימת צמתים מעגליים נסקרים בדו מסלוליות אזור המרכז

קוד הצומת	קוד למ"ס	ישוב/ כביש	שכונה/ רובע	רחוב 1 שם	רחוב 1 סוג	רחוב 2 שם	רחוב 2 סוג	רחוב 3 שם	רחוב 3 סוג	רחוב 4 שם	רחוב 4 סוג	סוג מעגל 1	סוג מעגל 2	סוג מעגל 3	סוג מעגל 4	סוג מעגל 5	סוג מעגל 6	מס' נתיבים בככר	מס' צילום
101	1160007	הרצליה	מרכז	יוסף נבו	מאסף משני	בן ציון מיכאלי	מאסף ראשי	יוסף נבו	מאסף משני	בן ציון מיכאלי	מאסף ראשי					1		2	
102	X	הרצליה	מרכז	יוסף נבו	מאסף משני	פינסקר	מקומי	יוסף נבו	מאסף משני			1						1	
103	23330122	תל אביב	רמת אביב ג'	אחימאיר	מאסף משני	לבנון	מאסף ראשי	אחימאיר	מאסף משני			1						1	
104	80150615	תל אביב	יפו	גולדמן	מאסף ראשי	מרזוק ועזר	מאסף משני	רזיאל	מאסף ראשי	רציף עליה שניה	מקומי					1		2	
105	21870531	תל אביב	מנשיה	יוסף לוי	מאסף משני	המרד	מאסף משני	יוסף לוי	מאסף משני					1				2	
106	20960123	תל אביב	רמת אביב	טאגור	מאסף משני	אופנהיימר	מאסף משני	טאגור	מאסף משני			1							
107	80127	תל אביב	רמת אביב	וייז	מקומי	קלאוזנר	מאסף משני	וייז	מקומי			1							
108	10870127	תל אביב	רמת אביב	2224	מאסף משני	קלאוזנר	מאסף משני	קלאוזנר	מאסף משני						1			1	
109	370744	תל אביב	יפו ד'	גרינבוים	מאסף משני	גרוסמן	מאסף משני	גרינבוים	מקומי	גרוסמן	מקומי					1		3	
110	X	קרית אונו	אונו הותיקה	בן גוריון	מאסף ראשי	קציר	מאסף ראשי	קציר	מאסף ראשי							1			
111	7600004	קרית אונו	מרכז	לוי אשכול	מאסף ראשי	צה"ל	מאסף משני	לוי אשכול	מאסף ראשי	שטרן	מקומי	1							
112	07810034	חולון	קוגל	אשכול	עורק	הלוחמים	מאסף ראשי	קוגל	עורק	מקוה ישראל	מאסף ראשי					1			
113	11100124	חולון	מרכז	חנקין	מאסף משני	ז'בוטינסקי	מקומי	חנקין	מאסף משני	ז'בוטינסקי	מקומי	1							
114	67020022	בת ים	מרכז	בלפור	מאסף ראשי	הגבול	מאסף משני	יפת (ת"א)	מאסף ראשי	יורדי הים	מקומי	1							
115	170032	בת ים	מרכז	הנביאים	מאסף ראשי	יצחק שדה	מאסף משני	הנביאים	מאסף ראשי						1				
116	8930061	בת ים	מרכז	אנה פרנק	מאסף ראשי	כ"ט בנובמבר	מאסף משני	כ"ט בנובמבר	מאסף ראשי			1							
117	X	נתניה	מרכז	שד' בן גוריון		שד' בן עמי		שד' בן גוריון				1							
118	X	נתניה	מרכז	שד' בן עמי		ברוך רם		שד' בן גוריון				1							
119	10010313	נתניה	נווה עוז	שמחה ארליך		לוי אשכול		שמחה ארליך		לוי אשכול		1							
120	9920313	נתניה	נווה עוז	שמחה ארליך		מוצקין		שמחה ארליך		מוצקין		1							
121	10590358	נתניה	גבעת האירוסים	שלום עליכם		חבצלת החוף		שלום עליכם				1							
122	10430001	נתניה	קרית רבין	דוד פנקס		הרב אונטרמן		האר"י				1							
123	X	נתניה	קרית רבין	דרך דגניה		הרטום		דרך דגניה		הרטום		1							
124	10220113	נתניה	קרית רבין	דרך דגניה		פרופסור קלאוזנר		דרך דגניה		פרופסור קלאוזנר		1							
125	X	נתניה	קרית רבין	דרך דגניה		אלונים		דרך דגניה		ד"ר פרח		1							
126	X	נתניה	קרית רבין	ההשכלה		הנשר		דרך הפארק		האוניברסיטה		1							
											סה"כ מרכז	18	0	1	2	5	0		
											סה"כ צפון	17	9	7	6	8	4		
											סה"כ כללי	35	9	8	8	13	4		

טבלה מס׳ 3.3: רשימת הצמתים בדרכים החד מסלוליות

Table 3.3: List of intersections in single carriageway

רשימת צמתים מעגליים בחד מסלוליות נסקרים אזור הצפון														
קוד הצומת	קוד למ"ס	ישוב/כביש	שכונה/רובע	רחוב 1		רחוב 2		רחוב 3		רחוב 4		מעגל התנועה		מס' צילום
				שם	סוג	שם	סוג	שם	סוג	שם	סוג	סוג	מס' נתיבים	
1001	200001	אור עקיבא		שד' שידלובסקי		קופלוביץ'								
1002	640057	אור עקיבא		שד' דוד המלך		תמר		האלה						
1003	8850002	חדרה		יצחק בן צבי		פיינברג								
1004	210009	חדרה		העצמאות		ההגנה		כ"ט בנובמבר						
1005	90008	חדרה		ז'בוטינסקי		הלל יפה								
1006	9370122	חדרה		ז'בוטינסקי		רוטשילד								
1007	8340001	חדרה		יפה נוף		העצמאות								
1008	11080422	חיפה		שד' קיש		יפה נוף								
1009	190423	חיפה		רחל		אלכסנדר ינאי		לאה						
1010	110411	חיפה		שד' מאפו		רנ"ק		מיכ"ל		תל מאנה				
1011	390412	חיפה		פינלנד		אנטוורפן		שלונסקי						
1012	16920412	חיפה		הולנד		שופמן		הויסמנס		אסתר רבין				
1013	580001	כרמיאל		חוחית		שחף		האלה						
1014	7620002	נצרת עילית		גלבוע		רימון		המלאכה						
1015	50002	נצרת עילית		חרמון		עצמון		הגבעה						

קוד הצומת	קוד למ"ס	ישוב/ כביש	שכונה/ רובע	רחוב 1 שם	רחוב 1 סוג	רחוב 2 שם	רחוב 2 סוג	רחוב 3 שם	רחוב 3 סוג	רחוב 4 שם	רחוב 4 סוג	מעגל התנועה סוג	מעגל התנועה מס' נתיבים	מס' צילום
רשימת צמתים מעגליים נסקרים בחד מסלוליות אזור המרכז														
1101	9840033	הרצליה	הרצליה הירוקה	כנפי נשרים	מאסף משני	אלתרמן	מאסף ראשי	שניאור	מקומי	אלתרמן	מאסף ראשי			
1102	100006	הרצליה	הרצליה הירוקה	הדר	מאסף משני	עליה שניה	מקומי	הדר	מאסף משני	עליה שניה	מקומי			
1103	480005	הרצליה	הרצליה הירוקה	הדר	מאסף משני		מקומי	הדר	מאסף משני		מקומי			
1104	500006	הרצליה	מרכז	הדר	מאסף משני	יגאל אלון	מאסף משני	הדר	מאסף משני	יגאל אלון	מאסף משני			
1105	8630005	הרצליה	מרכז	ירושלים	מאסף ראשי	ירושלים	מאסף ראשי	עצמאות	מאסף משני					
1106	24050222	תל אביב	צהלה	עיר שמש	מקומי	צהל	מאסף משני	טולקובסקי	מקומי	צהל	מאסף משני			
1107	80150411	תל אביב	צהלה	אבוקה	מקומי	צהל	מאסף משני	שוהם	מקומי	צהל	מאסף משני			
1108	20227	תל אביב	רמת החייל	הברזל	מאסף משני	הברזל	מאסף משני	הנחושת	מקומי					
1109	9410005	רעננה		מגדל	מאסף משני	החי"ל	מאסף משני	מגדל	מאסף משני	החי"ל	מאסף משני			
1110	170001	רעננה		בורוכוב		הפלמ"ח	מאסף משני							
1111	10680041	רעננה		בורוכוב		ציפמן								
1112	450001	רעננה		ההסתדרות		בר אילן								
1113	7650003	קרית אונו	קיראון	ירושלים	מאסף משני	שלמה המלך	מאסף ראשי	ההדר	מאסף משני	שלמה המלך	מאסף ראשי			
1114	7730004	כפר סבא		אז"ר	מאסף משני	השחר	מאסף משני	אז"ר	מאסף משני					
1115	170005	כפר סבא		תל חי		בן גוריון		תל חי		בן גוריון				

3.2.1.2 עיבוד התצפיות

עיבוד נתוני התצפיות נעשה כדלהלן:

א. התצפיות סווגו ל-6 סוגי מעגלי התנועה כמפורט לעיל
הוגדר טופס רישום אירוע שהתצפיתנים מילאו לגבי כל אחד מהאירועים שנצפו.
בטופס רישום האירוע נרשמו כל הפרטים הקשורים באירוע: נתוני הצומת, נתוני רקע (מזג אויר, מצב כביש, מצב הניתוב וכו'), רישום מפורט של מהות האירוע עצמו ופרטיו כולל תיאורו הסכמתי ע"ג תרשים הצומת שבטופס. בתרשים זה סומן גריד שהגדיר תאי שטח בתוך הצומת כך שניתן היה להגדיר גיאוגרפית חד-משמעית את מיקום תחילת כל אירוע וסיומו.
בציור מס' 3.2 מוצגים טופסי האירוע שהוכנו לכל אחד מסוגי המעגלים.

ב. האירועים סווגו לאלה: היצמדות צידית, חריגה מנתיב, אי מתן זכות קדימה לרכב, אחר.

ג. צוות מיומן צפה בכל הקטעים המצולמים וביצע את רישומי האירועים.

ד. רישומי האירועים בטפסים רוכזו בטבלה מס' 3.4 אשר כללה את כל הצמתים שנצפו.
הטבלה מפרטת את נתוני האירועים בנפרד לכל אחד מסוגי מעגלי התנועה שעבורם בוצע ניתוח מרכיבי האירועים.

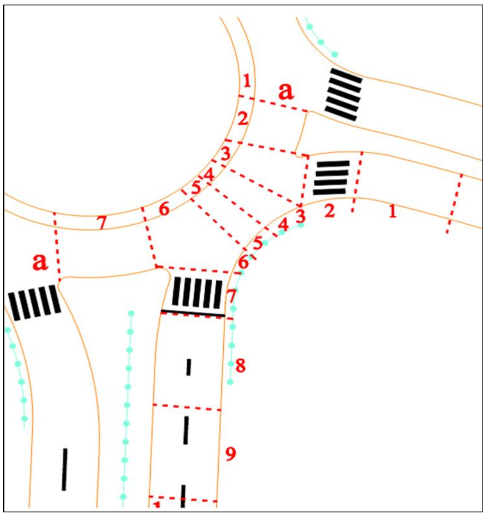
ה. נעשתה הצלבה בין משבצת תחילת כל אירוע לבין סוג האירוע. הדבר נעשה בנפרד לכל סוג מעגל ומוצג בטבלאות מס' 3.5 – 3.10.

ו. בוצע מיפוי להמחשה חזותית של הפריסה הגיאוגרפית של היקפי האירועים בכל תא שטח והוא מוצג מתחת לטבלה של אותו סוג מעגל.
ההמחשה נעשתה ע"י ציון עיגולים בגודל יחסי לכמות האירועים שנצפו בכל תא שטח בכל אחד מסוגי המעגלים.
ניתוח זה של מיקום התרחישים של כל אירוע כנגד מהותו ופרטיו יאפשר בהמשך הסקת מסקנות באשר לאופן הטיפול האפשרי במזעור או אף מניעת אירועים מסוג אלה שאובחנו.

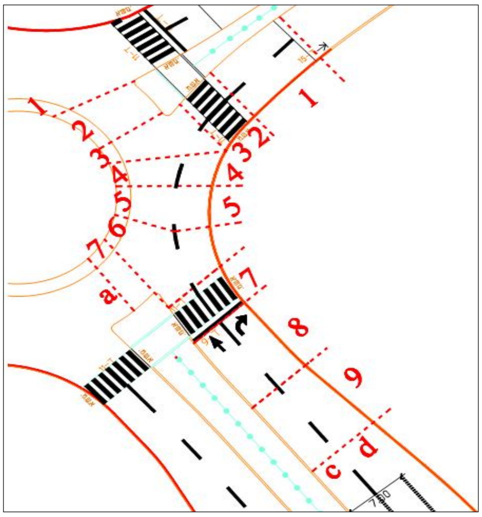
ציור מס׳ 3.2 : סקיצות סוגי המעגלים וחלוקתם לתאי שטח

Figure No. 3.2: Sketches of roundabout types and their distribution to space cells

