

מוסד הטכניון למחקר ופתוח בע"מ

משרד התחבורה

המרכז לבטיחות בדרכים

פסי צבע, פסי הרעדה ובליטות הרעדה
כאמצעי לבקרת מהירות והפחתת תאונות במקומות תורפה

חלק ב': סקר ספרות והכנה למחקר

מ א ת

ד. זיידל

ר. (בן-צבי) ברקן

2181560



000005290642



הטכניון מכון טכנולוגי לישראל

הספרייה

המרכז לבטיחות בדרכים

פרסום מס' 9-77

פרויקט מס' 74/102

אוגוסט 1977

דו"ח זה משקף את דעותיהם והמלצותיהם של המחברים.
המחברים והמרכז לבטיחות בדרכים אחראים לעבודה,
למסקנות ולדיוק הנתונים הכלולים בדו"ח.

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.

ה ת ו כ ן

עמוד

| | | |
|----|-------|---|
| 2 | ..... | 1. <u>מ ב ו א</u> |
| 5 | ..... | 2. <u>מראי מקום נבחרים בצרוף תקצירים</u> |
| 17 | ..... | 3. <u>השוואה, סיכום וניתוח תוצאות מחקרי השדה</u> |
| 19 | ..... | 3.1. טבלת השוואה של מחקרי השדה |
| 23 | ..... | 3.2. ניתוח וסיכום מחקרי השדה |
| 23 | ..... | 3.2.1. מטרת ההתקנה |
| 24 | ..... | 3.2.2. הגאומטריה של טיפולי הפסים |
| 24 | ..... | 3.2.2.1. אורך ורוחב הקטע |
| 25 | ..... | 3.2.2.2. התבנית הגאומטרית וממדי הפסים |
| 27 | ..... | 3.2.3. אופן הניסוי |
| 27 | ..... | 3.2.4. השפעת הטיפול |
| 28 | ..... | 3.2.4.1. שינוי בשכיחות התאונות |
| 28 | ..... | 3.2.4.2. הפחתת מהירות הנסיעה בגישה למקום התורפה |
| 29 | ..... | 3.2.4.3. שינוי בפילוג המהירויות לאורך הקטע המטופל |
| 29 | ..... | 3.2.4.4. ציות לתמרור עצור ושימוש בבלמים |
| 30 | ..... | 4. <u>ההיבטים ההנדסיים בביצוע הטיפולים</u> |
| 30 | ..... | 4.1. פסי צבע |
| 30 | ..... | 4.2. פסי הרעדה |
| 31 | ..... | 4.3. בליטות הרעדה |
| 32 | ..... | 5. <u>המלצות למחקר</u> |
| 32 | ..... | 5.1. הגישה הכללית |
| 33 | ..... | 5.2. תכנית המחקר המוצעת |
| 34 | ..... | <u>רשימת מראי מקום</u> |
| 36 | ..... | <u>ציורים</u> |

ת ק צ י ר

חלק מתאונות הדרכים בצמתים בכבישים בין עירוניים קשורות לכך שהנהגים המתקרבים לצומת מהכביש המישני אינם מאיטים די הצורך ו/או אינם עוצרים במקום שמחייב עצירה. בשנים האחרונות התפרסמו מספר מחקרים אשר ניסו להראות את השפעתם החיובית של טיפולים במיסעה בפסי צבע, פסי הרעדה, ובליטות הרעדה על תאונות ועל מהירות הנסיעה בגישה למקומות תורפה. אמצעים אלו מתוכננים להגדיל את עירנותו של הנהג ולהתריע בפניו על התקרבותו למקום תורפה. במקרה של פסי ובליטות הרעדה מונע להאיט את מהירות נסיעתו על ידי רעש ורעידות הולכות וגוברות.

בעבודה זו מסוכמים מחקרים נבחרים שיצאו לאור בתקופה האחרונה. ניסויי השדה מוצגים בטבלת השוואה המתיחסת ל-4 סעיפים מרכזיים: מטרת הטיפול, התבנית הגאומטרית המפורטת של האמצעים בכל מחקר, מתודולוגית הניסוי והשפעת הטיפול על תאונות, מהירות הנסיעה, ציות לתמרורים ושימוש בבלמים. על יסוד ניתוח והשוואת מחקרי השדה מוצגות הכללות אמפריות ומוסקים לקחים אופרטיביים לגבי כל אחד מהסעיפים בטבלה.

נראה כי לאמצעי הטיפול השונים בפני המיסעה יש השפעה חיובית על הפחתת תאונות שסיבתן הישירה היא מהירות מופרזת במקום התורפה. כמו כן, בדרי"כ היתה לאמצעים השפעה חיובית על מהירות הנסיעה ועל הציות לתמרורי עצור. אולם, ניסויי השדה שנערכו עד כה אינם מאפשרים להסיק האם אמצעי מסויים אפקטיבי יותר מאמצעי אחר בתנאים דומים. וכן, חסרים ממצאים עליהם ניתן לבסס קריטריונים לתכנון הנדסי אופטימלי של כל אמצעי.

פרק נפרד מתייחס לחומרים שמהם עשויים פסי הצבע, פסי ההרעדה ובליטות ההרעדה, לבעיות ההנדסיות הקיימות בהתקנתם של האמצעים ולבעיות תפעוליות אחרות.

על בסיס הניתוח של המחקרים ומגבלותיהם תוכנן ניסוי שדה שינסה לברר חלק מהבעיות שהועלו בעבודה זו.

1. מבוא

מהירות הנסיעה של כלי רכב הינה גורם תורם בחלק מתאונות הדרכים. התרומה של המהירות עלולה לבוא לידי ביטוי באופנים שונים:

א. חוסר האטה או עצירה במקומות בהם הגאומטריה והמבנה של הדרך דורשים מהנהג להאיט או לעצור. לדוגמא: בגישה לצומת, בגישה לעקום אופקי חד, לפני מעבר חציה או לפני מסילת ברזל.

ב. חוסר האטה במצבים קריטיים כאשר קיימת בעיה של שליטה ברכב. לדוגמא: בכביש בו קיימת תנועת הולכי רגל, בכביש משובש, או במקרה של תקלה בצמיג.

ג. נסיעה ברמת מהירות לא אחידה העלולה לגרום לעקיפות מסוכנות או תאונות פנים אזור.

חלק מתאונות הדרכים בצמתים בכבישים בין-עירוניים קשורות לכך שהנהגים המתקרבים לצומת מהכביש המישני אינם מאיטים די הצורך ו/או אינם עוצרים במקום שמחייב עצירה. האמצעים המקובלים להשפיע על התנהגות הנהג בגישה לצומת הינם תמרורי הוריה, אזהרה, והכוונה וכן אכיפה משטרתית של ההתנהגות הנדרשת בצומת.

העובדה שתאונות בכל זאת מתרחשות בצמתים רבים מוכיחה שהאמצעים הנייל אינם תמיד מספיקים.

בשנים האחרונות התפרסמו מספר מחקרים אשר ניסו להראות את השפעתם החיובית של פסי צבע, פסי הרעדה, ובליטות הרעדה על תאונות ועל מהירות הנסיעה בגישה למקומות תורפה. כמו כן פורסמו שני סקרי ספרות בנושא אמצעי הרעדה. סקר ספרות אחד (Capelli 1973) דן באספקטים המבניים של פסי ובליטות הרעדה; והשני (Pettersen 1976) דן במחקרי השדה שבדקו פסי ומשטחי הרעדה. אמצעים אלו מתוכננים להגדיל את עירנותו של הנהג ולהתריע בפניו על התקרבותו למקום תורפה. במקרה של פסי הרעדה ובליטות הרעדה מונע הנהג להאיט את מהירות נסיעתו על ידי רעש ורעידות הולכות וגוברות.

הדו"ח הקודם בנושא זה, ע"י המרכז לבטיחות בדרכים (זיידל, גוטמן, 1975), סקר מחקרים על יכולת הנהג ומגבלותיו בכל אחד משלבי הגישה למקום תורפה וכן מחקרים על הגורמים המשפיעים על תגובותיו של הנהג בהתקרבו למקום תורפה. נסקרו אמצעים להגדלת הערור והקשב, אמצעים לספק לנהג אינפורמציה על התקרבות למקום תורפה, אמצעים לעזור לו בהערכת מהירותו, מיקומו, ומרחק רכבו ממקום התורפה ואמצעים להערכת מידת ההאטה של הרכב.

האמצעים כללו פסי צבע, פסי הרעדה או משטחי הרעדה, בליטות הרעדה, עמודי הכוונה וקוי קטעים.

לגבי האמצעים ההנדסיים הני"ל מסקנת הסקר היתה כי למרות ההבדלים במבנה הפיסי ובמבנה התבנית הגאומטרית שלהם, נראה שהם הביאו להפחתה במספר התאונות ובמהירות הנסיעה בגישה לצמתים.

הסקר העלה בעיות בעלות חשיבות מעשית שלא נחקרו ו/או לא נפתרו עדיין:

- א. נערכו מעט נסויי שדה מבוקרים היטב.
- ב. קיימים הבדלים בין תוצאות נסויי המעבדה ונסויי השדה.
- ג. מכניזם ההשפעה של אמצעים אלו אינו ברור.
- ד. לא התברר האם קיימים הבדלים באופן שנהגים שונים מושפעים מהאמצעים.
- ה. אין אפשרות להסיק האם אמצעי מסויים אפקטיבי יותר מאמצעי אחר שהשתמשו בו בתנאים דומים (למשל, פסי צבע או פסי הרעדה).
- ו. לא קיימים קריטריונים תכנוניים למהנדס - באילו תנאים לבחור אמצעי מסויים ומהו אופן התקנתו.

בסקר הומלץ על סידרת מחקרים מהם ניתן יהיה לפתח קריטריונים לתכנון אופטימלי של אמצעים אלו, כדי להפחית תאונות ומהירות נסיעה בגישה למקומות תורפה. מאז הדו"ח הקודם בנושא זה פורטמו מחקרים נוספים בנושא זה ולכן נעשה סקר ספרות מחודש שבא לעדכן מסקנות הסקר הקודם. כמו כן, על בסיס הניתוח המעודכן של המחקר בתחום זה תוכנן ניסוי שדה שינסה לענות על חלק מהשאלות הטעונות בדיקה.

מטרת ומבנה דו"ח זה:

1. סכומים של מחקרים נבחרים שיצאו לאור בתקופה האחרונה ולא הספיקו להכלל בסקר הספרות הראשון.
2. השוואה, סיכום וניתוח תוצאות מחקרי השדה שבדקו תבניות גאומטריות שונות של פסי צבע, פסי הרעדה ובליטות הרעדה במקומות תורפה שונים, ובגאומטריה שונה.
3. בחינת ההיבטים ההנדסיים - בעיות החומרים וההתקנה של הטיפולים השונים ובעיות תפעוליות אחרות.
4. הצעה למחקר שדה בפסי צבע ובפסי הרעדה בגישה לצומת.

2. מראי מקום נבחרים בצרוף תקצירים

הרשימה להלן כוללת את הפרטומים החשובים והמקיפים שיצאו לאור בתקופה האחרונה בנושא פסי צבע, פסי הרעדה ובליטות הרעדה ולא הספיקו להכלל בסקר הספרות שנערך ע"י דוד זיידל ולילי גוטמן, במרכז לבטיחות בדרכים (1975). התקצירים אינם התקצירים המופיעים בפרטום המקורי, והם נכתבו מחדש לצרכי דו"ח זה.

1. Agent K.R. Transverse Pavement Markings for Speed Control and Accidents Reduction, Division of Research, Kentucky Bureau of Highways, September 1975.

במחקר "לפני-אחרי" נבדקה השפעת פסי צבע לרוחב המיסעה על מהירות הנסיעה ועל התאונות בגישה לעקום חד. ההשפעה נבדקה ביום ובלילה.

לצורך המחקר, נבחר עקום בו קרו מספר רב של תאונות שהסיבה לרובן היתה מהירות גבוהה. שלטי אזהרה לא פתרו את בעית התאונות במקום; המדובר בתאונות של רכב שירד מהמיסעה והתהפך או רכב שעבר את הקו המפריד והתנגש עם הרכב שבא ממול. המהירות בגישה לעקום הגיעה עד 90 קמ"ש (55 mph), בעוד שהמהירות המומלצת בעקום הינה 56 קמ"ש (35 mph).

פסי פלסטיק מחזירי אור הודבקו לאורך של כ-230 מ' לפני העקום. רוחב הפסים והרווחים ביניהם הלכו וקטנו לקראת העקום. הם תוכננו כך שהנהג יעבור על פני שני פסים בכל שניה אם הוא מאיט בקצב האטה קבוע של $0.6 \frac{\text{מ}'}{\text{שנ}'} (2-1)$. (ראה ציור 1 ו-2).

מדידות המהירות נערכו לפני הפס הראשון ואחרי הפס האחרון. המדידות נעשו לפני התקנת הפסים, שבוע לאחר ההתקנה וכן כעבור 6 חדשים. בוצעו מדידות בשעות היום ובשעות הלילה. התוצאות מתוארות בטבלה להלן.

התוצאות - שנוי מהירות לאחר התקנת פסי הצבע

| תקופת המדידה | י ו ם | | ל י ל ה | |
|--------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| | הפחתת מהירות לאורך הפסים | מהירות המאון ה-85 בגישה לעקום | הפחתת מהירות לאורך הפסים | מהירות המאון ה-85 בגישה לעקום |
| | קמ"ש | קמ"ש | קמ"ש | קמ"ש |
| לפני הטפול | 13.6 | 73.9 | 3.8 | 70.6 |
| שבוע אחרי | 24.5 | 60.8 | 14.9 | 60.5 |
| 6 חדשים אחרי | 19.7 | 60.8 | 10.0 | 68.6 |

הפחתת המהירות למהירות המומלצת בעקום (56 קמ"ש) גדלה בשעור ניכר ביום
ובלילה. ביום 10% מהנהגים נסעו במהירות המומלצת "לפני" ו-60% "אחרי";
ובלילה 19% "לפני" ו-57% "אחרי". אבל אחרי 6 חדשים, רק 32% מהנהגים
נסעו במהירות המומלצת בקטע.

אחוז המשתמשים בבלמים ירד מ-81% ל-67%, ואילו ששה חדשים אחרי, לא היתה
ירידה משמעותית (אחוז המשתמשים בבלמים היה 71%).

למרות שהחוקרים מדווחים על ירידה בתאונות, בדיקת הנתונים מראה כי אין לייחס
לכך משמעות מרובה.

2. Allen C.D., Turturici A.R., A Study of Speed Bumps, Dept. of Works for the City of San Jose, California, Transportation Division, October 1975.