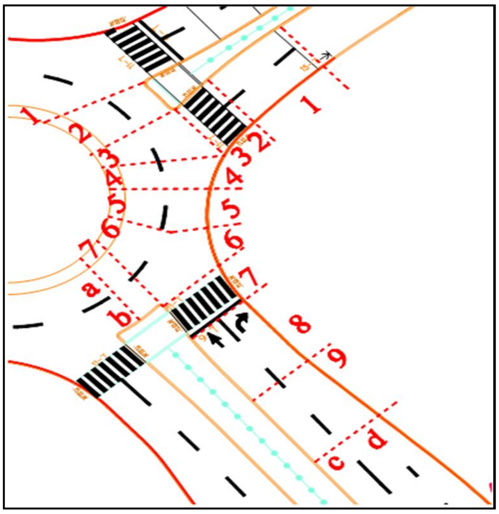
סוג 1



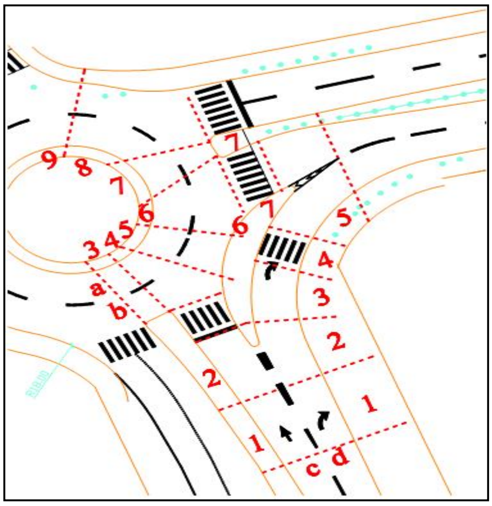
סוג 2



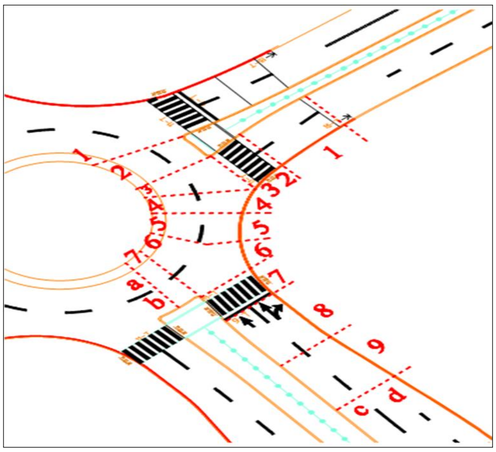
סוג 3



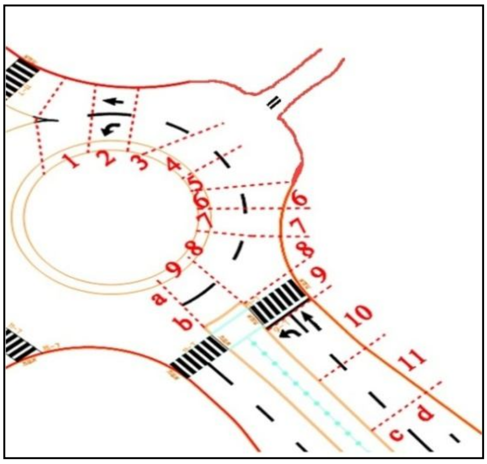
סוג 4



סוג 5



סוג 6



טבלה מס' 3.4 : רשימת האירועים ופרטיהם בצמתים שנצפו

Table 3.4: List of events and their details in the obser**ved intersections**

מס' צומת	סוג צומת	עיר	רחוב1	רחוב2	תאריך תצפית	שעת ארוע	מצב צבע	זרוע	מזג אויר	סוג רכב א	סוג רכב ב	מהות ארוע	משבצת תחילה	משבצת סיום	סוג ארוע
1	1	אור עקיבא	ויצמן	המלך דוד	01.12.10	13:46:00	ברור	ויצמן	בהיר	פרטי	פרטי	עקיפה מימין	B7	B7	אחר
1	1	אור עקיבא	ויצמן	המלך דוד	01.12.10	14:52:18	ברור	ויצמן	בהיר	פרטי	פרטי	עקיפה מימין	B7	B7	אחר
1	1	אור עקיבא	ויצמן	המלך דוד	01.12.10	14:51:58	ברור	ויצמן	בהיר	פרטי	פרטי		C6	A6	אי מתן ז"ק לרכב
3	1	אור עקיבא	ויצמן	שידולובסקי	02.12.10	10:27:30	ברור	ויצמן	בהיר	אוטובוס	פרטי		B7	A6	אי מתן ז"ק לרכב
3	1	אור עקיבא	ויצמן	שידולובסקי	02.12.10	07:58:50	ברור	ויצמן	בהיר	פרטי	פרטי		B8	B7	הצמדות צידית
3	1	אור עקיבא	ויצמן	שידולובסקי	02.12.10	08:00:40	ברור	ויצמן	בהיר	פרטי	פרטי		B8	B7	הצמדות צידית
3	1	אור עקיבא	ויצמן	שידולובסקי	02.12.10	08:01:02	ברור	ויצמן	בהיר	פרטי	פרטי		B8	B7	הצמדות צידית
5	1	אור עקיבא	ויצמן	קופולוביץ	01.12.10	13:48:38	ברור	ויצמן	בהיר	פרטי	פרטי		C8	B7	הצמדות צידית
7	1	אור עקיבא	רמפה מצפון	שידולובסקי	02.12.10	15:41:31	ברור	שידולבסקי	בהיר	פרטי	פרטי		B8	A7	הצמדות וחריגה
12	1	חדרה	ויצמן	צהל	29.11.10	16:17:52	ברור	ויצמן	בהיר	פרטי	פרטי		C2	A2	אחר
15	5	חדרה	גולני	נהלל	01.12.11	07:47:10	ברור	גולני	בהיר	פרטי			B7	A1	חריגה מנתיב
15	5	חדרה	גולני	נהלל	01.12.11	07:47:25	ברור	גולני	בהיר	פרטי			B7	A1	חריגה מנתיב
15	5	חדרה	גולני	נהלל	01.12.11	07:47:42	ברור	גולני	בהיר	פרטי			B7	A1	חריגה מנתיב
20	3	חיפה	שמשון	יונתן	08.12.11	13:49:55	ברור	שמשון	בהיר	משאית			A7	A5	חריגה מנתיב
20	3	חיפה	שמשון	יונתן	08.12.11	16:33:11	ברור	שמשון	בהיר	פרטי			A7	A5	חריגה מנתיב
23	1	חיפה	חניתה	ניסנבוים	09.12.10	14:55:00	ברור	ניסנבוים	בהיר	פרטי	פרטי		B7	A6	ז"ק ובלימה פתאומ
24	6	חיפה	טצרנחובסקי	דרך צרפת	07.12.10	09:50:43	ברור	טצרנחובסקי	מעונן	פרטי	פרטי		C9	B8	אי מתן ז"ק לרכב
24	6	חיפה	טצרנחובסקי	דרך צרפת	07.12.10	11:58:10	ברור	טצרנחובסקי	מעונן	פרטי	פרטי		C9	B8	אי מתן ז"ק לרכב
25	5	חיפה	המגינים	בן גוריון	07.12.10	15:54:54	ברור	המגינים	גשום	פרטי	פרטי		C7	B6	אי מתן ז"ק לרכב
26	2	חיפה	אלנבי	סלוודור	07.12.10	12:57:03	ברור	אלנבי	גשום	משאית			A7	A2	חריגה מנתיב
26	2	חיפה	אלנבי	סלוודור	07.12.10	13:47:09	ברור	אלנבי	גשום	פרטי	פרטי	נסיעה לאחור	C2	C5	אחר
28	4	קרית ים	ירושלים	צהל	08.12.10	10:52:30	ברור	ירושלים	בהיר	פרטי	פרטי		C2	C2	חריגה מנתיב
28	4	קרית ים	ירושלים	צהל	08.12.10	10:53:25	ברור	ירושלים	בהיר	פרטי	פרטי		C2	C2	חריגה מנתיב
28	4	קרית ים	ירושלים	צהל	08.12.10	10:54:35	ברור	ירושלים	בהיר	פרטי	פרטי		C2	D2	חריגה מנתיב
28	4	קרית ים	ירושלים	צהל	08.12.10	10:59:39	ברור	ירושלים	בהיר	פרטי	פרטי		C2	D2	חריגה מנתיב
28	4	קרית ים	ירושלים	צהל	08.12.10	11:38:22	ברור	ירושלים	בהיר	פרטי	פרטי		C2	D2	חריגה מנתיב
28	4	קרית ים	ירושלים	צהל	08.12.10	11:49:29	ברור	ירושלים	בהיר	פרטי	פרטי		C2	D2	חריגה מנתיב
28	4	קרית ים	ירושלים	צהל	08.12.10	11:52:14	ברור	ירושלים	בהיר	פרטי	פרטי		C2	D2	חריגה מנתיב
28	4	קרית ים	ירושלים	צהל	08.12.10	11:53:27	ברור	ירושלים	בהיר	פרטי	פרטי		C2	D2	חריגה מנתיב
28	4	קרית ים	ירושלים	צהל	08.12.10	12:00:35	ברור	ירושלים	בהיר	פרטי	פרטי		C2	D2	חריגה מנתיב
28	4	קרית ים	ירושלים	צהל	08.12.10	12:10:01	ברור	ירושלים	בהיר	פרטי	פרטי		C2	D2	חריגה מנתיב
30	4	קרית ים	פלמח	יצחק לבון	08.12.10	11:20:29	ברור	פלמח	בהיר	פרטי	פרטי		C3	B4	אי מתן ז"ק לרכב
32	4	קרית מוצקין	חשמונאים	יגאל אלון	09.12.10	09:38:32	ברור	חשמונאים	בהיר	פרטי			D5	A7	חריגה מנתיב
34	5	קרית מוצקין	בן גוריון	חשמונאים	09.12.10	09:25:30	ברור	בן גוריון	בהיר	פרטי	פרטי		C7	B2	חריגה מנתיב
34	5	קרית מוצקין	בן גוריון	חשמונאים	09.12.10	11:20:52	ברור	בן גוריון	בהיר	פרטי	פרטי	תאונה			חריגה והצמדות
38	5	קרית מוצקין	גושן	דבורה	15.12.10	08:28:44	ברור	גושן	בהיר	פרטי	פרטי		D7	B7	אי מתן ז"ק לרכב
39	2	כרמיאל	נשיאי ישראל	דקל	10.01.11	13:26:28	ברור	נשיאי ישראל	בהיר	פרטי	פרטי		A6	A4	חריגה מנתיב
40	5	כרמיאל	נשיאי ישראל	קרן היסוד	10.01.11	11:01:20	ברור	נשיאי ישראל	מעונן	פרטי	פרטי	נסיעה לאחור	B2	A3	אחר
41	4	כרמיאל	נשיאי ישראל	איריס	11.01.11	09:10:13	ברור	נשיאי ישראל	מעונן	פרטי	פרטי	נסיעה לאחור	D3	B4	אחר
42	1	כרמיאל	נשיאי ישראל	יודפת	11.01.11	11:28:48	ברור	נשיאי ישראל	בהיר	פרטי	פרטי		B7	C7	הצמדות צידית
42	1	כרמיאל	נשיאי ישראל	יודפת	11.01.11	11:49:42	ברור	נשיאי ישראל	בהיר	פרטי	פרטי		B7	C7	הצמדות צידית
43	6	כרמיאל	נשיאי ישראל	מורד הגיא	12.01.11	13:16:55	דהוי	נשיאי ישראל	בהיר	פרטי			B8	A2	חריגה מנתיב
43	6	כרמיאל	נשיאי ישראל	מורד הגיא	12.01.11	16:15:15	דהוי	נשיאי ישראל	בהיר	פרטי			B8	A2	חריגה מנתיב
43	6	כרמיאל	נשיאי ישראל	מורד הגיא	12.01.11	12:51:55	דהוי	נשיאי ישראל	בהיר	פרטי			D9	A3	חריגה מנתיב
43	6	כרמיאל	נשיאי ישראל	מורד הגיא	12.01.11	13:08:45	דהוי	נשיאי ישראל	בהיר	פרטי			D9	A3	חריגה מנתיב
43	6	כרמיאל	נשיאי ישראל	מורד הגיא	12.01.11	13:14:50	דהוי	נשיאי ישראל	בהיר	פרטי			D9	A3	חריגה מנתיב
43	6	כרמיאל	נשיאי ישראל	מורד הגיא	12.01.11	14:18:05	דהוי	נשיאי ישראל	בהיר	פרטי			D9	A3	חריגה מנתיב
43	6	כרמיאל	נשיאי ישראל	מורד הגיא	12.01.11	14:38:30	דהוי	נשיאי ישראל	בהיר	פרטי			D9	A3	חריגה מנתיב
43	6	כרמיאל	נשיאי ישראל	מורד הגיא	12.01.11	14:47:20	דהוי	נשיאי ישראל	בהיר	פרטי			D9	A3	חריגה מנתיב

43	6	כרמיאל	נשיאי ישראל	מורד הגיא	12.01.11	15:15:48	דהוי	נשיאי ישראל	בהיר	פרטי			D9	A3	חריגה מנתיב
43	6	כרמיאל	נשיאי ישראל	מורד הגיא	12.01.11	15:19:25	דהוי	נשיאי ישראל	בהיר	פרטי			D9	A3	חריגה מנתיב
47	1	כרמיאל	בית הכרם	אשכולות	12.01.11	02:10:54	ברור	בית הכרם	בהיר	פרטי	פרטי		C7	A6	הצמדות צידית
48	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	יזרעאל	13.01.11	11:42:35	ברור	מעלה יצחק	בהיר	משאית	פרטי		D8	A5	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	01:05:40	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	01:12:20	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	01:13:46	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	01:22:06	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	01:24:07	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	01:27:09	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	01:32:50	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	01:37:08	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	01:44:21	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	01:52:10	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	01:52:26	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	01:57:06	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	02:02:13	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	02:05:36	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	02:13:16	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	02:21:21	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	02:27:01	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	02:27:31	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	02:27:37	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	02:29:43	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	02:30:26	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	02:31:44	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	03:20:33	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	03:59:10	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	03:59:33	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	04:25:09	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B5	A4	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	01:45:07	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		C7	B7	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	01:03:08	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	משאית		C8	D8	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	01:16:38	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		C8	D8	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	01:23:55	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		C8	D8	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	01:27:05	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		C8	D8	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	01:51:34	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		C8	D8	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	03:13:44	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		C8	D8	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	03:16:56	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		C8	D8	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	03:18:52	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		C8	D8	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	00:56:40	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי			C9	D8	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	01:09:34	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי			C9	D8	חריגה מנתיב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	02:27:20	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		D7	B6	אי מתן ז"ק לרכב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	04:18:30	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		D7	B6	אי מתן ז"ק לרכב
49	5	נצרת עילית	מעלה יצחק	דרך הגליל	13.01.11	04:25:57	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		D7	B6	אי מתן ז"ק לרכב
51	1	נצרת עילית	מעלה יצחק	חטיבות	13.01.11	12:46:14	ברור	מעלה יצחק	בהיר	פרטי	פרטי		B8	C7	הצמדות צידית
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	07:09:50	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B6	A6	אי מתן ז"ק לרכב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	07:57:43	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B6	A6	אי מתן ז"ק לרכב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	10:11:20	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B6	A6	אי מתן ז"ק לרכב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	06:44:02	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	06:44:10	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב

101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	06:44:20	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	06:46:10	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	06:46:20	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	06:48:32	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	06:50:01	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	06:50:40	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	06:51:50	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	06:58:50	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	07:00:45	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	07:01:16	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	07:01:55	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	07:02:30	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	07:03:36	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	07:03:40	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	07:17:40	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	07:22:22	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	07:22:49	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	07:26:55	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	07:33:01	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	07:33:30	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	07:35:14	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	07:35:14	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	08:05:30	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	08:21:50	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	09:17:02	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	09:17:06	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	09:18:15	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	09:54:40	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	10:23:42	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	10:24:18	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	10:48:00	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו צ' לדר'	בן ציון	15.02.11	10:49:54	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			B8	B5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו דר' לצ'	בן ציון	15.02.11	13:30:05	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			D6	A5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו דר' לצ'	בן ציון	15.02.11	13:35:22	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			D6	A5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו דר' לצ'	בן ציון	15.02.11	13:41:51	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			D6	A5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו דר' לצ'	בן ציון	15.02.11	13:46:25	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			D6	A5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו דר' לצ'	בן ציון	15.02.11	13:52:02	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			D6	A5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו דר' לצ'	בן ציון	15.02.11	13:53:35	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			D6	A5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו דר' לצ'	בן ציון	15.02.11	13:58:05	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			D6	A5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו דר' לצ'	בן ציון	15.02.11	14:01:50	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			D6	A5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו דר' לצ'	בן ציון	15.02.11	14:03:02	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			D6	A5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו דר' לצ'	בן ציון	15.02.11	14:41:55	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			D6	A5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו דר' לצ'	בן ציון	15.02.11	14:48:37	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			D6	A5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו דר' לצ'	בן ציון	15.02.11	14:51:27	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			D6	A5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו דר' לצ'	בן ציון	15.02.11	14:51:40	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			D6	A5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו דר' לצ'	בן ציון	15.02.11	14:58:01	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			D6	A5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו דר' לצ'	בן ציון	15.02.11	14:58:09	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			D6	A5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו דר' לצ'	בן ציון	15.02.11	15:00:01	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			D6	A5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו דר' לצ'	בן ציון	15.02.11	15:05:12	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			D6	A5	חריגה מנתיב
101	5	הרצליה	נבו דר' לצ'	בן ציון	15.02.11	15:06:30	ברור	נבו צ' לדר'	בהיר	פרטי			D6	A5	חריגה מנתיב