במחקר זה נבדקו בליטות הרעדה במידות שונות על מנת למצוא את המידות האופטימליות של אמצעי זה להפחתת מהירות באזור עירוני.

הניסוי נערך במספר רחובות בעיר San Jose. על פני כל נתיב הותקנו סוג אחר של בליטות. סה"כ 6 סוגי בליטות בגבהים 5 ו-7.5 ס"מ (2 ו-3"). וברוחב 7.5-20 ס"מ (3"-8"). למבחן השתמשו ב-11 סוגי כלי רכב, כולל רכב דו-אופני, ובמהירויות הבאות: 8, 24, 40, 56 ו-72 קמ"ש (5, 15, 25, 35 ו-45 mph). שני נהגים מאומנים נהגו ברוב כלי הרכב מלבד הרכב הדורש נהגים מקצועיים כמו אופנוע, אוטובוס ורכב בטחון ולידם ישבו שני צופים מאומנים. המדדים שנקבעו לשם השוואה היו: (1) דווח הנהג על חוסר נוחיות ודווח הצופה על הרעדה; (2) מדדי השפעת הבליטות על הרכב: תאוצה אנכית של הרכב ומידת הקפיצה של הרכב על פני הבליטה.

חשוב לציין שהמדידות והתוצאות בניסוי זה התקבלו על ידי מעבר רכב על פני בליטת הרעדה יחידה בגודל נתון וספק אם ניתן להקיש ממנו למצב של מעבר רכב על פני סידרת בליטות צפופה.

התקבלו התוצאות הבאות:

1. קפיצות הרכב, כפי שנמדדו באופן פיזי, גדלו עם הגברת מהירות המעבר על פני כל הבליטות.
2. דווח הנהג והצופה על הרעדה וחוסר נוחיות לא היה קשור בהכרח למידת ההשפעה של הבליטות על הרכב. בתחום המהירויות הגבוהות וברכב ארבע אופני הרגשת הנוחיות השתפרה ככל שהרכב עבר את הבליטה במהירות גבוהה יותר.
3. לבליטות השונות היו השפעות שונות ולעיתים נוגדות על כלי הרכב דו-אופני, ארבע אופני או רכב כבד. לא היתה בליטה שהשפעתה על כל כלי הרכב היתה אחידה.

3. Enustun N., Three Experiments with Transverse Pavement Stripes and Rumble Bars, Traffic and Safety Division, Michigan Department of State Highways and Transportation, October 1972.

במחקר "לפני אחרי" נבדקו שלשה סוגי טיפולים להפחתת מהירות בשלשה אתרים שונים:

1. פסי צבע מפלסטיק צהוב שהודבקו על פני המיסעה לאורך 335 מ'. טיפול זה נעשה בקטע כביש מהיר העובר בשטח עירוני בו צריך היה להאיט ממהירות 110 קמ"ש (70 mph) ל-70 קמ"ש (45 mph). בקטע זה נפח התנועה היה כ-30,000 ADT בכוון אחד.

2. פסי צבע צהובים נצבעו לאורך 215 מ' (706') בגישה לעקום בו נפח התנועה כ-1000 ADT. לאחר תשעה חדשים, הותקנו משני צידי הפס בליטות הרעדה מפלסטיק שגובהן במרכז 2 ס"מ (3/4") ורחבם 10 ס"מ (4").

3. בליטות הרעדה עשויות פוליוניל כלוריד, שגובהן 1.1 ס"מ (7/16") ורוחבן 9 ס"מ (3.5") הותקנו לאורך 345 מ' (1133') בגישה למחלף בו נדרש להאיט ממהירות 110 קמ"ש (70 mph) למהירות 56 קמ"ש (35 mph). נפח התנועה באתר זה כ-1200 ADT (ראה ציור 4).

בשלשת האתרים הונחו הפסים והבליטות במרווחים מתכנסים. הם תוכננו כך שהנהג יעבור שני פסים בשניה אם הוא מאיט בקצב קבוע של $0.9 \text{ מ/שנ}^2 (3 \text{ ft/sec}^2)$. הפרסום מכיל תרשימים ותצלומים של הפסים.

התוצאות

אתר 1 - פסי צבע בגישה לאזור מהירות מוגבלת.

| תקופת המדידה | תאריך | מהירות בתחילת קטע הפסים | מהירות בסוף קטע הפסים | הפחתת מהירות לאורך הקטע |
|-------------------|----------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| "לפני" | 29.8.69 | 94.9 | 88.2 | 6.7 |
| מיד "אחרי" | 8.9.69 | 103.2 | 89.9 | 13.3 |
| ששה שבועות "אחרי" | 13.10.69 | 94.7 | 87.8 | 6.9 |

* כל המהירויות בקמ"ש.

אתר 2 - פסי צבע ובליטות הרעדה בגישה לעקום.

| תקופת המדידה | תאריך | מהירות בתחילת קטע הפסים | מהירות בסוף קטע הפסים | הפחתת מהירות לאורך הקטע |
|-------------------|---------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| "לפני" | 8.11.70 | 71.3 | 58.7 | 12.6 |
| אחרי צביעת פסים | 9.2.71 | 66.9 | 54.1 | 12.8 |
| אחרי התקנת בליטות | 10.8.71 | 63.2 | 37.8 | 25.4 |
| אחרי הסרת הבליטות | 9.10.71 | 69.7 | 55.5 | 14.2 |

* כל המהירויות בקמ"ש.

אתר 3 - בליטות הרעדה בגישה למחלף.

| תקופת המדידה | תאריך | מהירות ממוצעת בסוף קטע הבליטות (קמ"ש) |
|--------------|---------|---------------------------------------|
| "לפני" | 5.4.71 | 80.0 |
| מיד "אחרי" | 5.9.71 | 68.0 |
| חודש "אחרי" | 6.10.71 | 71.8 |

מ ס ק נ ו ת

1. השפעת פסי הצבע לא התבררה בניסויים אלו.
באתר 2 הביאו הפסים להפחתה קטנה במהירות הממוצעת כבר בגישה לקטע המטופל, אך לאורך הקטע, הירידה הנוספת במהירות היתה בגודל דומה לזה שבמצב ה"לפני".
באתר 1 התקבלו תוצאות הפוכות. חל גידול במהירות הממוצעת בגישה לקטע.
אך לאורך הקטע היתה ירידה גדולה יותר במהירות.
נראה שבעית בלאי בפסי הצבע המודבקים סיבכה את תוצאות המעקב לאחר 6 שבועות.
2. לבליטות הרעדה היתה השפעה ברורה על הפחתת מהירות הן בגישה לקטע המטופל והן לאורכו. באתר 2 הביאו הבליטות לירידה משמעותית במהירות הממוצעת בכניסה לעקום. באתר 3 ההשפעה היתה קטנה יותר אך הבליטות וסוג האתר היו שונים.
3. פסי הצבע הביאו להקטנת השונות בהתפלגות המהירויות.
4. בליטות ההרעדה הנמוכות לא הגדילו את השונות של המהירויות, אך הבליטות הגבוהות יותר (2 ס"מ) גרמו לגידול בשונות וכן עוררו תלונות מצד נהגים שעברו במקום.

4. Franke, K.A., "Evaluation of Rumble Strips", Virginia Highway & Transportation Research Council, November 1974.

מטרת המחקר היתה למצוא גאומטריה של פס הרעדה וחריצים אשר יביאו להפחתת מהירות בגישה לצומת.

בשבעה אתרי ניסוי הותקנו 7 צרופים שונים של רוחב (בתחום 5-61 ס"מ), גובה או עומק (בתחום 25.2 - 3.2 מ"מ), מרווחים קבועים בין הפסים (בתחום 0.10 - 3.05 מ'); ומרווחים משתנים מ-4.6 מ' עד 3.8 מ'; ואורכי טיפול (בתחום 4.6 - 39.6 מ'). נמדדו רעידות ורעש בתוך מכוניות ניסוי שעברו על פני הפסים במהירויות שונות עד למהירות הגבוהה ביותר שנהג הניסוי הרגיש עדיין בטוח. הניסוי מכיל תצלומי הצרופים השונים של הפסים.

התוצאות הטובות ביותר התקבלו במעבר על פני בליטות ברוחב 60 ס"מ וגובה 12.7 מ"מ (1/2") ומרווחים קבועים של 3.0 מ' בין הפסים. מבנה בליטות אלו הביא לרעידות ורעש שגברו ככל שמהירות הנסיעה עלתה. ופחתו כאשר כלי הרכב האיט.

בשלב שני בדקו בליטות אלו ברווחים מתכנסים שתוכננו עפ"י מרחק עצירה בקצב האטה של 0.9 מ'/שנ². לא התקבלו תוצאות חד משמעיות. הרעש קטן עם ההאטה אבל הרעידות גברו. אין נתונים על תחושת נהג הניסוי במעבר על פני הפסים המתכנסים. ממחקר זה לא ניתן להסיק מהו האורך האופטימלי של קטע הפסים. החריצים גורמים לרעידות קטנות מאד בכלי הרכב וכמעט ואינן מורגשות.

5. Jones M.L., Rumble Strip Experiments on a Freeway Ramp, Public Works, April 1967.

במחקר שנערך במישיגן בדקו משטחי הרעדה וחריצים כאמצעי להפחתת מהירות. המחקר נערך במעבר מכביש מהיר בו מהירות הנסיעה המותרת היא מעל 80 קמ"ש (50 mph), לכביש עורקי בו מהירות הנסיעה המותרת היא 80 קמ"ש.

בניסוי הראשון הותקנו משטחי הרעדה בגובה 2.2 ס"מ ($7/8$). המשטח הראשון ברוחב 45.7 מ' (150') במרחק 518.5 מ' (1700') מהמפגש וכעבור 91.5 מ' (300') הותקן משטח שני ברוחב 61 מ' (200'). 305 מ' האחרונים היו ללא טיפול. לטיפול זה לא היתה השפעה. תוספת חריצים במשטח לא הועילה, אך גרמה לכך ש-5% מכלל הנהגים נסעו בשוליים.

בניסוי שני באותו אתר, הותקנו שבעה משטחי הרעדה בגובה 2.2 ס"מ ($7/8$) לאורך 176 מ' (578'). המשטח הראשון ברוחב 30.5 מ' (100') הותקן במרחק 260 מ' מהצומת. אחריו שני משטחים ברוחב 15.2 מ' (50') במרווחים של 15.2 מ' ואחריהם ארבעה משטחים ברוחב 7.6 מ' (25') במרווחים של 15.2 מ'. הפס האחרון הונח במרחק 61 מ' (200') מהצומת.

התוצאות הראו כי מהירות המאון ה-85 פחתה ב-8-6 קמ"ש (4-5 mph) מיד אחרי מעבר על שלשת הפסים הראשונים והמשיכה להיות מתחת ל-80 קמ"ש. הפחתה זו במהירות נמשכה אחרי חודש וגם אחרי ארבעה חודשים.

במהלך הניסוי 35% מכלל המכוניות נמנעו מלעבור על פני משטחי ההרעדה ונסעו בשוליים הסלולים. לכן הותקנו בליטות הרעדה על פני השוליים ברוחב 15 ס"מ וגובה 1.2 ס"מ ($1/2$) ובמרווחים של 1.8 מ'. אלו מנעו מכלי הרכב לסטות מהנתיב לשוליים. התאונות בקטע זה פחתו באותו זמן בהשוואה למקומות דומים באזור.

6. Marconi W., Speed Control Measures in Residential Areas, Traffic Engineering, March 1977.

במחקר שנערך בסן-פרנסיסקו בדקו ארבע טכניקות לבקרת מהירות בכבישים עירוניים: תמרוז עצור, הצרת כביש, בליטות הרעדה וצומת ככר.

הבליטות הותקנו ב-21 קטעי רחוב. תחילה השתמשו באגרטים בגובה משתנה בין 12 מ"מ ל-19 מ"מ ($\frac{1}{2}$ " - $\frac{3}{4}$ ") שהודבקו למיסעה בעזרת דבק אפוקסי. האפקט של הטיפול היה קטן מאד ומחירו גבוה, כ- \$ 1,200 לקטע רחוב. אחייכ עברו לשמוש בבטון אספלט שנצבע לבן בגובה משתנה בין 19 מ"מ ל-38 מ"מ ($1\frac{1}{2}$ " - $\frac{3}{4}$ "). מדידות המהירות הראו שחלה הפחתה של 6.4 קמ"ש עד 24 קמ"ש במהירות המאון ה-95 ורק באתר אחד המהירות לא השתנתה. בארבעה קטעי רחוב התקבלו תלונות מהאזרחים שגרו בבתיים קרוב לכביש בשל רעידות שחשו בבתיים ושנגרמו ע"י רכב כבד ו/או נפח תנועה גדול. החוקר ממליץ להגביל את התקנת הבליטות לאתרים בהם מספר כלי הרכב הכבד והאוטובוסים אינו רב ונפח התנועה לא עולה על 2500 מכוניות ליום. כמו כן הומלץ על התקנת בליטות בגובה 19 מ"מ.

התוצאות שהתקבלו ב-15 קטעי רחוב עירוני בקמ"ש.

| קטע רחוב | מהירות המאון ה-95 | | הפחתה במהירות |
|----------|-------------------|--------|---------------|
| | "לפני" | "אחרי" | |
| 1 | 38.4 | 32 | 6.4 |
| 2 | 51.2 | 36.8 | 17.6 |
| 3 | 41.6 | 25.6 | 16 |
| 4 | 40 | 32 | 8 |
| 5 | 40 | 25.6 | 14.4 |
| 6 | 46.4 | 36.8 | 9.6 |
| 7 | 56 | 38.4 | 17.6 |
| 8 | 44.8 | 44.8 | 0 |
| 9 | 52.8 | 43.2 | 9.6 |
| 10 | 43.2 | 32 | 11.2 |
| 11 | 48.8 | 36.8 | 8 |
| 12 | 62.4 | 48 | 14.4 |
| 13 | 52.8 | 28.8 | 24 |
| 14 | 52.8 | 32 | 20.8 |
| 15 | 56 | 40 | 16 |

7. Sumner R.L., Shippey J., The Effect of Rumble Strips at the Dartford Tunnel, TRRL 169 VC, Berkshire, 1975.

מטרת הטיפול היתה להביא להאטה בגישה למנהרה.

12 פסי הרעדה הונחו לאורך כ-260 מ'. רוחבם התכנס בטור מ-1.40 מ' ל-0.35 מ'. המרווחים ביניהם התכנסו מ-27.78 מ' ל-8.26 מ'. הפס האחרון נמצא במרחק 25 מ' מרמזור שזוסת את התנועה במנהרה. גובה הפסים היה כ-19 מ"מ. הפסים תוכננו, כך שהנהגים הנוסעים במהירות המאון ה-85 יקבלו גרוי רעש כל חצי שניה במשך שש שניות (ראה ציור 3).