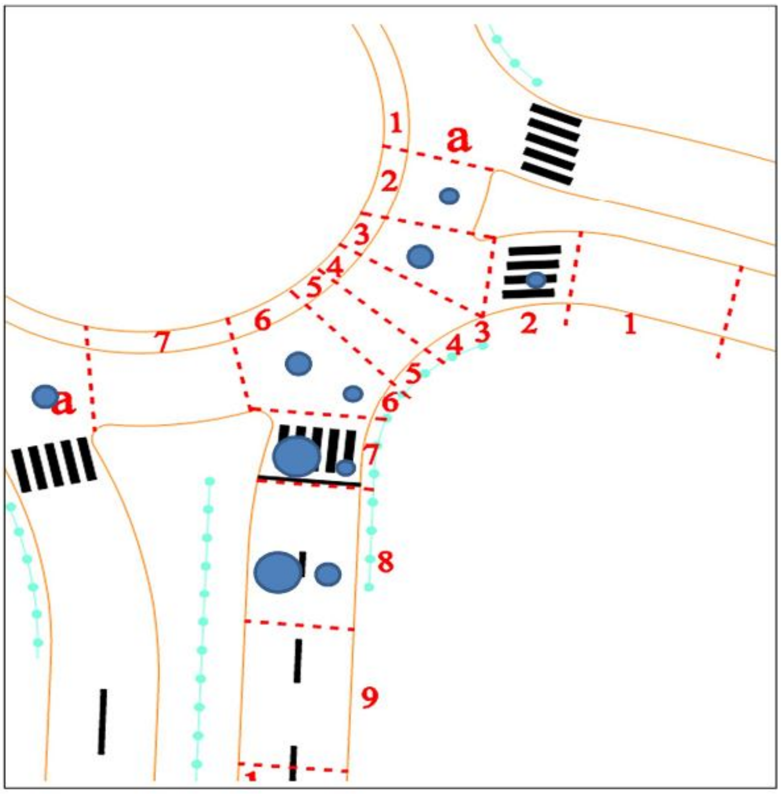
חריגה מנתיב	A5	D6			פרטי	בהיר	נבו צ' לדר'	ברור	15:08:00	15.02.11	בן ציון	נבו דר' לצ'	הרצליה	5	101
חריגה מנתיב	A5	D6			פרטי	בהיר	נבו צ' לדר'	ברור	15:08:27	15.02.11	בן ציון	נבו דר' לצ'	הרצליה	5	101
חריגה מנתיב	A5	D6			פרטי	בהיר	נבו צ' לדר'	ברור	15:11:20	15.02.11	בן ציון	נבו דר' לצ'	הרצליה	5	101
חריגה מנתיב	A5	D6			פרטי	בהיר	נבו צ' לדר'	ברור	15:14:40	15.02.11	בן ציון	נבו דר' לצ'	הרצליה	5	101
חריגה מנתיב	A5	D6			פרטי	בהיר	נבו צ' לדר'	ברור	15:15:02	15.02.11	בן ציון	נבו דר' לצ'	הרצליה	5	101
חריגה מנתיב	A5	D6			פרטי	בהיר	נבו צ' לדר'	ברור	16:33:25	15.02.11	בן ציון	נבו דר' לצ'	הרצליה	5	101
חריגה מנתיב	A5	D6			פרטי	בהיר	נבו צ' לדר'	ברור	16:39:50	15.02.11	בן ציון	נבו דר' לצ'	הרצליה	5	101
חריגה מנתיב	A5	D6			פרטי	בהיר	נבו צ' לדר'	ברור	16:42:40	15.02.11	בן ציון	נבו דר' לצ'	הרצליה	5	101
חריגה מנתיב	A5	D6			פרטי	בהיר	נבו צ' לדר'	ברור	16:46:02	15.02.11	בן ציון	נבו דר' לצ'	הרצליה	5	101
חריגה מנתיב	A5	D6			פרטי	בהיר	נבו צ' לדר'	ברור	17:04:01	15.02.11	בן ציון	נבו דר' לצ'	הרצליה	5	101
חריגה מנתיב	A5	D6			פרטי	בהיר	נבו צ' לדר'	ברור	17:07:44	15.02.11	בן ציון	נבו דר' לצ'	הרצליה	5	101
חריגה מנתיב	A5	D6			פרטי	בהיר	נבו צ' לדר'	ברור	17:16:14	15.02.11	בן ציון	נבו דר' לצ'	הרצליה	5	101
חריגה מנתיב	A5	D6			פרטי	בהיר	נבו צ' לדר'	ברור	17:20:50	15.02.11	בן ציון	נבו דר' לצ'	הרצליה	5	101
חריגה מנתיב	A5	D6			פרטי	בהיר	נבו צ' לדר'	ברור	17:30:10	15.02.11	בן ציון	נבו דר' לצ'	הרצליה	5	101
הצמדות צידית	B8	A8		פרטי	פרטי	בהיר	נבו	ברור	02:38:31	15.02.11	פינסקר	נבו	הרצליה	1	102
הצמדות צידית	B8	A8		פרטי	פרטי	בהיר	נבו	ברור	02:44:22	15.02.11	פינסקר	נבו	הרצליה	1	102
חריגה מנתיב	D2	D2		פרטי	פרטי	בהיר	רקנאטי	ברור	08:01:16	17.02.11	אחי מאיר	רקנאטי	תל אביב	4	103
חריגה מנתיב	D2	D2		פרטי	פרטי	בהיר	רקנאטי	ברור	09:22:46	17.02.11	אחי מאיר	רקנאטי	תל אביב	4	103
חריגה מנתיב	D2	D2		פרטי	פרטי	בהיר	רקנאטי	ברור	11:11:58	17.02.11	אחי מאיר	רקנאטי	תל אביב	4	103
חריגה מנתיב	C2	D2			פרטי	בהיר	2224	ברור	12:30:50	17.02.11	2224	וייז	תל אביב	4	108
חריגה מנתיב	C2	D2			פרטי	בהיר	2224	ברור	12:55:30	17.02.11	2224	וייז	תל אביב	4	108
חריגה מנתיב	C2	D2			פרטי	בהיר	2224	ברור	13:54:05	17.02.11	2224	וייז	תל אביב	4	108
חריגה מנתיב	C2	D2			פרטי	בהיר	2224	ברור	14:03:15	17.02.11	2224	וייז	תל אביב	4	108
חריגה מנתיב	C2	D2			פרטי	בהיר	2224	ברור	14:15:02	17.02.11	2224	וייז	תל אביב	4	108
חריגה מנתיב	C2	D2			פרטי	בהיר	2224	ברור	14:57:00	17.02.11	2224	וייז	תל אביב	4	108
חריגה מנתיב	C2	D2			פרטי	בהיר	2224	ברור	15:16:40	17.02.11	2224	וייז	תל אביב	4	108
חריגה מנתיב	C2	D2			פרטי	בהיר	2224	ברור	15:19:33	17.02.11	2224	וייז	תל אביב	4	108
חריגה מנתיב	C2	D2			פרטי	בהיר	2224	ברור	15:39:50	17.02.11	2224	וייז	תל אביב	4	108
חריגה מנתיב	D3	D2			פרטי	בהיר	2224	ברור	15:49:55	17.02.11	2224	וייז	תל אביב	4	108
חריגה מנתיב	C2	D2			פרטי	בהיר	2224	ברור	16:10:05	17.02.11	2224	וייז	תל אביב	4	108
אחר	A1	A2	נסיעה לאחור	פרטי	פרטי	בהיר	גולדמן	דהוי	02:50:23	15.02.11	גולדמן	רזיאל	יפו	5	109
חריגה מנתיב	B1	B1		פרטי	פרטי	בהיר	גולדמן	דהוי	01:30:30	15.02.11	גולדמן	רזיאל	יפו	5	109
אי מתן ז"ק לרכב	A1	B1		פרטי	פרטי	בהיר	גולדמן	דהוי	01:43:40	15.02.11	גולדמן	רזיאל	יפו	5	109
אי מתן ז"ק לרכב	A1	B1		פרטי	פרטי	בהיר	גולדמן	דהוי	01:44:00	15.02.11	גולדמן	רזיאל	יפו	5	109
חריגה מנתיב	B1	B1		פרטי	פרטי	בהיר	גולדמן	דהוי	01:48:04	15.02.11	גולדמן	רזיאל	יפו	5	109
אי מתן ז"ק לרכב	A1	B1		פרטי	פרטי	בהיר	גולדמן	דהוי	01:53:21	15.02.11	גולדמן	רזיאל	יפו	5	109
חריגה מנתיב	B1	B1		פרטי	פרטי	בהיר	גולדמן	דהוי	01:56:16	15.02.11	גולדמן	רזיאל	יפו	5	109
אי מתן ז"ק לרכב	A1	B1		פרטי	פרטי	בהיר	גולדמן	דהוי	02:04:01	15.02.11	גולדמן	רזיאל	יפו	5	109
חריגה מנתיב	B1	B1		פרטי	פרטי	בהיר	גולדמן	דהוי	02:17:55	15.02.11	גולדמן	רזיאל	יפו	5	109
חריגה מנתיב	B1	B1		פרטי	פרטי	בהיר	גולדמן	דהוי	02:40:12	15.02.11	גולדמן	רזיאל	יפו	5	109
חריגה מנתיב	B1	B1		פרטי	פרטי	בהיר	גולדמן	דהוי	02:40:18	15.02.11	גולדמן	רזיאל	יפו	5	109
אי מתן ז"ק לרכב	A1	B1		פרטי	פרטי	בהיר	גולדמן	דהוי	02:43:12	15.02.11	גולדמן	רזיאל	יפו	5	109
אי מתן ז"ק לרכב	A1	B1		פרטי	פרטי	בהיר	גולדמן	דהוי	02:44:24	15.02.11	גולדמן	רזיאל	יפו	5	109
אי מתן ז"ק לרכב	A1	B1		פרטי	פרטי	בהיר	גולדמן	דהוי	03:04:10	15.02.11	גולדמן	רזיאל	יפו	5	109
אי מתן ז"ק לרכב	A1	B1		פרטי	פרטי	בהיר	גולדמן	דהוי	03:12:22	15.02.11	גולדמן	רזיאל	יפו	5	109
אי מתן ז"ק לרכב	A1	B1		פרטי	פרטי	בהיר	גולדמן	דהוי	03:28:22	15.02.11	גולדמן	רזיאל	יפו	5	109
אי מתן ז"ק לרכב	A1	B1		פרטי	פרטי	בהיר	גולדמן	דהוי	04:07:08	15.02.11	גולדמן	רזיאל	יפו	5	109
אי מתן ז"ק לרכב	A1	B1		פרטי	פרטי	בהיר	גולדמן	דהוי	04:14:15	15.02.11	גולדמן	רזיאל	יפו	5	109
אי מתן ז"ק לרכב	A1	B1		פרטי	פרטי	בהיר	גולדמן	דהוי	04:22:58	15.02.11	גולדמן	רזיאל	יפו	5	109
אי מתן ז"ק לרכב	A1	B1		פרטי	פרטי	בהיר	גולדמן	דהוי	04:36:33	15.02.11	גולדמן	רזיאל	יפו	5	109

109	5	יפו	רזיאל	גולדמן	15.02.11	04:38:28	דהוי	גולדמן	בהיר	פרטי	פרטי		B1	A1	אי מתן ז"ק לרכב
109	5	יפו	רזיאל	גולדמן	15.02.11	04:44:55	דהוי	גולדמן	בהיר	פרטי	פרטי		B1	A1	אי מתן ז"ק לרכב
109	5	יפו	רזיאל	גולדמן	15.02.11	04:45:52	דהוי	גולדמן	בהיר	פרטי	פרטי		B1	A1	אי מתן ז"ק לרכב
109	5	יפו	רזיאל	גולדמן	15.02.11	04:51:05	דהוי	גולדמן	בהיר	פרטי	פרטי		B1	A1	אי מתן ז"ק לרכב
109	5	יפו	רזיאל	גולדמן	15.02.11	04:51:41	דהוי	גולדמן	בהיר	פרטי	פרטי		B1	A1	אי מתן ז"ק לרכב
109	5	יפו	רזיאל	גולדמן	15.02.11	04:52:47	דהוי	גולדמן	בהיר	פרטי	פרטי		B1	A1	אי מתן ז"ק לרכב
109	5	יפו	רזיאל	גולדמן	15.02.11	04:52:58	דהוי	גולדמן	בהיר	פרטי	פרטי		B1	A1	אי מתן ז"ק לרכב
109	5	יפו	רזיאל	גולדמן	15.02.11	04:53:04	דהוי	גולדמן	בהיר	פרטי	פרטי		B1	A1	אי מתן ז"ק לרכב
109	5	יפו	רזיאל	גולדמן	15.02.11	04:53:38	דהוי	גולדמן	בהיר	פרטי	פרטי		B1	A1	אי מתן ז"ק לרכב
109	5	יפו	רזיאל	גולדמן	15.02.11	04:54:17	דהוי	גולדמן	בהיר	פרטי	פרטי		B1	A1	אי מתן ז"ק לרכב
109	5	יפו	רזיאל	גולדמן	15.02.11	04:56:45	דהוי	גולדמן	בהיר	פרטי	פרטי		B1	A1	אי מתן ז"ק לרכב
109	5	יפו	רזיאל	גולדמן	15.02.11	04:57:40	דהוי	גולדמן	בהיר	פרטי	פרטי		B1	A1	אי מתן ז"ק לרכב
109	5	יפו	רזיאל	גולדמן	15.02.11	05:00:50	דהוי	גולדמן	בהיר	פרטי	פרטי		B1	A1	אי מתן ז"ק לרכב
109	5	יפו	רזיאל	גולדמן	15.02.11	05:07:52	דהוי	גולדמן	בהיר	פרטי	פרטי		B1	A1	אי מתן ז"ק לרכב
109	5	יפו	רזיאל	גולדמן	15.02.11	05:13:40	דהוי	גולדמן	בהיר	פרטי	פרטי		B1	A1	אי מתן ז"ק לרכב
109	5	יפו	רזיאל	גולדמן	15.02.11	05:15:00	דהוי	גולדמן	בהיר	פרטי	פרטי		B1	A1	אי מתן ז"ק לרכב
109	5	יפו	רזיאל	גולדמן	15.02.11	05:24:00	דהוי	גולדמן	בהיר	פרטי	פרטי		B1	A1	אי מתן ז"ק לרכב
109	5	יפו	רזיאל	גולדמן	15.02.11	05:24:30	דהוי	גולדמן	בהיר	פרטי	פרטי		B1	A1	אי מתן ז"ק לרכב
109	5	יפו	רזיאל	גולדמן	15.02.11	05:36:22	דהוי	גולדמן	בהיר	פרטי	פרטי		B1	A1	אי מתן ז"ק לרכב
109	5	יפו	רזיאל	גולדמן	15.02.11	02:56:52	דהוי	גולדמן	בהיר	פרטי	פרטי		B2	A1	חריגה מנתיב
109	5	יפו	רזיאל	גולדמן	15.02.11	03:10:55	דהוי	גולדמן	בהיר	פרטי	פרטי		B2	A1	חריגה מנתיב
109	5	יפו	רזיאל	גולדמן	15.02.11	03:26:55	דהוי	גולדמן	בהיר	פרטי	פרטי		B2	A1	חריגה מנתיב
109	5	יפו	רזיאל	גולדמן	15.02.11	03:28:22	דהוי	גולדמן	בהיר	פרטי	פרטי		B2	A1	חריגה מנתיב
110	1	יפו	גרינבוים	גרוסמן	23.02.11	08:37:30	ברור	רינבוים	בהיר	פרטי	פרטי		B8	C8	הצמדות צידית
112	1	חולון	זבוטינסקי	חנקין	23.02.11	02:28:27	דהוי	חנקין	בהיר	פרטי	קטנוע		A6	A6	אי מתן ז"ק לרכב
112	1	חולון	זבוטינסקי	חנקין	23.02.11	04:29:26	דהוי	חנקין	בהיר	פרטי		כניסה באין כניסה	A6		אחר
114	1	בת ים	הנביאים	יצחק שדה	23.02.11	14:19:00	דהוי	יצחק שדה	בהיר	פרטי	מסחרי		A3	A2	הצמדות צידית
114	1	בת ים	הנביאים	יצחק שדה	23.02.11	16:22:54	דהוי	יצחק שדה	בהיר	פרטי	פרטי		A3	A2	הצמדות צידית
115	1	בת ים	כט בנובמבר	אנה פרנק	23.02.11	08:04:00	דהוי	כט בנובמבר	בהיר	משאית	פרטי		A2	A2	אחר
115	1	בת ים	כט בנובמבר	אנה פרנק	23.02.11	09:18:15	דהוי	כט בנובמבר	בהיר	ה"ר	פרטי		B7	C7	אי מתן ז"ק לה"ר ו
116	1	נתניה	בן גוריון	שור	24.01.11	00:49:40	ברור	בן גוריון	בהיר	פרטי	פרטי		C9	B8	הצמדות צידית
116	1	נתניה	בן גוריון	שור	24.01.11	01:53:45	ברור	בן גוריון	בהיר	פרטי	פרטי		C9	B8	הצמדות צידית
116	1	נתניה	בן גוריון	שור	24.01.11	22:59:12	ברור	בן גוריון	בהיר	פרטי	פרטי		C9	B8	הצמדות צידית
116	1	נתניה	בן גוריון	שור	24.01.11	23:00:42	ברור	בן גוריון	בהיר	פרטי	פרטי		C9	B8	הצמדות צידית
116	1	נתניה	בן גוריון	שור	24.01.11	23:03:35	ברור	בן גוריון	בהיר	פרטי	פרטי	עקיפה מהשוליים	C9	C8	אחר
116	1	נתניה	בן גוריון	שור	24.01.11	23:16:21	ברור	בן גוריון	בהיר	פרטי	פרטי		C9	B8	הצמדות צידית
116	1	נתניה	בן גוריון	שור	24.01.11	23:30:55	ברור	בן גוריון	בהיר	פרטי	פרטי		C9	B8	הצמדות צידית
120	1	נתניה	שלום עליכם	חבצלת החוף	24.01.11	01:19:50	ברור	שלום עליכם	בהיר	פרטי	פרטי		C9	B7	הצמדות צידית
120	1	נתניה	שלום עליכם	חבצלת החוף	24.01.11	04:01:37	ברור	שלום עליכם	בהיר	פרטי	פרטי		C9	B7	הצמדות צידית
120	1	נתניה	שלום עליכם	חבצלת החוף	24.01.11	05:20:20	ברור	שלום עליכם	בהיר	פרטי	פרטי		C9	B7	הצמדות צידית
124	1	נתניה	דגניה	אלונים	14.02.11	19:35:08	דהוי	דגניה	בהיר	משאית	פרטי		C8	C8	הצמדות צידית