נמדדו המהירויות של רכב חופשי כשהפזה בכניסה למנהרה היתה ירוקה. המהירויות נמדדו בשלושה מקומות: (1) 12.5 מ' מהרמזור; (2) 315 מ' מהרמזור (30 מ' לפני הפס הראשון); (3) 400 מ' מהרמזור (115 מ' לפני הפס הראשון). התוצאות שהתקבלו (ראה טבלה), הראו הפחתה במהירות בסוף הקטע לפני הרמזור בשעור 8-9 קמ"ש. מרבית ההשפעה היתה כבר בגישה לקטע שם חלה האטה בשעור 5-6 קמ"ש.

השמוש בבלמים נרשם בעזרת מצלמה שהוצבה בתחילת הפסים. התברר שבהשפעת הפסים התחילו הנהגים לבלום במרחק גדול יותר מהרמזור.

התוצאות - מהירויות בגישה למנהרה לפני ואחרי התקנת פסי ההרעדה

| מ ק ו ם | סוג הרכב | מהירות ממוצעת "לפני" (קמ"ש) | מהירות ממוצעת "אחרי" (קמ"ש) | הפחתת המהירות "אחרי" (קמ"ש) |
|--|----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 12.5 מ' לפני הרמזור | רכב קל | 57.5 | 48.2 | 9.3 |
| | רכב כבד | 50.6 | 42.5 | 8.1 |
| 315 מ' לפני הרמזור (30 מ' לפני הפסים) | רכב קל | 72.2 | 67.5 | 4.7 |
| | רכב כבד | 61.1 | 55.4 | 5.7 |
| 400 מ' לפני הרמזור (115 מ' לפני הפסים) | רכב קל | 79.8 | 79.1 | 0.7 |
| | רכב כבד | 65.4 | 66.8 | -1.4 |

8. Watts G.R., Road Humps for the Control of Vehicle Speed, TRRL LR-597, Berkshire, 1973.

מטרת מחקר זה הייתה למצוא בליטות אופטימליות להפחתת מהירות הנסיעה למהירות הרצויה (25 קמ"ש) באזורים עירוניים. המחקר בוצע באתר ניסוי מעבדתי.

המחקר כלל שני שלבים: (1) בחינת כל בליטה בנפרד ומציאת הבליטה האופטימלית; (2) מציאת המרווחים האופטימליים בין הבליטות שנמצאו מתאימות לטווח המהירות הרצוי.

בשלב הראשון נבדקו 15 בליטות שונות. הן הותקנו במסלול, אחת אחר השניה כשהמרחק ביניהן 50 מ'. כלי רכב מסוגים שונים עברו על פני המסלול. המדדים להשפעת הבליטות היו: (1) תאוצה אנכית של הרכב במעבר על פני כל בליטה; (2) הערכת הנהג את רמת הרעידות וחוסר הנוחיות והערכתו את תחום המהירויות הבטוח והנוח עבור כל סוג בליטה.

כבליטה אופטימלית להשגת מהירות נסיעה בתחום הרצוי (25-30 קמ"ש) נמצאה הבליטה שרוחבה 3.66 מ' וגובהה 10 ס"מ. נמצא גם כי עבור נסיעה בתחום המהירויות 40-50 קמ"ש הבליטה האופטימלית היא ברוחב 2.44 מ' וגובה 7.5 - 5 ס"מ.

השלב הבא היה למצוא את המרווחים בין הבליטות שיביאו לנסיעה במהירות אחידה בתחום המהירויות הרצוי (25-30 קמ"ש). נבדקו מרווחים קבועים בגדלים 27, 46, 91 ו-183 מ'. נמצא כי מרווחים בגודל 91 מ' מביאים לנסיעה במהירות ממוצעת הקטנה מ-60 קמ"ש וככל שהמרווחים קטנים המהירות הממוצעת לאורך הקטע המטופל קטנה.

9. Russam K., Rumble Areas and Bar Lines, Personal Correspondence, March 1977.

במחקר "לפני אחרי" נבדקת השפעתם של: (א) בליטות הרעדה בגישה לצומת ככר; (ב) משטחי הרעדה בגישה לצומת ולעקום. המחקר עדיין לא הסתיים וקבלנו רק אינפורמציה הנדסית וממצאים חלקיים.

א. בליטות הרעדה

90 בליטות הרעדה מפלסטיק צהוב הודבקו לרוחב כל המיסעה לאורך 440 מ'. רוחב הבליטות 6 ס"מ (2') וגובהן לא יותר מ-6 מ"מ (1/4") ולא פחות מ-3 מ"מ (1/8"). הבליטות הונחו במרווחים מתכנסים לקראת הצומת מ-7.69 מ' עד 2.73 מ'. הבליטה האחרונה הונחה במרחק 35 מ' מהצומת. [הבליטות הותקנו במספר אתרי ניסוי בכניסה לצומת ככר].

ב. משטחי הרעדה

6 משטחי הרעדה מתערובת אספלט בדרוג פתוח [גודל אגרגט 19-12 מ"מ (3/4" - 1/2")] הונחו לאורך כ-150 מ'. רוחב המשטחים והמרווחים ביניהם מתכנסים לקראת הצומת, כך שהנהג יקבל גרוי רעש כל חצי שניה בעוברו על פניהם. רוחב המשטח הראשון 11 מ' (36') והמרווח בינו לבין הפס השני 16 מ' (52'). הפס האחרון הותקן במרחק 100 מ' ממקום התורפה.

אורך הטיפול חושב מתוך המאון ה-85 של המהירויות שנמדדו בכל אתר במרחק 100 מ' ו-250 מ' ממקום התורפה, בהנחה של האטה קבועה ביניהם. המשטחים הותקנו במספר אתרי ניסוי.

3. השוואה, סיכום וביתוח תוצאות מחקרי השדה

פרק זה כולל השוואת מחקרי השדה שבדקו פסי צבע, פסי הרעדה ובליטות הרעדה במקומות תורפה שונים ובגאומטריה שונה. ההשוואה נערכה בטבלאות ואחריהם סוכמו והשוו המחקרים עפ"י המטרה שלשמה הותקנו האמצעים, תבנית הגאומטרית שלהם, אופן הניסוי ותוצאותיו.

טבלאות ההשוואה מתייחסות ל-4 סעיפים מרכזיים.

א. מטרת הטיפול המבחינה בין:

- (1) עצירה בצומת עם תמרור עצור.
- (2) האטה לקראת צומת עם זכות קדימה.
- (3) האטה לפני עקום חד.
- (4) האטה בקטע כביש הדורש נסיעה במהירויות יותר נמוכות.

ב. התבנית הגאומטרית המפורטת של האמצעי בכל מחקר:

- (1) מרחק התקנה שהוא המרחק הכולל של קטע הפסים או הבליטות.
- (2) מידות הפסים: רוחבם וגובהם. כאשר רוחב הפס משתנה אזי רשומים כל הרוחבים הקיימים והם מסומלים באותיות a, b, c,
- (3) תבנית הפסים: רוחב הפסים והמרווחים ביניהם. השיטה להצגת התבנית היא כדלהלן:

$$m_1(w_1, s_1)$$

$$m_2(w_2, s_2)$$

⋮

$$m_i(w_i, s_i)$$

$$w_n$$

w_i - רוחב הפס $w_i = a, b, c, \dots, w_n$ (רוחב הפס האחרון) וערכו מופיע בעמודת מידות הפסים.

s_i - מציינ את אורך המרווח בין הפס w_i והפס אחריו w_{i+1} במטרים.

m_i - החזרות של צרוף פס ומרווח.

דוגמא: 2(7.6,15)

4(4.3, 7.5)

15

יש לקרוא כך: הפס הראשון ברוחב 7.6 מ' והמרווח בינו לבין הפס השני 15 מ' ושוב פס ברוחב 7.6 ואחריו מרווח בן 15 מ'. הפס השלישי, הרביעי, החמישי והשישי (סה"כ 4) ברוחב 4.3 מ' והמרווחים אחריהם 7.5 מ'. הפס האחרון רוחבו 15 מ'.

ג. אופן הניסוי: השיטה, המקום והזמנים בהם נאספו הנתונים.

ד. השפעת הטיפול: השינוי בשכיחות התאונות, הפחתת מהירות הנסיעה בגישה למקום התורפה, שינוי בפילוג המהירויות לאורך הקטע המטופל, ציות לתמרור עצור ושמוש בבלמים.

2.1. טבלאות השוואת מחירי השדה.

| מטרת הטיפול | סוג הטיפול | הגיאוטמטרית | | | אופן הניסוי | הפתח מתירות | שונויות במתירות | מאונות | צורת לחסור |
|--|--|----------------|--|---|---|---|---|---|------------|
| | | מרחק הטיפול | מזירות תפסים | תבנית תפסים | | | | | |
| 1. הגדלת אזור עצירה בגישה לצומת עם תמרור "עצור" | פסי הרעדה Owens R.D. 1964 Minnesota | 91 מ' (1) | 7.6 מ' (1) 15 מ' (2) 19 מ' (3/4) | <p>4(a,30) 6(a,15) b</p> <p>* a=7.6 מ' b=15 מ'</p> | <p>ב-4 הנקודות לפני הצומת חלה הפתח במתירות הממוצעת בשעור 4-5 קמ"ש.</p> | <p>השונויות גדלה אחרי הטיפול בשעור של 5-22% מלבד במרחק של 91 מ' מהצומת.</p> | <p>פחה מספר המאונות באופן אבסולוטי בכל המאונות (סה"כ 6-2 המאונות שני "לפני" היה במיר).</p> | <p>אחוז העוצרים עצירה מלאה גדל מ-37% ל-63% (גודל מדגם כ-400 "לפני" וכ-350 "אחרי")</p> | צורת לחסור |
| | | | | | | | | | |
| | Hoyt D.W. 1968 Cook County Illinois | 91 מ' (1) | 7.6 מ' (2) 4.5 מ' (3) 19 מ' (4) | <p>(a, 30) (a, 15) (b, 135) (b, 15) (b, 76) c</p> | <p>נבדקו 3 סוגי תבניות פסים בשיטה "לפני אחרי" (שנתיים לפני ושנתיים אחרי). נערך מערב מאונות ומעקב על הצירות לתמרור "עצור". תפסים התקנו ב-9 צמתים לא עיצורניים.</p> | לא נבדקה | <p>חלה ירידה משמעותית במספר מאונות מסוג א' צירות לתמרור. בחומרת המאונות נרשמה ירידה של כ-50% במאונות עם נפגעים.</p> | <p>% מעוצרים עצירה מלאה גדל מ-46% ל-76%.</p> | צורת לחסור |
| | | | | | | | | | |

* קרי: 4 פסים ברוחב a (7.6 מ') כשהמרווחים ביניהם 30 מ' ואחריהם 6 פסים ברוחב a (7.6 מ') כשהמרווחים ביניהם 15 מ' ואחריהם פס ברוחב b (15 מ').

| מאונות | ת א צ ו ת | | | אופן הנסיעה | הגיאומטריה | | | | סוג הטיפול | מטרת הטיפול |
|---|--|---|--|---|---|---|--|---|---------------------------------------|-------------|
| | שורות במהירות | הפחתת מהירות | לא נבדקה | | תבניות הפסים | מקדום הפסים | רוחב | מרחק הפיפול |  |  | פיקי הרעדה |
| <p>אחרי 39 חודש הופחת מטפר המאונות מסוג Overpass מ-13 בשנה לפחות מטפ. אחרי 18 חודשים נוספים היו רק 2 מאונות מסוג זה. אחרי המבלות של הפסים עלה שוב מטפר המאונות.</p> | לא נבדקה | | <p>לפני הפס הראשון הייתה הפחתה של 3 קמ"ש בממוצע. סה"כ ההפחתה במהירות הממוצעת ובמאור ה-85, בסוף הקטע, הייתה 5 קמ"ש.</p> | <p>נערך מעקב אחרי מהירויות והאונות. המהירויות נמדדו במרחקים של 505 מ' מעקב 137 מ' מהצומת ונצטמו עצמו. מעקב על המאונות נמשך קרונו ל-6 שנים. הפסים הותקנו ב-4 אחרי שונים.</p> | <p>4 (a, 30) 2 (a, 15) 2 (b, 15) c</p> | <p>רוחב a=7.6 מ' b=4.5 מ' c=15 מ'</p> | <p>מ' 305</p> | <p>פיקי הרעדה Kermit M.L. 1967 California</p> | <p>האטה בגישה לצומת עם זכות קדימה</p> | |
| <p>הושגה ירידה של 20% במאונות ו-40% בנפגעים. באותו זמן בגישה לצומת בה לא הותקנו הבלטות חלה עליה של 113% במאונות ו-233% בנפגעים.</p> | לא נבדקה | לא נמדדה | <p>בגישה לצומת בכך (המהירות המותרת 90 קמ"ש ונפסי החלוקה של 10,000 ADT) נערך מעקב במשך שנתיים על המאונות. הגישה לאותו צומת מהכיוון הנגדי שימשה כבקורות.</p> | <p>5 (a, 3) 19 (a, 0.5) 5 (a, 3) (a, 205)</p> | <p>רוחב 8 סמ"מ גובה 12 מ"מ (4")</p> | <p>מ' 36</p> | <p>בלטיעות הרעדה Bellis W.R. 1969 New Jersey</p> | <p>II</p> | | |
| <p>14 מאונות דורותו כשנה לפני ההקמה ורק 2 מאונות 16 חודש אחרי ההקמה. אבל במשך תקופת זו הותקנו עמודי תאורה באי המרכזי.</p> | <p>השורות קטנה מטייה מן "לפני" של כ-5-15 לק"מ "אחרי" ההתקנת התקצרו בשני התקצרות.</p> | <p>ביום הפחתה במהירות הממוצעת הייתה כ-14 קמ"ש ובמהירות המאור ה-85 כ-24 קמ"ש. שנה אחרי ההקמה ההשפעה נחלשה.</p> | <p>המהירות נמדדה במרחק מ' 45 מאצומת בכך. המדידות נערכו במשך שנתיים 3 פעמים ביממה במשך 3 שבועות לפני ההקמה ו-3 שבועות אחריה ושוב שנה אחרי כן.</p> | <p>המרווחים בין הפסים מהבנסים בטור מ' 6.0 עד 3.0 מ' סה"כ 90 פסים</p> | <p>רוחב 60 ס"מ</p> | <p>מ' 450</p> | <p>פיקי גבי Denton G.C. 1973 TRRL, U.K.</p> | <p>III</p> | | |