טבלה מס׳ 3.5: פריסת האירועים בצמתים מסוג 1 ובמיון לסוגיהם

Table 3.5: Distribution and sorting of type 1 junctions events

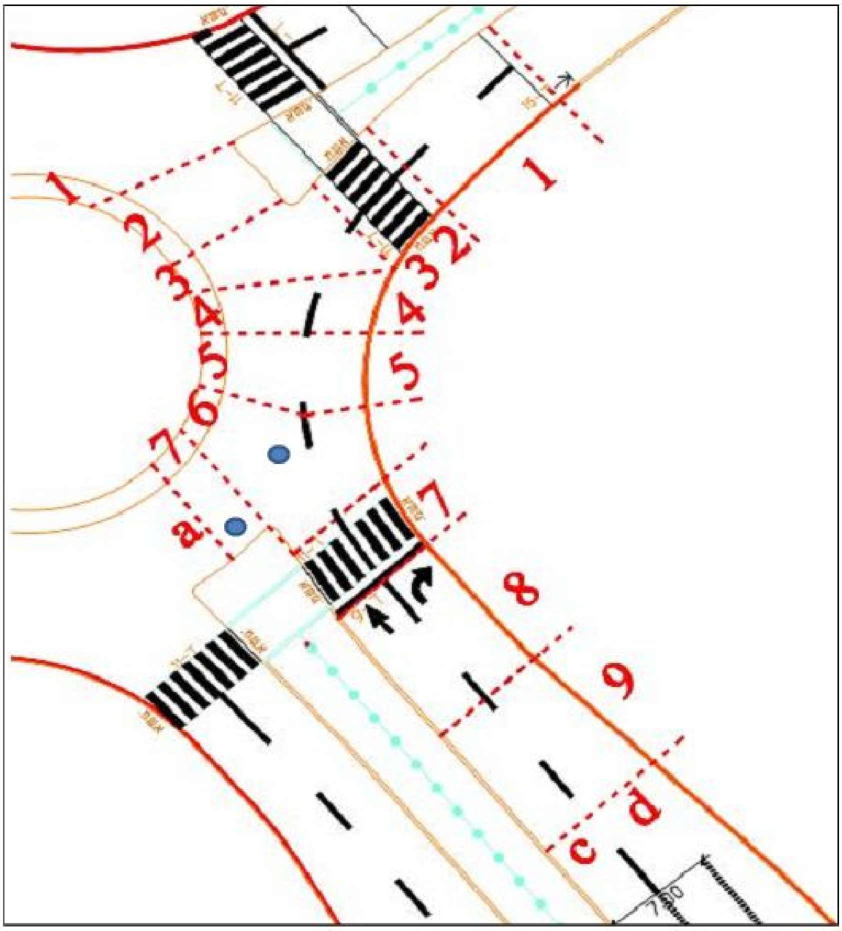
משבצת רכב א	סוג אירוע					
	הצמדות צידית	אי מתן ז״ק	חריגה מנתיב	בלימת פתאום	אחר	סה״כ
A2					1	1
A3	2					2
A6		1			1	2
A8	2					2
B7	2	3			2	7
B8	5		2			7
C2					1	1
C6					1	1
C7	1					1
C8	2					2
C9	9				1	10
סה״כ	23	4	2	0	7	36



טבלה מס׳ 3.6: פריסת האירועים בצמתים מסוג 2 ובמיון לסוגיהם

Table 3.6: Distribution and sorting of type 2 junctions events

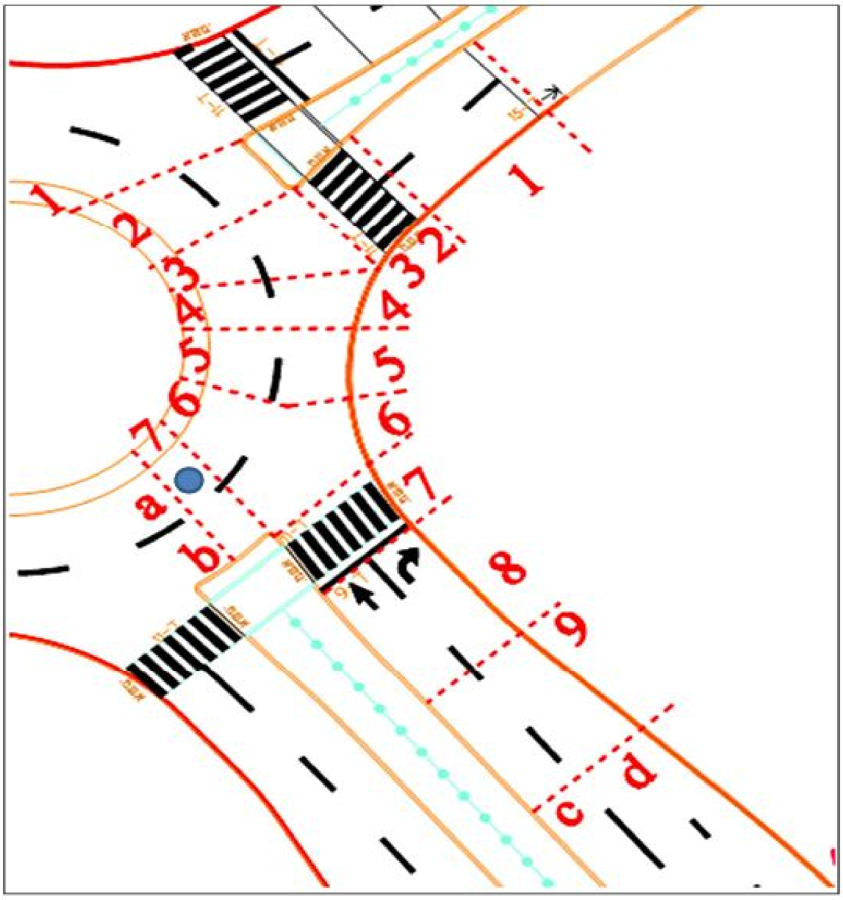
משבצת רכב א	סוג אירוע					
	הצמדות צידית	אי מתן ז״ק	חריגה מנתיב	בלימת פתאום	אחר	סה״כ
A6			1			1
A7			1			1
C2					1	1
סה״כ	0	0	2	0	1	3



טבלה מס׳ 3.7: פריסת האירועים בצמתים מסוג 3 ובמיון לסוגיהם

Table 3.7: Distribution and sorting of type 3 junctions events

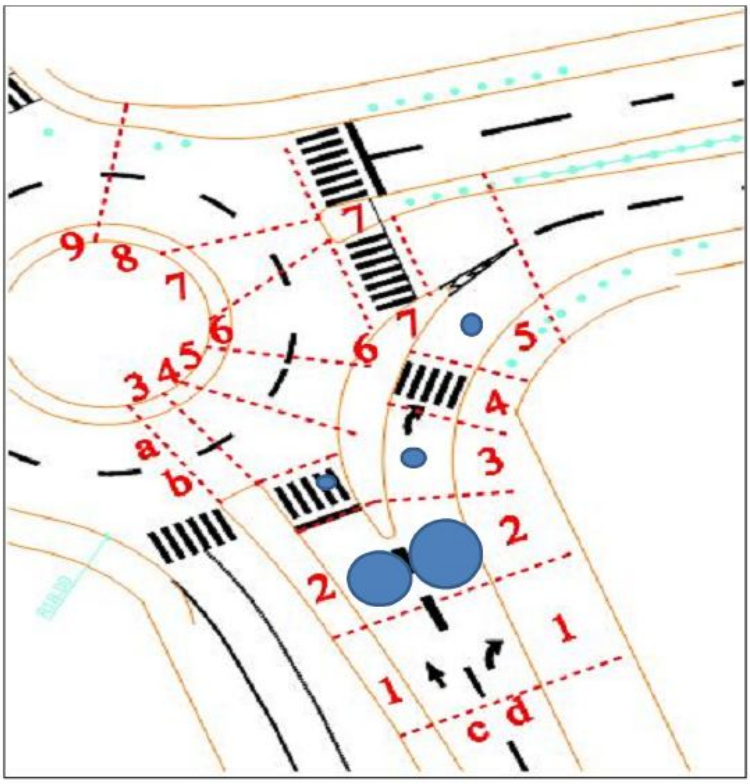
משבצת רכב א	סוג אירוע					
	הצמדות צידית	אי מתן ז״ק	חריגה מנתיב	בלימת פתאום	אחר	סה״כ
A7			2			2
סה״כ	0	0	2	0	0	2



טבלה מס׳ 3.8: פריסת האירועים בצמתים מסוג 4 ובמיון לסוגיהם

Table 3.8: Distribution and sorting of type 4 junctions events

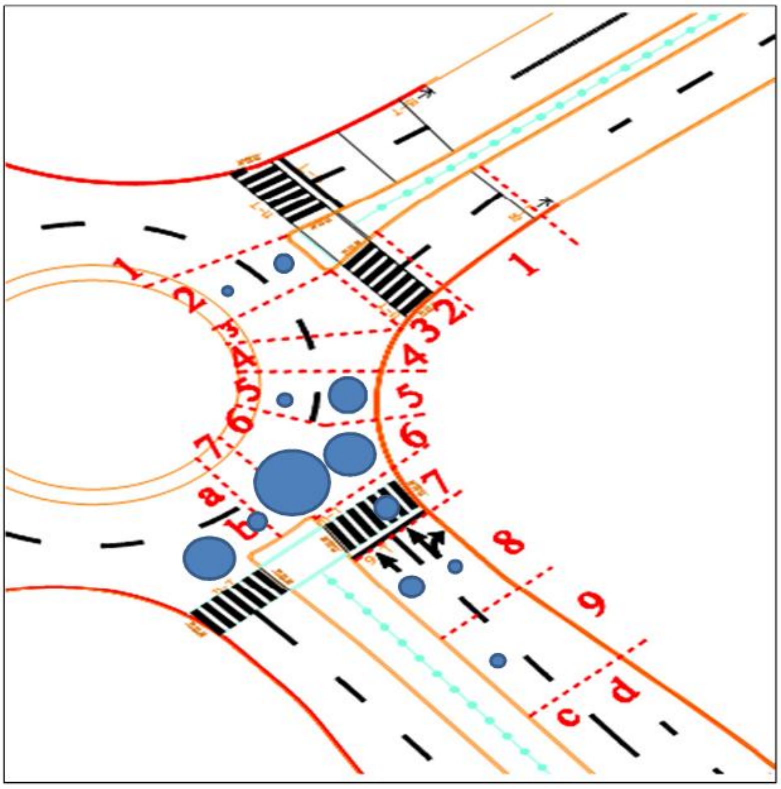
משבצת רכב א	סוג אירוע					
	הצמדות צידית	אי מתן ז״ק	חריגה מנתיב	בלימת פתאום	אחר	סה״כ
C2			10			10
C3					1	1
D5			1			1
D3					1	1
D2			14			14
סה״כ	0	0	25	0	2	27



טבלה מס׳ 3.9: פריסת האירועים בצמתים מסוג 5 ובמיון לסוגיהם

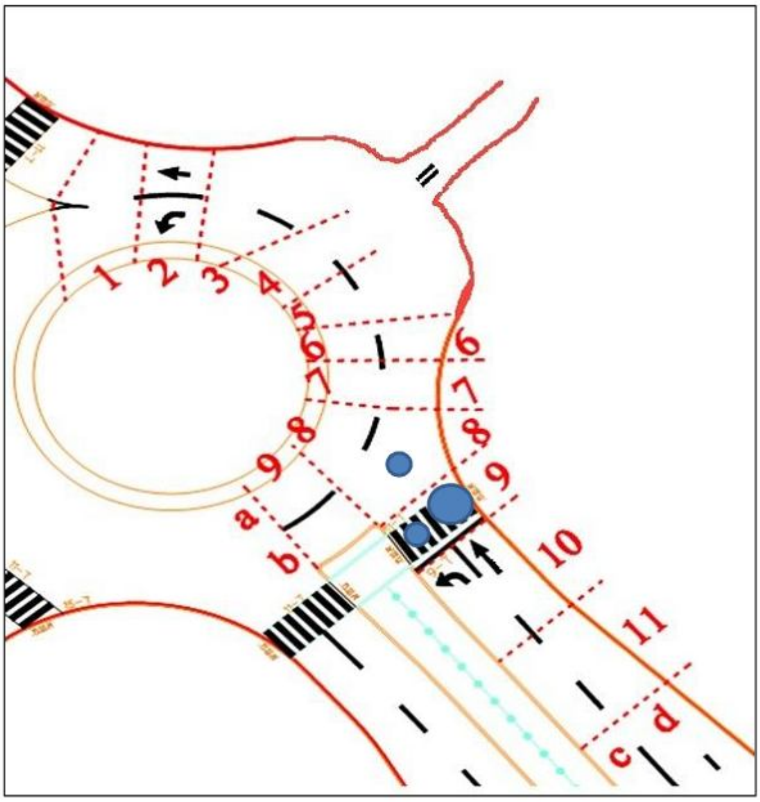
Table 3.9: Distribution and sorting of type 5 junctions events

משבצת רכב א	סוג אירוע					
	הצמדות צידית	אי מתן ז"ק	חריגה מנתיב	בלימת פתאום	אחר	סה"כ
A2					1	1
A5					2	2
B1		38				38
B2			4		1	5
B5			26			26
B6			80			80
B7			3			3
B8			34			34
C7		1	4		2	7
C8			8			8
C9			2			2
D6			32			32
D7		4				4
D8		1				1
סה"כ	0	44	193	0	6	243



טבלה מס׳ 3.10: פריסת האירועים בצמתים מסוג 6 ובמיון לסוגיהם
Table 3.10: Distribution and sorting of type 6 junctions events

משבצת רכב א	סוג אירוע					
	הצמדות צידית	אי מתן ז"ק	חריגה מנתיב	בלימת פתאום	אחר	סה"כ
B8			2			2
C9		2				2
D9			8			8
סה"כ	0	2	10	0	0	12



ריכוז סוגי אירוע לכל סוגי הצמתים

סוג צומת	סוג אירוע					
	הצמדות צידית	אי מתן ז"ק	חריגה מנתיב	בלימת פתאום	אחר	סה"כ
1	23	4	2	0	7	36
2	0	0	2	0	1	3
3	0	0	2	0	0	2
4	0	0	25	0	2	27
5	0	44	193	0	6	243
6	0	2	10	0	0	12
סה"כ	23	50	234	0	16	323

4. ממצאים וניתוחם

הדיון בתוצאות כולל את ניתוח התאונות ואת ניתוח התצפיות.
תאונות הדרכים ינותחו סטטיסטית לפי סוג המעגל ומאפייני התאונה.
עיבוד התוצאות של התצפיות וניתוחן ייעשה בשני מישורים - האחד, ניתוח סטטיסטי והשני, ממצאים איכותניים הכוללים את מפות מיקומי האירועים עם אפיון האירועים בהם.

4.1 תאונות דרכים

4.1.1 ממצאים סטטיסטיים

נאספו נתונים על 77 הצמתים הדו-מסלוליים שנצפו (קבוצת המחקר) ו- 30 הצמתים החד-מסלוליים (קבוצת ביקורת).
נתוני התאונות נלקחו מקובץ תאונות עם נפגעים (למ"ס) בשנים 2006-2010 – עבור כל הצמתים המשתתפים במחקר. כולל קבוצת הבקורת (קבוצה 0).
התאונות "שוקללו" לפי המשקל הבא: תאונות קלות קיבלו משקל 1, תאונות קשות קיבלו משקל 8, דהיינו שוות ערך ל- 8 תאונות קלות, ותאונות קטלניות קיבלו משקל 50.
ערכים אלה מבטאים בקרוב את יחס הנזק הכלכלי.
עפ"י ערכים אלה חושב ממוצע תאונות "קלות" לכל אחד משישה סוגי הצמתים וסטית התקן, זאת כמפורט בטבלה 4.1.

טבלה מס' 4.1: ממוצע שווה ערך תאונות "קלות" לפי 6 סוגי צמתים וקבוצת הביקורת

Table 4.1: Average of "light" Accident equivalent sorted to 6 types of roundabouts and the control group

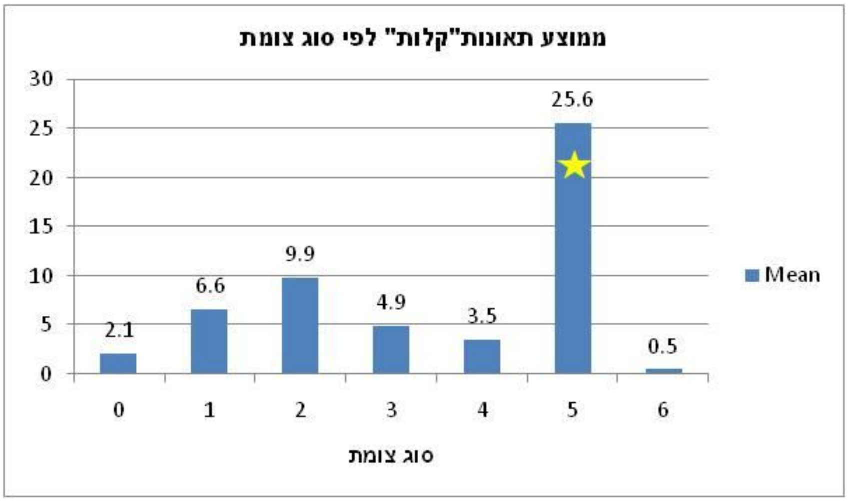
סוג צומת	מס' צמתים	סה"כ תאונות	ממוצע תאונות לצומת	סטיית תקן
0	30	62	2.07	2.82
1	35	232	6.63	13.60
2	9	89	9.89	22.25
3	8	39	4.88	4.70
4	8	28	3.50	6.05
5	13	333	25.62	30.15
6	4	2	0.50	1.00
כל הצמתים	107	785	7.34	16.08

במבחן one-way anova נבדק האם קיים הבדל מובהק בממוצע תאונות לפי 6 סוגי הצמתים ונמצא כי קיים הבדל ($F=4.28$ $df=6,100$ $p\text{-value}<0.01$).