(המשך)

| מ | | X | | 1 | | T | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|--|--|----------------|------------|-----------------------|--|--|--------|--|---|-------------------|----------------------|----------|---|---------------------------|
| מאונות | שונות במהירות | הפחתת מהירות | אופן הניסוי | הגיאומטריה | | סוג הטיפול | מטרת הטיפול | | | | | | | | | | |
| לא נבדקו | השונות לא נבדקה. הנהגים בלמו במרחק גדול יותר מהכניסה למנהרה. | מיר לפני הפסיק הייתה הפחתת מהירות בשעור 5 קמ"ש ואחרי הפסיק בשעור 9 קמ"ש בהשוואה למצב לפני התקנת הפסיק. | נמדדו מהירויות בשלוש מקומות - 150 מ' לפני הפסיק, 30 מ' לפני הפסיק, ו-12.5 מ' אחרי הפסיק. כמו כן נמדדו זפסי שמוש בבלמים בעזרת צלום. | תמרווחים בין הפסיק מתכנס מ-28 מ' עד 8 מ' סתייב 12 פסיק | מרחק הטיפול | פסי הטיפול | האטה בגישה למנהרה | | | | | | | | | | |
| השונות לא נבדקה. אחוז המשתמשים בבלמים ירד מ-81% ל-68% אחרי ההתקנה. | הפחתה למהירות המומלצת (56 קמ"ש) גדלה בצורה משמעותית הן בירוס והן בלילה. בירוס מיר אחרי ההתקנה פחתה מהירות ב-11 קמ"ש ואחרי פחתה רק ב-4-6 קמ"ש, אבל מהירות הגישה לפסיק לא השתנתה. בלילה מיר אחרי ההתקנה מהירות הגישה לעקום הייתה דומה לירוס. אחרי מהירות הגישה חזרה למצב שהיה קודם. | חלה הפחתה במהירות המומלצת בגישה לפסיק בשעור 5 קמ"ש מיר אחרי ההתקנה ובשעור 3 קמ"ש 11 חודשים אחרי. לא היה הפחתה במהירות לאורך המסע במשוואה למצב הקודם להתקנה. ADT 1000-כ. | המהירויות נמדדו בשני מקומות: בפס הראשון 1-33 מ' לפני הפס האחרון, קודם לטיפול - 3 חודשים אחרי ו-11 חודשים אחרי כך. נפס המנועה באחר הנסוי היה כ-1000 ADT. | <table border="1"> <tr> <th>רונת</th> <th>רונת</th> </tr> <tr> <td>1a 7b 8c 14d</td> <td>a=1.2 מ' b=1.0 מ' c=0.8 מ' d=0.6 מ'</td> </tr> </table> | רונת | רונת | 1a 7b 8c 14d | a=1.2 מ' b=1.0 מ' c=0.8 מ' d=0.6 מ' | <table border="1"> <tr> <th>רונת</th> <th>רונת</th> </tr> <tr> <td>14a 16b</td> <td>a=10 מ' b=8 מ'</td> </tr> </table> | רונת | רונת | 14a 16b | a=10 מ' b=8 מ' | מ-11 מ' עד 4.5 מ' | מ-215 מ' | פסי צבע Agent K.R. 1975 Kentucky | 3. האטה בגישה לעקום חד |
| רונת | רונת | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1a 7b 8c 14d | a=1.2 מ' b=1.0 מ' c=0.8 מ' d=0.6 מ' | | | | | | | | | | | | | | | | |
| רונת | רונת | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14a 16b | a=10 מ' b=8 מ' | | | | | | | | | | | | | | | | |
| הנתונים לא מאפשרים חסמה מסקנות. | חל שפור בפלוג המהירות של מסעה חסן של 5.4 קמ"ש לפני ל-3.7 אחרי ושוב עליה ל- 4.6 מ' 11 חודש אחרי. | חלה קרידה של 8.1 קמ"ש במהירות כבר לפני הבלמות. כמו כן חלה הפחתה ניכרת במהירות לאורך הבלמות מ-6-12 קמ"ש לפני ל-4-25 קמ"ש אחרי. | הבלמות הותקנו 9 חודשים אחרי שחפסים נצבעו ונמדדו מהירות באותם מקומות מיר אחרי ההתקנה. | <table border="1"> <tr> <th>רונת</th> <th>רונת</th> </tr> <tr> <td>10 מ"ש</td> <td>10 מ"ש</td> </tr> <tr> <td>19 מ"ש</td> <td>19 מ"ש</td> </tr> </table> | רונת | רונת | 10 מ"ש | 10 מ"ש | 19 מ"ש | 19 מ"ש | מ-16 פסי הצבע הותקנו בליטות הטיפול. | פסי צבע + בליות הטיפול Enustun N. 1972 Michigan | (2) | | | | |
| רונת | רונת | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 מ"ש | 10 מ"ש | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 מ"ש | 19 מ"ש | | | | | | | | | | | | | | | | |
| לא נבדקו | הבלמות גרמו לגידול בשונות המהירות. טטישה חסן בגישה לעקום עלה ל-9.6 mph | | | | | | | | | | | | | | | | |

3.2. ניתוח וסיכום מחקרי השדה

כפי שאפשר לראות בטבלת השוואה של מחקרי השדה המחקרים בוצעו באתרים מסוגים שונים וטיפולי הפסים נועדו למטרות שונות. המחקרים נבדלו בשיטות המחקר, בתבנית הפסים ובמבנם, בטכניקות המדידה ובסוג כמות הנתונים שנאספו. ההשוואה והסיכום של הניסויים יתייחסו לקטגוריות העיקריות של טבלת ההשוואה מתוך כוונה להוציא הכללות אמפיריות ולקחים אופרטיביים לגבי כל אחד מהנושאים הבאים:

- א. התאמה של האמצעי למטרת התקנת הטיפול.
- ב. המיבנה הגאומטרי של אמצעי הפסים והבליטות.
- ג. המתודולוגיה של ניסויי השדה.
- ד. השפעת טיפולי הפסים על תאונות, מהירות נסיעה, ציות לתמרורים ושימוש בבלמים.

3.2.1. מטרת ההתקנה

ניתן להבחין בכמה סוגי אתרים בהם השתמשו בפסי צבע, בפסי הרעדה ובבליטות הרעדה לבקרת מהירות. לצורך הדיון חולקו מטרות הטיפול לפי הפעולה הנדרשת מהנהג במקום או קטע התורפה:

- א. עצירה בצומת עם תמרור עצור (באיזור בין עירוני).
- ב. האטה על מנת להתגבר על בעיות גאומטריות או להמנע מקונפליקטים עם רכב חוצה, או להמנע מקונפליקט עם הולך רגל (באיזור בין עירוני).
- ג. נסיעה במהירות אחידה בתחום מהירות נמוך (באיזור עירוני).

לגבי עצירה בצומת עם תמרור עצור אין נתונים להשוואה בין האמצעים השונים כיוון שנבדקו משטחי הרעדה בלבד ולא נבדקו האמצעים האחרים.

לגבי האטה באיזור בין עירוני קשה להעדיף אמצעי אחד על משנהו כיוון שבדרי"כ התקבלו תוצאות דומות בעקבות התקנת האמצעים השונים.