במבחני POST HOC נמצא כי צומת מסוג 5 בולט במספר התאונות באופן משמעותי מיתר הצמתים – הדבר מומחש בגרף אשר בציור מס׳ 4.1. כן ניתן לראות שבכל סוגי הצמתים המעגליים הדו-מסלוליים, מספר התאונות הממוצע גבוה יותר לעומת הצמתים החד-מסלוליים (נתעלם מקבוצה 6 בה גודל המדגם קטן מדי).

ציור מס׳ 4.1: ממוצע שווה ערך תאונות קלות לפי סוג הצומת

Figure No. 4.1: Average of equivalent of light accidents by type of roundabout



בהמשך, נבדק כמה תאונות התרחשו בסוגי הצמתים השונים לפי תקופות יום שונות, ולפי סוגי התאונות.

הניתוח מוצג בטבלאות 4.2, 4.3 וציורים 4.2, 4.3.

טבלה מס׳ 4.2: פילוג התאונות לפי תקופות היום ולפי סוגי הצמתים.

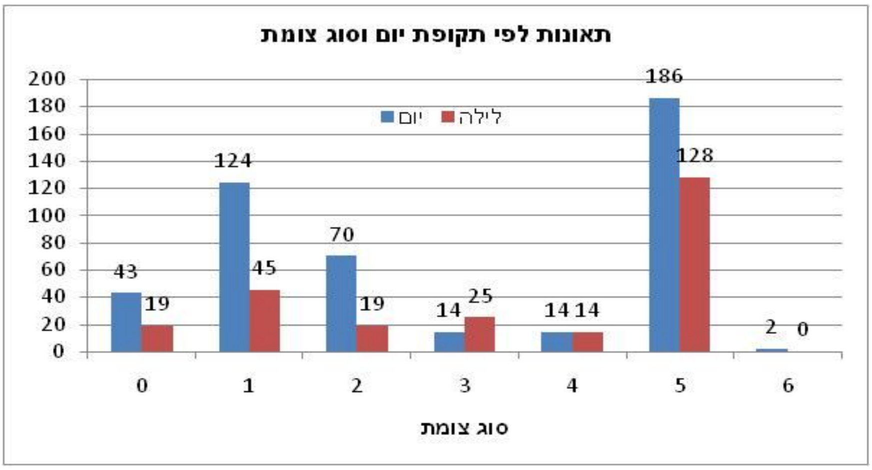
Table 4.2: Distribution of accidents by day periods and types of roundabouts

סוג צומת	מס' צמתים	תאונות יום/לילה			ממוצע תאונות לצומת	
		יום	לילה	סה"כ	יום	לילה
0	30	43	19	62	1.43	0.63
1	35	124	45	169	3.54	1.29
2	9	70	19	89	7.78	2.11
3	8	14	25	39	1.75	3.13
4	8	14	14	28	1.75	1.75
5	13	186	128	314	14.31	9.85
6	4	2	0	2	0.50	0.00
כל הצמתים	107	453	250	703	4.23	2.34

גם כאן ניתן לראות את קבוצה 5 בולטת לרעה ואת קבוצה 0 בולטת לטובה גם ביום וגם בלילה.

ציור מס' 4.2: היסטוגרמת פילוג התאונות לפי תקופת היום ולפי סוגי הצומת

Figure No. 4.2: Histogram of distribution of accidents according to the period of the day and by type of roundabout



טבלה מס' 4.3: מיון לסוגי התאונות לפי סוגי הצומת

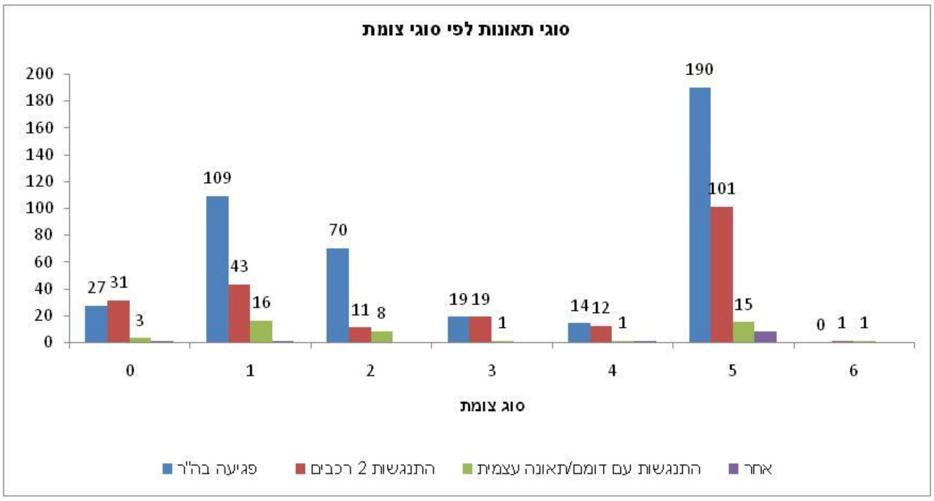
Table 4.3: Sorting the types of accidents by type of roundabout

סוג צומת	מס' צמתים	פגיעה בה"ר		התנגשות רכב-רכב		התנגשות עם דומם/עצמית		אחר	
		סה"כ	ממוצע לצומת	סה"כ	ממוצע לצומת	סה"כ	ממוצע לצומת	סה"כ	ממוצע לצומת
0	30	27	0.90	31	1.03	3	0.10	1	0.03
1	35	109	3.11	43	1.23	16	0.46	1	0.03
2	9	70	7.78	11	1.22	8	0.89	0	0.00
3	8	19	2.38	19	2.38	1	0.13	0	0.00
4	8	14	1.75	12	1.50	1	0.13	1	0.13
5	13	190	14.62	101	7.77	15	1.15	8	0.62
6	4	0	0.00	1	0.25	1	0.25	0	0.00

גם בניתוח לפי סוג התאונות קבוצה 5 בולטת לרעה בכל סוגי התאונות וקבוצה 0 טובה מהאחרות (ללא התחשבות בקבוצה 6).

ציור מס׳ 4.3: היסטוגרמת מיון לסוגי התאונות לפי סוג הצומת

Figure No. 4.3: Histogram of sorting to types of accidents by type of roundabout



היות והמדגמים בקבוצות 2-6 אינם גדולים, וגם ההבדלים הפיזיים אינם כה דרסטיים, ועל מנת להבהיר טוב יותר את התוצאות הוחלט לבצע ניתוח על 3 סוגי צמתים בלבד – ביקורת (צמתים חד מסלוליים סוג=0), צומת מסוג 1 (התכנסות לפי המעגל) כאשר הצמתים מהסוגים 2-6 קובצו לקבוצה אחת.

ניתוח הנתונים ״המקובצים״ מפורט בטבלאות 4.4, 4.5, 4.6 ובציורים 4.4, 4.5, 4.6.

טבלה מס׳ 4.4: ממוצעי שווה ערך התאונות הקלות לפי סוגי צמתים מקובצים

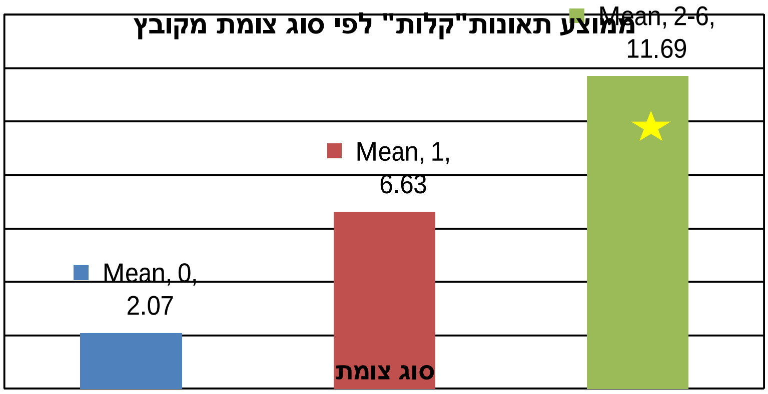
Table 4.4: Average of "light" Accident equivalent by grouped types of roundabout

סוג צומת מקובץ	מס' צמתים	סה"כ	ממוצע לצומת	סטיית תקן
0	30	62	2.07	2.82
1	35	232	6.63	13.60
2-6	42	491	11.69	21.66
כל הצמתים	107	785	7.34	16.08

בוצע מבחן אנובה כדי לראות האם יש הבדל משמעותי בין ממוצעי התאונות. נמצא כי קיים הבדל מובהק ($F=3.32$ $df=2,104$ $p\text{-value}<0.05$) בין ממוצע התאונות ״הקלות״ בצמתים 2-6 לעומת צמתים מסוג 0. צומת מסוג 1 אינו נבדל מיתר הצמתים בממוצע התאונות ״הקלות״.

ציור מס׳ 4.4: היסטוגרמת ממוצעי שווה ערך התאונות הקלות לפי סוגי צמתים מקובצים

Figure No. 4.4: Histogram of equivalent of light accidents by grouped types of roundabout



ניתן לראות שממוצע התאונות בלילה נמוך יותר מאשר ביום, אך הדבר ודאי נובע משעור חשיפה (נפחי תנועה) נמוך יותר בלילה.

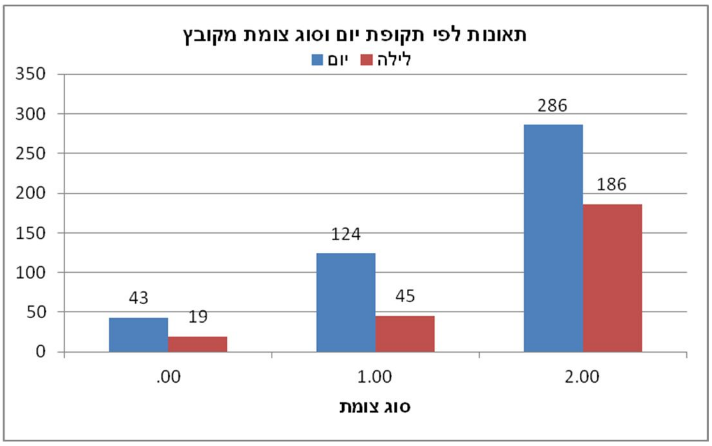
טבלה מס׳ 4.5: פירוט תאונות לפי מאפיינים בצמתים מקובצים לפי יום/לילה

Table 4.5: Details of accidents by grouped types of roundabout by Properties And by day period

סוג צומת	מס' צמתים	תאונות יום/לילה			ממוצע תאונות לצומת	
		יום	לילה	סה"כ	יום	לילה
0	30	43	19	62	1.43	0.63
1	35	124	45	169	3.54	1.29
2-6	42	286	186	472	6.81	4.43
כל הצמתים	107	453	250	703	4.23	2.34

ציור מס׳ 4.5: היסטוגרמת תאונות לפי מאפיינים בצמתים מקובצים לפי יום/לילה

Figure No. 4.5: Histogram of accidents by characteristics in grouped types of roundabout and by day period



ממצא יותר ברור הוא שקיימים הבדלים מהותיים במספר התאונות הממוצע לצומת בין שלוש הקבוצות הנבדקות גם ביום וגם בלילה,

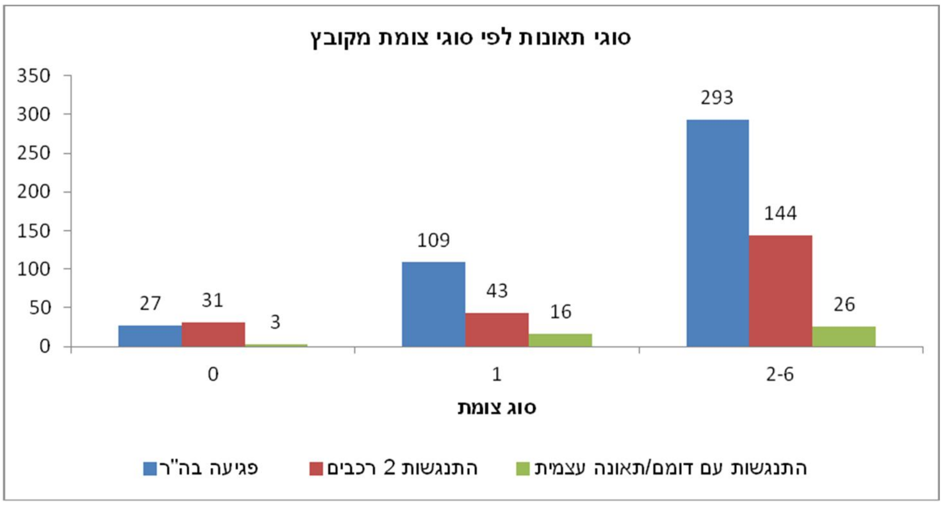
טבלה מס' 4.6: פילוג התאונות לפי סוגי צמתים מקובצים ולפי המעורבים בתאונה

Table 4.6: Distribution of accidents by grouped types of roundabout and by those involved

סוג צומת	מס' צמתים	פגיעה בה"ר		התנגשות רכב-רכב		התנגשות עם דומם/עצמית		אחר	
		סה"כ	ממוצע לצומת	סה"כ	ממוצע לצומת	סה"כ	ממוצע לצומת	סה"כ	ממוצע לצומת
0	30	27	0.90	31	1.03	3	0.10	1	0.03
1	35	109	3.11	43	1.23	16	0.46	1	0.03
2-6	42	293	6.98	144	3.43	26	0.62	9	0.21

ציור מס' 4.6: היסטוגרמת פילוג התאונות לפי סוגי צמתים מקובצים ולפי המעורבים בתאונה

Figure No. 4.6: Histogram of distribution of accidents by grouped types of roundabout and by those involved



גם כאן ועבור כל סוגי התאונות, ניתן לראות שהצמתים המעגלים המקובצים בקבוצה 2-6, הינם בעלי מספר תאונות ממוצע גבוה יותר לעומת קבוצה 1, כאשר קבוצת הביקורת 0 היא בעלת הערכים הנמוכים ביותר.

4.1.2 מסקנות מניתוח התאונות

4.1.2.1 סוגי מעגלים

מהשוואת ממוצעי התאונות אנו למדים כי שיעור ממוצע התאונות המשוקלל בצמתים דו-נתיביים מלאים, דהיינו, שבהם הן הגישות והן המסלול הסובב כולו הם דו-נתיבים, גבוה בהרבה ובאופן מובהק מזה של כל יתר סוגי הצמתים האחרים כולל אלה שהם בחלקם דו-נתיבים.

במיוחד יש להתייחס לשיעור התאונות של קבוצה 5 (דו נתיביים מלאים) ביחס לקבוצה 1 (מסלול סובב חד נתיבי) וביחס לקבוצה 0 (קבוצת הביקורת)

מובן כי יש לציין את המספרים ביחס לצמתים מהסוגים 2, 3, 4, 6 כל אחד בהסתייגות מאחר וכמות הצמתים מסוגים אלה היתה קטנה מדי להסקת מסקנות סטטיסטיות. אי לכך, נעשה קיבוץ של סוגים אלה יחד עם סוג 5.
עדיין מתקבלת תוצאה ברורה שבה שיעור התאונות של הקבוצה כולה גבוה בהרבה מזה של קבוצה 1 (מסלול סובב בן נתיב אחד) וכל שכן קבוצה 0 (קבוצת הביקורת).

מכל האמור לעיל ניתן להסיק כמה מסקנות ברורות עפ"י שיעורי תאונות בלבד:

א. במעגל התנועה הדו-נתיבי המלא שיעור התאונות עולה משמעותית והוא במונחי שווה ערך תאונות קלות פי 12 לערך מזה שבמעגל חד נתיבי לגמרי (גישות חד נתיביות) ופי 4 לערך באותם מונחים ביחס למעגל תנועה חד-נתיבי בדרך דו מסלולית.

ב. במעגל תנועה בדרך דו-מסלולית על כל סוגיו (2-6) שיעור התאונות עומד על קרוב לפי 2 לעומת זה שבמעגל חד נתיבי (קבוצה 1) ולמעלה מפי 5 ביחס לשיעור שבמעגלים בדרכים חד מסלוליות (קבוצה 0 – קבוצת הביקורת).

ג. הממצא על פיו בקבוצה המעגלים הדו-נתיבים (2-6) שיעור התאונות עומד על כפי 2 ביחס לזה שבמעגל חד נתיבי תואם לגמרי את הסטטיסטיקה הבינלאומית בנושא.

ד. מהנאמר לעיל ניתן לגבש עמדה תכנונית על פיה, את המעבר ממעגל תנועה חד נתיבי לדו נתיבי יש לעשות רק במצבים קיצוניים, דהיינו, קיומו של מעגל תנועה ובו מסלול סובב בן נתיב אחד בלבד גורם להיווצרות תורים ניכרים בגישות אליו.

אין בשום אופן לתכנן בדרכים שלגביהן צפויה רק בעתיד ולא באופן מיידי עם פתיחתן לתנועה מעגלי תנועה דו-נתיביים. כדוגמא לכך ניתן לראות את צומת חטיבת גולני – נהלל בחדרה שבו תוכננה ובוצעה מלכתחילה עם סלילתו של רח' חטיבת גולני כדרך דו-

מסלולית, מעגל דו-נתיבי מלא, אף שנפחי התנועה עם פתיחת הדרך לתנועה נמוכים ואינם דורשים בשום פנים בעתיד הקרוב מעגל בממדים כאלה.

4.1.2.2 תקופת היום

באשר לניתוח הסטטיסטי לנתוני תקופות היום בהן אירעו התאונות, כפי שניתן ללמוד מהממצאים, לתקופת היום, או במילים אחרות, למידת התאורה בצמתים, אין, למעשה, השפעה כלשהי על שיעור התאונות וכמובן נמוכה בשעות הלילה משמעותית מזו שבשעות היום, מן הסתם, בשל נפחי התנועה הנמוכים בהרבה בשעות אלה.

יש להניח שהדבר נובע מכך שבמעגלי תנועה קיימת בדרך כלל תאורה ראויה ואין גורם חשיכה תורם לתאונות.

4.1.2.3 סוגי התאונות

כאן מתקבלים ממצאים מעניינים במיוחד. פרופיל סוגי התאונות של הקבוצה המקובצת של כל סוגי הדו-נתיביים (סוגים 2-6) דומה מאוד לזה של המעגל החד נתיבי בדרך דו-מסלולית (סוג 1) מחד כאשר פרופיל זה של המעגל החד נתיבי בדרך דו-מסלולית שונה לגמרי מזה של קבוצת המבחן (קבוצה 0).

במילים אחרות, למרות שהיה מקום לצפות שאופי התאונות במעגל שהגישה אליו היא דו-נתיבית והמסלול הסובב בו דו-נתיבי יהיה שונה במהותו מזה של מעגל שהכניסות אליו והמסלול הסובב בו הם בני נתיב אחד , אין הדבר כן.
ניתן לתת לכך מספר הסברים:

א. ההבדלים הקיימים בכל זאת בין סוג 1 לסוג 0 נובעים מתהליך ההשתזרות בגישות מ-2 נתיבים לנתיב אחד בכניסה למעגל הקיים בסוג 1 ושאינו קיים כלל בסוג 0. מסתבר שבתהליך זה תאונות מסוג התנגשות שני רכבים מתרחשות בשיעורים גבוהים יחסית. סביר מאוד להניח שהדבר נובע, מן הסתם, מאי מילוי הנחיות התכנון לאופן בניית הצירויות אלה ויצירת הצירויות חדות או שבכלל לא בפועל.

ב. הדמיון בפרופיל התאונות שבין סוג 1 לקבוצת הסוגים 2-6 ניתן להסבר בכך שהתרחשות תאונות התנגשות 2 כלי רכב בתהליך ההשתזרות שתואר קודם לגבי סוג 1 מתקזז עם תאונות מסוג זה המתרחשות בסוגים 2-6 בתוך המסלול הסובב . בעניין זה, לפיכך, לא ניתן להסיק מסקנות אופרטיביות לשיפורים.

4.2 תצפיות

4.2.1 ניתוח סטטיסטי

ניתוח דומה לניתוח הסטטיסטי של התאונות נעשה גם לאירועים שנרשמו בתצפיות (למעט קבוצת הביקורת).

טבלה מס' 4.7 מציגה את מספר האירועים הממוצע לצומת לכל סוג וכן סטיית התקן לכך.

טבלה מס' 4.7: מס' האירועים הכולל הממוצע לצומת מכל סוג

Table 4.7: Average total number of events in roundabout of any type

סוג מעגל	מס' צמתים	ממוצע	סטיית תקן
1	35	0.7143	1.50629
2	9	0.4444	0.52705
3	8	2.1250	3.27054
4	8	7.2500	13.70870
5	13	10.1538	21.19688
6	4	1.0000	0.81650
סה"כ	77	3.1169	10.21863

מטבלה זו ניתן לראות שבסוג מעגל 2 מספר האירועים קטן ביותר. סוגים 3-6 גרועים יחסית לסוג 1.

בהמשך נערך חישוב דומה לאירוע מכל סוג. טבלאות 4.8 – 4.11 מציגות את התוצאות.

טבלה מס' 4.8: מס' אירועי הצמדות צידית ממוצע לצומת מכל סוג

Table 4.8: Average number of events of lateral attachment by type of roundabout

סוג מעגל	מס' צמתים	ממוצע	סטיית תקן
1	35	0.57	1.335
2	9	0.11	0.333
3	8	0.38	0.744
4	8	0.13	0.354
5	13	0.15	0.376
6	4	0.25	0.500
סה"כ	77	0.36	0.972

באירועי הצמדות, סוג 1, בולט לרעה, היות ובסוג זה קיימת תנועת התמזגות הכרחית לפני הכניסה למעגל, תנועה שאינה קיימת בשאר הסוגים.

סוג 1 בולט לטובה במידת מתן זכות קדימה, היות ובשלב זה מאפייניו דומים למעגל עם נתיב אחד.

טבלה מס׳ 4.9: מס׳ אירועי מתן זכות קדימה ממוצע לצומת מכל סוג

Table 4.9: Average number of events of yield of right of way by type of roundabout

סטיית תקן	ממוצע	מס׳ צמתים	סוג מעגל
0.236	0.06	35	1
0.333	0.11	9	2
0.744	0.38	8	3
1.061	0.63	8	4
8.824	2.77	13	5
0.500	0.25	4	6
3.671	0.62	77	סה״כ

טבלה מס׳ 4.10: מס׳ אירועי חריגה מנתיב ממוצע לצומת מכל סוג

Table 4.10: Average number of events of lane exciding by type of roundabout

סטיית תקן	ממוצע	מס׳ צמתים	סוג מעגל
0.169	0.03	35	1
0.333	0.11	9	2
3.503	1.38	8	3
13.104	6.00	8	4
18.071	7.08	13	5
0.500	0.25	4	6
8.778	2.00	77	סה״כ

גם כאן סוג 1 בולט לטובה מאותה סיבה. סוג 5 בולט לרעה עקב תופעת ״יישור רדיוס הנסיעה הישרה״.

טבלה מס׳ 4.11: מס׳ אירועים מסוג "אחר" ממוצע לצומת מכל סוג

Table 4.11: Average number of events of "other" type by type of roundabout

סטיית תקן	ממוצע	מס׳ צמתים	סוג מעגל
0.236	0.06	35	1
0.333	0.11	9	2
0.000	0.00	8	3
0.756	0.50	8	4
0.376	0.15	13	5
0.500	0.25	4	6
0.375	0.13	77	סה״כ

שוב, בדומה למה שנעשה בניתוח התאונות, קובצו כל סוגי המעגלים הדו נתיביים לקבוצה אחת והטבלאות לעיל חושבו למצב זה. טבלאות 4.12 – 4.16 מציגות את התוצאות לכך.

טבלה מס׳ 4.12: מס׳ אירועים כולל ממוצע לצומת בסוג 1 וקבוצת הסוגים 2 – 6

Table 4.12: Average total number of events for roundabouts of type 1 and grouped types 2-6

סטיית תקן	ממוצע	מס׳ צמתים	סוג מעגל מקובץ
1.50629	.7143	35	1
13.51459	5.1190	42	2-6
10.21863	3.1169	77	סה״כ

ניתן לראות את ההבדל המהותי בסך האירועים.

טבלה מס׳ 4.13: מס׳ אירועים מסוג הצמדות צידית ממוצע לצומת בסוג 1 וקבוצת הסוגים 2 – 6

Table 4.13: Average number of events of type of lateral attachment for roundabouts of type 1 and grouped types 2-6

סטיית תקן	ממוצע	מס׳ צמתים	סוג מעגל מקובץ
1.335	0.57	35	1
0.455	0.19	42	2-6
0.972	0.36	77	סה״כ

כאמור לעיל, אירוע ההצמדות הצדית אופייני לסוג 1 ומהווה נקודת תורפה בסוג זה.

טבלה מס׳ 4.14: מס׳ אירועים מסוג מתן זכות קדימה ממוצע לצומת בקבוצה 1 וקבוצת הסוגים 2 – 6

Table 4.14: Average number of events of type of yield of right of way for roundabouts of type 1 and grouped types 2-6

סטיית תקן	ממוצע	מס׳ צמתים	סוג מעגל מקובץ
0.236	0.06	35	1
4.943	1.10	42	2-6
3.671	0.62	77	סה״כ

ההבדל בולט ביותר באירועי אי מתן זכות קדימה.

טבלה מס׳ 4.15: מס׳ אירועים מסוג חריגה מנתיב ממוצע לצומת בקבוצה 1 וקבוצת הסוגים 2 – 6

Table 4.15: Average number of events of type of lane exciding for roundabouts of type 1 and grouped types 2-6

סוג מעגל מקובץ	מס׳ צמתים	ממוצע	סטיית תקן
1	35	0.03	0.169
2-6	42	3.64	11.693
סה״כ	77	2.00	8.778

גם כאן ההבדל משמעותי ביותר וברור, אין אפשרות לחריגה מנתיב בסוג 1.

טבלה מס׳ 4.16: מס׳ אירועים מסוג אחר ממוצע לצומת בקבוצה 1 וקבוצת הסוגים 2 – 6

Table 4.16: Average number of events of "other" type for roundabouts of type 1 and grouped types 2-6

סוג מעגל מקובץ	מס׳ צמתים	ממוצע	סטיית תקן
1	35	1.00	0.000
2-6	42	1.14	0.378
סה״כ	77	1.11	0.333

באמצעות מבחן T נבדק האם הבדלי הממוצעים משמעותיים.

נמצא כי קיים הבדל מובהק בממוצע סך אירועים בצומת מסוג 1 לעומת צמתים 2-6 (t=-2.097, df=42.22,p-value<0.05).

נמצא גם כי קיים הבדל מובהק בממוצע אירועים מסוג ״הצמדות צידית״ בין צומת מסוג 1 ליתר הצמתים (t=2.803, df=12,p-value<0.05).

בין יתר סוגי אירועים לא נמצאו הבדלים מובהקים.

4.2.2 מסקנות מניתוח התצפיות

4.2.2.1 סוגי מעגלים

ראשית, יש לזכור שלא נעשו תצפיות לקבוצת הביקורת (מעגלי תנועה חד-נתיביים בדרכים חד-מסלוליות), לכן, ניתן לעשות השוואות פנימיות בלבד בין סוגי המעגלים הדו-נתיביים, כאשר, יש להתייחס לסוג 1 כקרוב ביותר לקבוצת הביקורת.
מהשוואת ממוצעי האירועים אנו למדים כי שיעור ממוצע האירועים בצמתים דו-נתיביים מלאים, דהיינו, שבהם הן הגישות והן המסלול הסובב כולו הם דו-נתיבים, גם הוא גבוה בהרבה ובאופן מובהק מזה של כל יתר סוגי הצמתים האחרים כולל אלה שהם בחלקם דו-נתיבים.

במיוחד יש להתייחס לשיעור האירועים של קבוצה 5 (דו נתיביים מלאים) ביחס לקבוצה 1 (מסלול סובב חד נתיבי).
מובן כי יש להסתייג מהערכים המתקבלים עבור צמתים מהסוגים 2, 3, 4, 6 מאחר וכמות הצמתים מסוגים אלה היתה קטנה מדי להסקת מסקנות סטטיסטיות. אי לכך, נעשה בהמשך העיבוד קיבוץ של סוגים אלה יחד עם סוג 5.

ניתן לראות שעדיין מתקבלת תוצאה ברורה שבה שיעור התאונות של הקבוצה כולה גבוה בהרבה מזה של קבוצה 1 (מסלול סובב בן נתיב אחד).

מכל האמור לעיל ניתן להסיק כמה מסקנות ברורות עפ"י היקפי האירועים בלבד:

א. במעגל התנועה הדו-נתיבי המלא (סוג 5) היקף האירועים עולה משמעותית עד פי 14 ביחס למעגל חד נתיבי (סוג 1).

ב. במעגל תנועה בדרך דו-מסלולית על כל סוגיו (2-6) שיעור האירועים עומד על כפי 7 ביחס לזה שבמעגל חד נתיבי (קבוצה 1).

ג. בבחינת ממצאי התצפיות לעומת ממצאי התאונות עולים כמובן ערכים קיצוניים יותר אך באותה מגמה וזאת מן הסתם כי שיעור האירועים המתפתח לתאונה הוא חלק קטן מהיקף האירועים כולם ולא כל סוגי האירועים בעלי שיעור פוטנציאל התפתחות לתאונות.

ד. גם מן הנאמר לעיל ניתן לגבש עמדה תכנונית על פיה, את המעבר ממעגל תנועה חד נתיבי לדו נתיבי יש לעשות רק כשכלו כל הקצין, דהיינו, קיומו של מעגל תנועה ובו מסלול סובב בן נתיב אחד בלבד גורם להיווצרות תורים ניכרים בגישות אליו.

גם על פי מסקנות ממצאי האירועים ניתן לקבוע שאין בשום אופן לתכנן בדרכים שלגביהן צפויה רק בעתיד ולא באופן מידי עם פתיחתן לתנועה מעגלי תנועה דו-נתיביים.

4.2.2.2 תקופת היום

נושא זה אינו רלוונטי לתצפיות מאחר וכולן נעשו בשעות היום בלבד.

4.2.2.3 סוגי האירועים

עפ"י מבחני T, כאמור, נמצא הבדל מובהק בממצאי האירועים מסוג "הצמדות צידית" בלבד בין צמתים מסוג 1 ליתר הסוגים.

כלומר, לא נמצא הבדל מובהק באירועים מסוג "מתן זכות קדימה", "חריגה מניתוב" ואחרים. ניתן להסביר, כמובן, בנקל את ההבדל המובהק בממוצעים מסוג "הצמדות צידית" בכך שבסוג 1 מן הסתם, אין מצב של נסיעת 2 טורי כלי רכב במקביל בתוך המעגל, לעומת יתר הסוגים בהם היא מתקיימת בכניסה אליו ו/או בתוכו.

לממצא שאין הבדל מובהק ביתר סוגי האירועים ניתן לתת הסבר אחד.
התצפיות במחקר זה נעשו בתחילת שנת 2011 בעוד שממצאי התאונות הם כמצוין מהשנים 2006-2010.
בתפקוד הנהגים בארץ במעגלי תנועה ובגישה אליהם, קיימת עקומת למידה המביאה לידי שיפור מתמיד ועקבי בתפקודם. למידה זו הביאה, כנראה, לידי כך שתופעת אי מתן זכות הקדימה וחריגה מנתיב במעגלים כיום השתוותה בערכים של המעגלים הדו-נתיביים עם אלה של החד נתיביים.

4.2.2.4 מיקומי האירועים

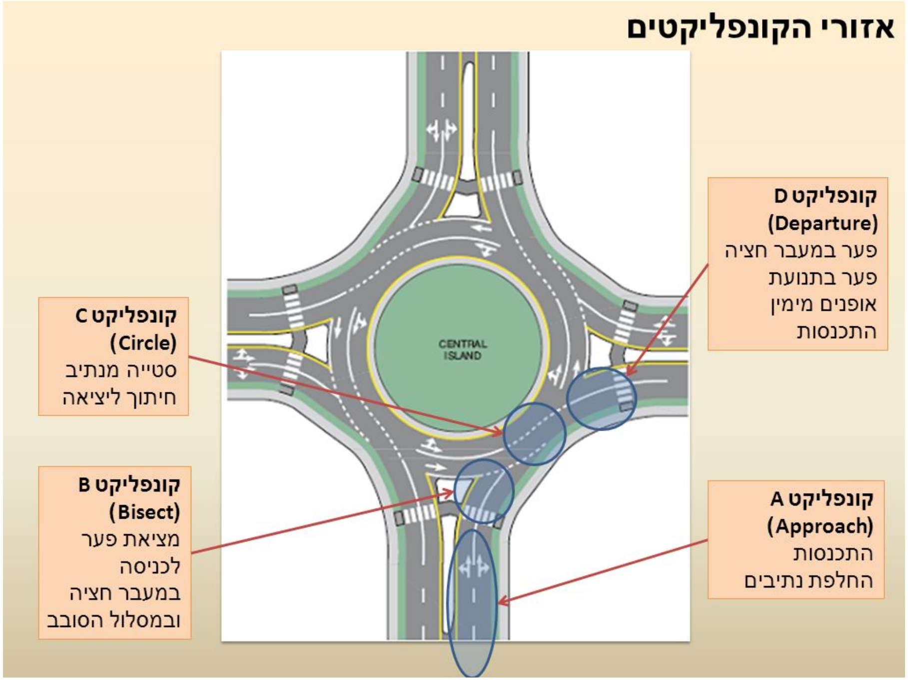
לניתוח הקשר בין מיקום האירועים להיקף וסוג התרחשותם, עלינו לעיין שוב בממצאים המומחשים חזותית בציור 3.3.
אך קודם לכן, נחלק את מרחב מעגל התנועה ומבואותיו לאזורי קונפליקטים טיפוסיים ציור מס' 4.7 מתאר חלוקה זו.
ליד כל אזור קונפליקט צוינו ההתרחשויות התנועתיות האופייניות לאותו אזור:

אזור A (Approach): מקום התכנסות התנועה (בחלק מהסוגים), החלפת נתיבים.

אזור B (Bisect): מקום מפגש התנועה הנכנסת עם הסובבת, בו מתבצע הניסיון למציאת פער הכניסה, מפגש עם הולכי-רגל במעבר החציה.

ציור מס׳ 4.7: חלוקת מעגל התנועה לאזורי קונפליקטים

Figure No. 4.7: Division of roundabout to conflict zones



אזור C (Circle): מקום בו נעה התנועה במסלול הסובב תוך ביצוע מעברי נתיבים לצורך יציאה.

אזור D (Departure): מקום היציאה מהמסלול הסובב לזרוע היציאה, מציאת פער במעבר החציה, פער לאופניים בחציית תנועה יוצאת ולפעמים התכנסות נתיבים.

אם נעיין במפות מיקום האירועים עפ״י סוגי המעגלים, נוכל לנתח את הממצאים כך:

1. במעגלים מסוג 1 חלק ניכר מהאירועים מתרחשים באזור A, דהיינו, אזור ההתכנסות לנתיב אחד ומתן זכות הקדימה לתנועה במעגל הסובב.

2. במעגלים מסוג 4 רובם ככולם של האירועים מתרחשים גם כאן באזור A בקטע שלפני אי ״הבננה״ המפריד בין הפונים ימינה לנכנסים למעגל כשלדבר ישנן כמה סיבות:
   א. הבחנה ברגע האחרון בקיומו וכתוצאה מכך ״בריחה״ מהנתיב הימני.
   ב. נסיעה מכוונת בנתיב הימני בכדי לעקוף תור בנתיב השמאלי והתמזגות לקראת האי.

3. במעגלים מסוג 5 חלק ניכר מהאירועים מתרחש באזור B, דהיינו, באזור מתן זכות הקדימה וההשתלבות של התנועה הנכנסת בתנועה הסובבת.

חלק מהותי של האירועים אף מתרחש באזור C, המסלול הסובב עצמו, בשל תנועת מעבר כ"ר לימין לצורך יציאה בזרוע הבאה ותופעת "יישור" הגדלת רדיוס הנסיעה הישרה.

4. במעגלים מסוג 6 שוב מתמקדים באירועים באזור B, דהיינו, אי מתן זכות קדימה ובמפתיע, דווקא אין רישום אירועים כלל באזור D שבו ישנו פיצול בין נתיב ממשיך במעגל הסובב ונתיב יוצא ואולם, המדגם כה קטן במקרה זה ולכן לא נסיק מסקנות.

כל הנאמר לעיל ניתן לסכם כך:

1. התמקדות אזורי האירועים היא זו:

א. חלק מהותי של האירועים בעיקר במעגלים מסוג 1 מתרחש באזור A – מבואות המעגל.
ב. חלק עיקרי מהאירועים מתרחש באזור B – מקום השתלבות התנועה הנכנסת בתנועה הסובבת.
ג. חלק קטן מהאירועים מתרחש במעגל עצמו וביציאה ממנו.

2. מן האמור ב-1א' ניתן ללמוד כי תהליך ההתכנסות והתמקמות בנתיבים המתאימים אינו מתבצע כראוי בהרבה מן המעגלים. הדבר נובע בעיקר, לדעתנו, מתכנון וביצוע גיאומטרי לקויים של קטע ההתכנסות מ-2 נתיבים ל-1 וממערך שילוט הדרכה לקוי או חסר.

3. לגבי אירועי אי מתן זכות קדימה כמצוין ב-1ב', יתכן ותופעת "יישור הרדיוס בנסיעה הישרה" גדול וחוסר היצרות מספקת בזרוע הכניסה, שני אלה יחד יוצרים פיתוי לכניסה במהירות גדולה למעגל תוך "גניבת" זכות הקדימה.

4. לגבי האמור בסעיף 1ג' – אירועים באזור C שעיקרם היצמדות צידית, יתכן והדבר נובע בחלקו מליקויים תכנוניים כגון נתיבים צרים מדי, או מעגל לא עקבי, אולם, אין ספק שהדבר בעיקרו הוא תוצאה של חוסר משמעת נתיבים.

4.3 מסקנות והמלצות

4.3.1 יחסי נפחים

בבואנו להסיק מסקנות מניתוח התוצאות עלינו לזכור שסדרי הגודל של נפחי התנועה במעגלי התנועה החד נתיביים קטנים משמעותית מאלה שבדו נתיביים ואולם, ההשוואה הבטיחותית בוצעה במחקר זה על המספר המוחלט של תאונות ועל המספר המוחלט של התנהגויות בעלי פוטנציאל לתאונות ולא על השיעורים היחסיים לנפחי התנועה.
לפיכך, ניתוח מספרים מוחלטים, כפי שנעשה כאן, מצביע על מספר התאונות שאפשר לחסוך ע"י שינוי הגיאומטריה, ובכל מקרה גם אם נניח שהנפחים במעגלים הדו מסלוליים גבוהים בכ-70% , הרי שמספרי התאונות גבוהים במידה ניכרת, בעיקר אם מתמקדים בסוג הבעייתי ביותר (5), שם רמת הסיכון חורגת לרעה בכל צורת חישוב.

4.3.2 המלצות לשיפורים בתכנון וביצוע מעגלי תנועה

מכל האמור לעיל ניתן להגיע למסקנות וההמלצות הבאות:

1. תהליך ההתכנסות

תהליך ההתכנסות באזור A, מכוסה היטב בהנחיות התכנון ובעיית קיום תאונות באזור זה נעוצה בעיקרה באי-יישום ההנחיות בתוכניות, כאשר בעיקר הכוונה לאופן בניית אלכסוני התכנסות לצמצום רוחב המסלול לנתיב אחד בגישה.

2. גיאומטריה

תופעת ההיצמדות הצדית ניתנת לייחוס, לפחות בחלקה, לרוחב נתיבים צר מדי, הן אלה שבהנחיות והן אלה המיושמים בפועל ע"י מתכננים בתוכניות.
בהנחיות, לדוגמא, נקבע רוחב המעגל הסובב ברדיוס אי של 12 מ' ל- 8.3 מ' בלבד (טבלה מס' 2.3 שם), כלומר, 4.15 מ' רוחב נתיב. מן הראוי לבדוק האם רוחב שכזה תואם את ביצועי סוג הרכב הדורש את הרוחב המירבי בעת סיבובו ברדיוס זה. יש לזכור שמעגלים דו-נתיבים מעצם טבעם, ממוקמים ברחובות עליונים במדרג (היררכיית) הרחובות וכל רכב צפוי להגיע אליהם.

3. תמרור ושילוט הדרכה

תופעת החלפת הנתיבים שבלטה באירועים במסגרת התצפיות נובעת, לפחות בחלקה הגדול מהעדר תמרור והדרכה מספקים באשר לייעודם של הנתיבים בגישה והמערך הגיאומטרי הצפוי לנהג בעת גישתו למעגל.

מוצע כאן לאמץ שיטות ניתוב, תימרור ושילוט הנהוגות במקומות שונים בעולם. בשיטות אלה מומחש ומוסבר לנהג היטב בעת התקרבותו למעגל התנועה ייעודו של כל נתיב בתוך המעגל עצמו ועפ״י הצורך המבנה הגיאומטרי של ההתקרבות (למשל, קיומו של אי ״בננה״ מפריד בפניה ימינה).

ניתוב יכול שיהיה סימון ע״פ המסעה ויכול שיהיה אלמנט פיזי מתאים. הניתוב יהיה כזה שיכתיב לנהג נסיעה בתחומי הנתיב בלבד ובכוון לו הנתיב מיועד בלבד.
יתכן אף יישום מעגלי הטורבו בשיטה ההולנדית כפי שתוארו בסקר הספרות.

התימרור יורכב הן מחיצי היעדים המסומנים ע״ג המסעה (בדומה לאלה שבהתקרבות לצומת רגיל אלא שיהיו חצי ככר ולא חצי צומת רגיל), וכן תמרורי יעדי הנתיבים ומערכות שילוט הדרכה.
מערכות שילוט מקדים אלה משלבות בתוכן לעיתים אף שילוט עילי להעברת מסר ברור ובולט ככל האפשר בדבר ייעוד כל נתיב בגישה.

ציורים מס׳ 4.8, 4.9 מציגים שילוט אפשרי בגישות למעגל. בציור 4.8 תמרור וניתוב מקדימים בלבד ובציור 4.9 ניתוב, תימרור ושילוט עילי מקדים.

ציור מס׳ 4.8: ניתוב ותימרור מקדימים בגישה למעגל

Figure No. 4.8: Preliminary marking and signing in roundabout approach

4. הולכי רגל

בכל התצפיות שנעשו לא נרשמו כלל אירועים ו/או תאונות בהם היו מעורבים הולכי רגל ואולם ברישומי התאונות ישנם רבים כאלה. על כן, יש לתת את הדעת בכל זאת לנושא זה בשני ממשקים עם תנועת הרכב.

האחד, קיומו מלכתחילה של מעבר חציה על פני יותר מנתיב אחד במקום שבדרך כלל קיימת בו תנועה סואנת של כלי רכב ולמרות זאת המעבר איננו מוסדר ע"י רמזור. זהו, למעשה, המצב היחיד בו מקובל הסדר כזה, אולם, הדבר אינו הופך אותו לבטוח יתר על המידה פרט לעובדה שהתנועה, מטבע הדברים, מאטה במפגש עם מעבר חציה מכיוון שזהו גם מקום הכניסה למעגל התנועה.

ציור מס' 4.9: ניתוב, תימרור ושילוט עילי בגישה למעגל

Figure No. 4.9: Marking, signing and guide signing in roundabout approach

קיום הסדר חריג, למעשה, זה של מעבר חציה על פני 2 נתיבי תנועה ומעלה במפגש עם תנועה שהיא, לעיתים, כאמור, סואנת למדי אולם ללא רימזור, מחייב נקיטת אמצעים רבים ככל האפשר להקטין את פוטנציאל הפגיעה בהולכי הרגל.
השני, קיומו של מעבר החציה במקום שבו במסלול הנסיעה קיימת עקומה, אפילו די חדה, דבר המגביל לעיתים את ראות הנהג ביחס להולכי רגל חוצים ובעיקר, אלה היורדים מהמדרכה

שני אמצעים עיקריים מומלצים כאן לעניין זה:

א. שאיפה לקיצור אורכו ככל האפשר של מעבר החציה.
ב. העתקתו של מעבר החציה לאחור כך שיהיה "מאחורי" הרכב הראשון הממתין במקום הענקת זכות הקדימה לתנועה החוצה מאחר ושני האמצעים קשורים זה בזה נתייחס אליהם יחד.

אין עוררין על כך שאורכו של מעבר חציה, דהיינו, משך ואורך שהייתו של הולכי רגל, ביחוד זה המתקשה בהליכתו, על הכביש, קשורים באופן ישיר למידת חשיפתו לפגיעה ומכאן לפוטנציאל הפגיעה בו ע"י רכב.

קיצור אורכו של מעבר חציה למינימום האפשרי ניתן להשגה ב-2 דרכים: האחת, הצרת כל נתיב גישה למינימום ההכרחי, כאשר, יש ליצור גיאומטריה כזו שבה עיקר תמרון הרכב הדורש הרחבת הנתיב מעבר למידותיו בקטע דרך יהיה מעבר למעבר החציה ולא במקום שבו הוא נמצא.
ואולם, בשאיפתנו לצמצם את רוחבי הנתיבים בגישה, אנו נקלעים לקונפליקט תכנוני בין שני צרכים – האחד, שמירה על רוחבי נתיבים כאלה כך שרוחב עקבת רכב התכנון לא תחרוג אל מעבר לנתיב והשני, שמירה על עיקול חד במידת הצורך בכניסה למעגל כך שקו הנסיעה במעבר הרכב דרך מעגל התנועה יישבר כדי למנוע מצב בו הרכב כלל איננו צריך להאט בעשותו כן.
דרך אפשרית לעשות זאת, היא לבסס את שבלונת תמרון הרכב הנכנס למעגל על כך שנתיב מינימלי ברוחבו בגישה למעגל "יפוצה" בנתיב רחב בתוך המסלול הסובב. מגמה זו גם מתיישבת עם המלצתנו בסעיף 2 בו התייחסנו כבר לרוחבי הנתיבים בתוך המסלול הסובב לאור רישום אירועי היצמדות צדית בתצפיות.

דרך שניה להשיג את קיצורו של מעבר החציה, הוא, מיקומו לא בצמוד לקו מפגש הזרוע הנכנסת למסלול הסובב, כפי שהדבר נעשה בארץ הן במעגלי תנועה והן בצמתים רגילים, אלא במרחק שהוא "מאחורי" עמדת המתנה של רכב אחד לקבלת פער כניסה למעגל הסובב.
הסגת מעבר החציה, תביאו אל נקודה בכביש שבה רוחב הנתיבים קטן יותר מאחר ורוחבם הולך וגדל ככל שהם מתקרבים לכניסה לתוך מעגל התנועה.

זה המקום להזכיר שכפי שצוין בסקר הספרות, אופן תכנון זה של מיקום מעברי חציה שבו הם ממוקמים בצמוד לקו מפגש הזרוע הנכנסת עם המסלול הסובב הוא ייחודי לארצנו ובכל מקום שבו נבדק הדבר על-ידינו, ממוקמים מעברי החציה כמומלץ למעלה.

במעשה זה של הזזת מעברי החציה לאחור, יתכן ויתרום לשיפור בנושא אי-מתן זכות הקדימה ע״י נהגים בזרוע הנכנסת לתנועה במסלול הסובב, אירועים שאכן נרשמו בתצפיות שביצעו במסגרת מחקר זה במה דברים אמורים?

בהסדר שבו מעבר החציה צמוד לקו מפגש הזרוע הנכנסת עם המסלול הסובב, נאלץ הנהג המגיע מהזרוע הנכנסת <u>לבצע בו זמנית</u> תהליכי מתן זכות קדימה לשתי תנועות שונות:

האחת, הולכי הרגל החוצים במעבר החציה והשנייה, כלי הרכב הסובבים במעגל התנועה.

הסגת מעבר החציה כמומלץ למעלה, תפצל את ביצוע תהליכי מתן זכות הקדימה ע״י הנהג המתקרב ל-2 נקודות שונות בהתקרבותו, דבר שיכול בהחלט לתרום לטיב ביצוע הדבר על-ידו. לכשיתקרב עד לכדי כ-10 מ׳ ממעגל התנועה, יגיע למעבר החציה ואז ביצע את תהליך בקרת זכות הקדימה להולכי הרגל ולכשיחצה את מעבר החציה ויתקרב עד לכדי 1-2 מ׳ מנקודת הכניסה למסלול הסובב, יבצע את בקרת זכות הקדימה בכניסה אליו.

זה המקום לציין שכפי שנאמר קודם, הסדר זה של הסגת מעבר החציה לא קיים בהנחיות התכנון לשום סוג של צומת כאשר המחשבה שהיתה מאחורי הדבר, מניעת יצירת מצב שבו הולך רגל המתקרב לחציית כביש בצומת, יוטה מתוואי הליכתו באופן מלאכותי, דבר שבמציאות לא יעשה ויחצה, בסופו של דבר, שלא במעבר החציה.

ואולם, יש לזכור שמעצם צורתו של מעגל תנועה. תוואי הליכתו של הולך רגל שברצונו להמשיך בצומת כזה ישר בעת הגיעו אליה, מוטה ממילא ועל כן גרימת הטיה נוספת לא תעלה ולא תוריד באשר למידת ציותו של הולך הרגל לסימון מעבר החציה.

מכאן, שגורם מניעת הסדר הסגת מעבר החציה אל מאחורי למקום המתנת רכב בצומת לקבל פער כניסה לצומת אינו תקף לגבי מעגלי תנועה ועל-כן, אין להימנע מסיבה זו לעשות כן.

5. שדרוג סלקטיבי והדרגתי של מעגל תנועה חד-נתיבי

נזכיר בקשר לכך את הנאמר בהנחיות הגרמניות כפי שהובא בסקר הספרות.

הגרמנים ממליצים על יצירת מעגל דו-נתיבי רק כשכלו כל הקצין, כלומר, ננקטו כל הצעדים האפשריים להגדלת קיבולת המעגל ביחס למעגל חד-נתיבי בסיסו ועדיין הקיבולת קטנה מדי מלהכיל את נפחי התנועה הצפויים.

סדר הפעולות שבהנחיות הגרמניות לעשות, אם כן, הוא:

א. יצירת נתיב נפרד לפניות ימניות – רצוי כמובן באמצעות אי ״בננה", ובמידה שזכות הדרך מאפשרת זאת.

ב. הוספת נתיב במעגל הסובב ללא תוספת נתיבים בגישות.

ג. בדיקה פרטנית לגבי הצורך להגדיל נתיבי כניסה ונתיבי יציאה בכל זרוע , הכוונה, לא הכתבה אוטומטית של כל זרועות הכניסה והיציאה של המעגל לדו-נתיביים.

4.3.3 המשך מחקר

מן הראוי לבצע מחקר יישומי כולל פיילוט לבחינת האפקטיביות של שתי המלצות שצוינו לעיל:

1. אמצעי ההדרכה משופרים בגישה לצומת ובתוכו, דהיינו, ניתוב בגישה למעגל ובתוכו, כאשר הדגש בעיקר על זה שבתוכו, הן בחיבורו לניתוב הזרוע הנכנסת והן בחיבורו לזרוע היוצאת, תימרור בגישה כולל סימון חיצים על המיסעה, ניתוב וחיצים מחייבים בתוך המסלול הסובב, שילוט הדרכה מטיפוסים שונים (צידי , עילי, חלקי ללא יעדים, מלא עם יעדים).

2. הסגת מעבר החציה לאחור. מתן תנאים טובים ובטוחים להולי רגל הוא בין מטרות התכנון התנועתי. יש לבחון האם הסגת מעבר החצייה לאחור משפרת את נוחיות ובטיחות הולך הרגל - בכך שהיא מפרידה לנהג את סוגיית ההחלטה, או להיפך - מאריכה את דרכו של הולך הרגל וגורמת לאי מתן זכות הקדימה ע"י כלי הרכב.

3. יישום מעגלי טורבו בשיטה ההולנדית. מעגלי הטורבו הוכיחו עצמם במידה מסוימת כיעילים בהולנד, ומעניין יהיה לבחון האם גם בישראל ניתן ליישם פתרון זה.

4.4 סיכום

מעגלי התנועה הינם פתרון הנדסי לא חדש, אך אומץ בשנים האחרונות בארץ ובעולם באופן תדיר ביותר.

הנימוקים לאימוץ זה מבוססים על יתרונם התנועתי במקרים רבים, יתרונם הבטיחותי ברוב המקרים ועל השתלבותם במרקם העירוני הן ברמה האסטטית והן בהיבט ההתמצאות והגמישות בכיווני הנסיעה.

יחד עם זאת, מעגלי תנועה אינם מהווים פתרון אחד מוגדר ואחיד, ויש מגוון רחב למדי של צורות של מעגלי תנועה. הבחירה בין הסוגים השונים הינה פונקציה של סוג הדרך, נפחי התנועה, בעיות התנועה, זכויות הדרך, הנחיות התכנון השונות בארצות השונות, ושיקולים תכנוניים וביצועיים אחרים.

בישראל, נכתבו הנחיות תכנון לחלק מהסוגים המקובלים, אך אלה לא מכסים את כל המגוון.

מאידך, התעוררו בעיות בטיחותיות מסוימות.

מכאן, מחקר זה בא לבחון את בעיות הבטיחות בסוגים השונים של המעגלים הדו-נתיביים לעומת מעגלי התנועה בעלי הנתיב הבודד, להצביע על הליקויים הבולטים בכל סוג תוך ניסיון להצביע על אפשרויות השיפור.

אין ספק שיש להמשיך לעודד את השימוש במעגלי תנועה, אך יחד עם זאת להכיר את החסרונות והבעיות שקיימות בחלקם, לנסות לפתור בעיות אלה וגם לחשוב על שינויים נדרשים בהנחיות התכנון בארץ.

6. ביבליוגרפיה

1. Federal Highway Administration (FHDA). *Roundabouts: An Informational Guide.* Washington D.C., U.S.A., June 2000.
2. משרד התחבורה מנהל היבשה/ אגף תכנון תחבורתי. *הנחיות לתכנון מעגלי תנועה.* ירושלים, מרץ 2005.
3. *צמתי סיבוב במחנות צה"ל - קובץ הנחיות לתכנון ויישום צמתי סיבוב במחנות צה"ל*, אכ"א נפגעים ובטיחות בדרכים, 1987
4. Brilon, W. : *Roundabouts : A State of the Art in Germany.* Paper presented at the National Roundabout Conference, Vail, Colorado, May 22 – 25, 2005.
5. Finnish Road Administrtion. *Capacity and Level of Service at Finnish Unsignalized Intersections.* Helsinki, January, 2004.
6. Maycock, G., and R.D. Hall. *Crashes at four-arm roundabouts.* TRRL Laboratory Report LR 1120. Crowthorne, England: Transport and Road Research Laboratory, 1984.
7. Queensland Department of Main Roads (QDMR). *Relationships between Roundabout Geometry and Accident Rates.* Queensland, Australia: Infrastructure Design of the Technology Division of QDMR, April1998.
8. Arndt, O. *Road Design Incorporating Three Fundamental Safety Parameters.* Technology Transfer Forum 5 and 6, Transport Technology Division, Main Roads Department, Queensland, Australia, August 1998.
9. Davis, G.W., V.W. Inman, T. Shafer and B.J. Katz. *A Simulation Study of Path and Speed Through Double-Lane Roundabouts.* The Second International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Park City, Utah, 2001.
10. Arndt, O. and R.J. Troutbeck. *Relationship between Roundabout Geometry and Accidents Rate.* Transportation Research Board, Washington D.C. U.S.A. January 1998.
11. Angelastro, M. *The Influence of Driver Sight Distance on Crash Rates and Driver Speed at Modern Roundabouts in the United States.*ITE Journal, July, 2010.
12. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP). *Roundabouts in the United States.* Report 572, Transportation Research Board, Washington D.C., U.S.A. May 2006.
13. Maycock, G. and R.D. Hall. *Accidents at Four Arm Roundabouts,* Transport and Road Research Laboratory (U.K.),TRRL Lab. Rep. 1120, 1984.
14. Kimber, R M .*The traffic capacity of roundabouts*. Department of Environment Department of Transport, TRRL Report LR 942: Crowthorne: Transport and Road Research Laboratory, 1980.
15. Turner, S.A. and T. Francis. *Predicting Accident Rates for Cyclists and Pedestrians.* Land Transport New Zealand Reserch Report 289, Wellington , 2006.
16. Federal Highway Administration. *Manual on Uniform Traffic Control Devices(MUTCD)* .2009 Edition.
17. Hanscom, F.R. *Drivers' Understanding of Innovative Roundabout Traffic Control Devices.* ITE Journal, July 2010.
18. Kinzel, C.S. *Signing and Pavement-Marking Strategies for Multi-Lane Roundabouts: An Informal Investigation.* Urban Street Symposium. July, 2003.

19. Bie, J., S.C. Wong, B.P.Y. Loo, H.K. Lo, W.T. Hung. *Safety Analysis of Traffic Roundabout: Conventional versus Alberta-Type Markings*. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. Vol. 6, pp 3309 – 3324, 2005.
20. Engelsman, J.C., M. Uken. *Turbo Roundabouts as An Alternative to Two Lane Roundabouts*. Proceedings of the 26th Southern African Transport Conference, Pretoria, South Africa, July 2007.

נספח א'

1. תוצאות מבחן anova למידת מובהקות ההבדל בין שיעור התאונות בסוגי המעגלים

הפלט של מבחן one way anova אשר מתקבל:

ANOVA

Sig.	F	Mean Square	Df	Sum of Squares	
.001	4.286	934.335	6	5606.009	Between Groups
		218.019	100	21801.879	Within Groups
			106	27407.888	Total

Post Hoc Tests

95% Confidence Interval						
Upper Bound	Lower Bound	Sig.	Std. Error	Mean Difference (I-J)		(I) sug_zomet
6.4932	-15.6170	.876	3.67374	-4.56190	1.00	.00
9.0647	-24.7091	.804	5.61174	-7.82222	2.00	
14.8718	-20.4885	.999	5.87534	-2.80833	3.00	
16.2468	-19.1135	1.000	5.87534	-1.43333	4.00	
-8.7950	-38.3024	.000	4.90285	-23.54872*	5.00	
25.2176	-22.0843	1.000	7.85952	1.56667	6.00	
15.6170	-6.4932	.876	3.67374	4.56190	.00	1.00
13.3459	-19.8665	.997	5.51846	-3.26032	2.00	
19.1658	-15.6587	1.000	5.78632	1.75357	3.00	
20.5408	-14.283	.99	5.78632	3.12857	4.00	

	7	8				
-4.5552	-33.4184	.003	4.79581	-18.98681*	5.00	
29.5799	-17.3228	.986	7.79319	6.12857	6.00	
24.7091	-9.0647	.804	5.61174	7.82222	.00	2.00
19.8665	-13.3459	.997	5.51846	3.26032	1.00	
26.6041	-16.5764	.992	7.17472	5.01389	3.00	
27.9791	-15.2014	.973	7.17472	6.38889	4.00	
3.5407	-34.9937	.187	6.40273	-15.72650	5.00	
36.0894	-17.3116	.939	8.87294	9.38889	6.00	
20.4885	-14.8718	.999	5.87534	2.80833	.00	3.00
15.6587	-19.1658	1.000	5.78632	-1.75357	1.00	
16.5764	-26.6041	.992	7.17472	-5.01389	2.00	
23.5912	-20.8412	1.000	7.38273	1.37500	4.00	
-.7743	-40.7065	.036	6.63498	-20.74038*	5.00	
31.5842	-22.8342	.999	9.04196	4.37500	6.00	
19.1135	-16.2468	1.000	5.87534	1.43333	.00	4.00
14.2837	-20.5408	.998	5.78632	-3.12857	1.00	
15.2014	-27.9791	.973	7.17472	-6.38889	2.00	
20.8412	-23.5912	1.000	7.38273	-1.37500	3.00	
-2.1493	-42.0815	.020	6.63498	-22.11538*	5.00	
30.2092	-24.2092	1.00	9.04196	3.00000	6.00	

		0				
38.3024	8.7950	.000	4.90285	23.54872*	.00	5.00
33.4184	4.5552	.003	4.79581	18.98681*	1.00	
34.9937	-3.5407	.187	6.40273	15.72650	2.00	
40.7065	.7743	.036	6.63498	20.74038*	3.00	
42.0815	2.1493	.020	6.63498	22.11538*	4.00	
50.5206	-.2898	.055	8.44247	25.11538	6.00	
22.0843	-25.2176	1.000	7.85952	-1.56667	.00	6.00
17.3228	-29.5799	.986	7.79319	-6.12857	1.00	
17.3116	-36.0894	.939	8.87294	-9.38889	2.00	
22.8342	-31.5842	.999	9.04196	-4.37500	3.00	
24.2092	-30.2092	1.000	9.04196	-3.00000	4.00	
.2898	-50.5206	.055	8.44247	-25.11538	5.00	

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

2. תוצאות מבחן anova למידת מובהקות ההבדל בין שיעור התאונות בסוגי המעגלים לאחר קיבוץ הסוגים 2 – 6 יחד

פלט אנובה שהתקבל:

ANOVA

Sig.	F	Mean Square	df	Sum of Squares	
.040	3.324	823.437	2	1646.874	Between Groups
		247.702	104	25761.014	Within Groups
			106	27407.888	Total

Multiple Comparisons

Dependent Variable: count_sum
Tukey HSD

(I) sug_zomet_mekubaz	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval Lower Bound	95% Confidence Interval Upper Bound
.00	1.00	-4.56190	3.91586	.477	-13.8728	4.7490
	2-6	-9.62381*	3.76223	.032	-18.5694	-.6782
1.00	.00	4.56190	3.91586	.477	-4.7490	13.8728
	2-6	-5.06190	3.60206	.342	-13.6267	3.5028
2-6	.00	9.62381*	3.76223	.032	.6782	18.5694
	1.00	5.06190	3.60206	.342	-3.5028	13.6267

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

5. תוצאות מבחני T-Test

T-Test

בדיקת הבדלים בין 2 סוגי מצתים בריכוז אירועים

Group Statistics

sug_zomet_mekubaz		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
total_eruim	1.00	35	.7143	1.50629	.25461
	2.00 2-6	42	5.1190	13.51459	2.08535

קיים הבדל מובהק

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances F	Levene's Test for Equality of Variances Sig.	t-test for Equality of Means t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference Lower	95% Confidence Interval of the Difference Upper
total_eruim	Equal variances assumed	10.450	.002	-1.916	75	.059	-4.40476	2.29867	-8.98394	.17442
	Equal variances not			-2.097	42.220	.042	-4.40476	2.10083	-8.64376	-.16577

T-Test

Group Statistics

sug_zomet_mekubaz		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
הצמדות צידית	1.00	7	2.86	1.574	.595
	2.00 2-6	7	1.14	.378	.143

קיים הבדל מובהק

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances F	Levene's Test for Equality of Variances Sig.	t-test for Equality of Means t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference Lower	95% Confidence Interval of the Difference Upper
הצמדות צידית	Equal variances assumed	3.155	.101	2.803	12	.016	1.714	.612	.382	3.047
	Equal variances not			2.803	6.690	.028	1.714	.612	.254	3.174

T-Test

בדיקת הבדלים בין 2 סוגי מצתים בריכוז אירועים

Group Statistics

sug_zomet_mekubaz		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
total_eruim	1.00	35	.7143	1.50629	.25461
	2.00 2-6	42	5.1190	13.51459	2.08535

קיים הבדל מובהק

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
total_eruim	Equal variances assumed	10.450	.002	-1.916	75	.059	-4.40476	2.29867	-8.98394	.17442
	Equal variances not			-2.097	42.220	.042	-4.40476	2.10083	-8.64376	-.16577

T-Test

Group Statistics

sug_zomet_mekubaz		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
הצמדות צידית	1.00	7	2.86	1.574	.595
	2.00 2-6	7	1.14	.378	.143

קיים הבדל מובהק

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
הצמדות צידית	Equal variances assumed	3.155	.101	2.803	12	.016	1.714	.612	.382	3.047
	Equal variances not			2.803	6.690	.028	1.714	.612	.254	3.174

T-Test

Group Statistics

sug_zomet_mekubaz		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
אי מתן זכות קדימה	1.00	2	1.00	0.000	0.000
	2.00 2-6	10	4.60	9.663	3.056

אין הבדל

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
אי מתן זכות קדימה	Equal variances assumed	.927	.358	-.507	10	.623	-3.600	7.101	-19.422	12.222
	Equal variances not			-1.178	9.000	.269	-3.600	3.056	-10.513	3.313

T-Test

Group Statistics

sug_zomet_mekubaz		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
חריגה מנתיב	1.00	1	1.00		
	2.00 2-6	12	12.75	19.569	5.649

אין תצפיות - אין מה לבדוק

T-Test

Group Statistics

sug_zomet_mekubaz		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
אחר	1.00	2	1.00	0.000	0.000
	2.00 2-6	7	1.14	.378	.143

אין הבדל

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
אחר	Equal variances assumed	1.493	.261	-.509	7	.626	-.143	.281	-.806	.521
	Equal variances not			-1.000	6.000	.356	-.143	.143	-.492	.207

Correlations

		sah_teunot_kalot	total_eruim
sah_teunot_kalot	Pearson Correlation	1	-.024
	Sig. (2-tailed)		.834
	N	77	77
total_eruim	Pearson Correlation	-.024	1
	Sig. (2-tailed)	.834	
	N	77	77

אין קשר בין מספר תאונות ומספר אירועים