בכביש בין עירוני בו נוסעים במהירויות גבוהות אין להשתמש בבליטות הרעדה גבוהות מ-12 מ' ובפסי הרעדה הגבוהים מ-19 מ'מ. הם נמצאו כמסוכנים למערכת ההיגוי והגלגלים ועוררו התמררות ציבור הנהגים. נראה כי השפעת אמצעי הרעדה היתה יציבה יותר לאורך זמן מאשר השפעת פסי הצבע, אולם פסי הצבע הינם האמצעי הזול ביותר.

למטרת השגת האטה ושמירה על נסיעה בתחום מהירות נמוך באיזור עירוני, בליטות הרעדה נמצאו מתאימות ביותר. (יש לציין כי קיימות מספר בעיות בשימוש בבליטות הרעדה באזור עירוני: הבליטות מסוכנות לרכב דו אופני ורכב בטחון; הן גורמות לחוסר נוחיות לנוסעים ברכב ציבורי; הן עלולות ליצור בעיות ניקוז; והן עלולות להוות מקום מיצבור לאשפה, לחול ולבוץ. על ידי תכנון נאות ניתן לפתור או להקטין את חומרתן של חלק מהבעיות)

3.2.2. הגאומטריה של טיפולי הפסים

הגאומטריה של האמצעים מתייחסת לאורך ולרוחב הקטע בו מותקן האמצעי, ולתבנית הגאומטרית של הפסים הכוללת את ממדי הפסים והרווחים ביניהם.

3.2.2.1. אורך ורוחב הקטע

את אורך הטיפול של פסי הצבע, פסי ההרעדה ובליטות ההרעדה תכננו בדרייב על פי מרחק עצירה או מרחק האטה ממהירות הנסיעה עד המהירות הרצויה ובהנחה של קצב האטה קבוע. כמהירות הנסיעה בקטע מומלץ להשתמש במהירות המאון ה-85 ולא במהירות הממוצעת כי מקובל להניח שהנהגים המועדים לכשלון במקום התורפה הם דווקא אלו הנוסעים במהירויות הגבוהות.

אורך הטיפול מחושב איפוא לפי הנוסחה:

$$D = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2a}$$

- D - מרחק הטיפול.
- V_1 - מהירות הנסיעה בקטע.
- V_2 - המהירות הרצויה במקום התורפה (0 במקרה של עצירה).
- a - קצב האטה (מקובל להניח 0.9 - 0.6 מ/שנ²).

לפי שיטת חישוב זו התקבלו במחקרים השונים, אורכי טיפול בתחום 260 - 350 מ' בהתאם למהירות הנסיעה באתרי הניסוי. מהמחקרים מתברר כי רצוי להניח את הפסים עד מיד לפני מקום התורפה ולא במרחק רב ממנו כדי להבטיח שנהגים לא יאיצו שוב בסיום קטע הפסים. כמו כן רצוי להניחם לכל רוחב המיסעה כולל השפה הסלולה והנתיב הנגדי על מנת להרתיע את אותם נהגים ספורים, שהיו אולי מנסים להתחמק ממעבר על הפסים, מלנסוע על השוליים הסלולים או בנתיב הנגדי.

במקומות בהם נפוצה נסיעה של רכב דו-אופני רצוי להניח את פסי ובליטות הרעדה כך שישאר מרווח פנוי ומסומן של כ-60 ס"מ משפת הכביש. מרווח זה יאפשר לרכב הדו-אופני לעבור את הפסים או הבליטות בביטחה וכן יוכל להוות פתרון לבעיות ניקוז.

3.2.2.2. התבנית הגאומטרית וממדי הפסים

ברוב המחקרים התבנית הגאומטרית של פסי צבע, פסי הרעדה ובליטות הרעדה היתה תבנית של פסים או בליטות ברווחים המתכנסים לקראת מקום התורפה.

מיקום הפסים נקבע על פי מהירות הנסיעה בקטע, המהירות הרצויה במקום התורפה, והנחה של קצב האטה מסויים וקבוע במעבר על פני הפסים. }

הפסים תוכננו כך שאם הנהג יכנס לקטע המטופל במהירות המאון ה-85 ויאט בקצב האטה קבוע של 0.9 - 0.6 $\frac{m}{שנ}$, הוא יעבור 2 פסים בשניה. בפסי או בבליטות הרעדה פרוש הדבר שהנהג יקבל אות רעידה ורעש כל $\frac{1}{2}$ שניה.

מיקום הפסים מחושב בדרך הבאה:

$$S_n = \frac{V_1^2 - (V_1 - at_n)^2}{2a}$$

כאשר:

s_n - מרחק במ' בין מרכז הפס הראשון עד הפס ה-n כאשר:
• $n = 2, 3, 4, \dots, n$

t_n - פרק הזמן מהמעבר על הפס הראשון עד הפס ה-n בשניות כאשר:
• $t_n = \frac{1}{2}, 1, 1\frac{1}{2}, \dots, \frac{n}{2}$

a - קצב האטה ב- $\frac{m}{שנ}$

V_1 - מהירות המאון ה-85 ב- $\frac{m}{שנ}$

ציורים 6 - 1 מראים שרטוטים וצילומים של תבניות גאומטריות שונות של פסי צבע, פסי הרעדה ובליטות הרעדה.

בטיפול פסי צבע בדרי"כ הותקנו פסים ברוחב קבוע בתחום 1.1 מ' - 0.6 מ'. בקנטקטי השתמשו ברוחב פס משתנה. הפס הראשון ברוחב 1.2 מ' אחריו מספר פסים ברוחב 1.0 מ', אחריהם פסים ברוחב 0.8 מ' וב-80 המטרים האחרונים פסים ברוחב 0.6 מ' (ראה ציורים 1,2).

בניסוי פסי הרעדה שנערך באנגליה עיי (Sumner & Shippey (1975) השתמשו ברוחב פס מתכנס לקראת מקום התורפה. שלשת הפסים הראשונים היו ברוחב 1.4 מ', אחריהם פס ברוחב 1.33 מ' ואחריו 8 פסים שרוחבם הולך וקטן ב-12 ס"מ כל פס. הפס האחרון רוחבו 0.35 מ'. הפסים הוכנו מאגרגט קשה שהודבק למיסעה, כשגודל אגרגט מכסימלי הוא 19 מ"מ (3/4) (ראה ציור 3).

בבליטות הרעדה התקינו בדרי"כ בליטות ברוחב אחיד של 8-10 ס"מ עשויות מקשה אחת (ראה ציור 4).

בתכנון משטחי הרעדה, התבנית הגאומטרית והמידות של המשטחים התבססו ברובם על הדיווחים הראשונים של Kermit (1962). המשטחים הונחו לאורך כ-330 - 300 מ'. רוחב המשטחים והמרווחים ביניהם הלכו וקטנו לקראת מקום התורפה בצורה הבאה: משטחים ראשונים היו בדרי"כ ברוחב 7.6 מ' והמרווחים ביניהם כ-30 מ' אחריהם הצטמצם רוחב הפס ל-4.5 מ' והמרווחים ל-15 מ'. המשטח האחרון היה בדרי"כ הארוך מכולם והשתרע על 15 מ'. Hoyt (1968) אף הגדילו ל-90 מ' (ראה ציורים 5,6).

מהמחקר עד כה לא התברר באיזו מידה יש חשיבות לתבנית פסים מסויימת מבחינת ההשפעה המבוקשת על מהירות נסיעה ותאונות. יש לציין כי באף מחקר לא נבדקו קצבי האטה של הנהגים על פני הפסים. הנחה של קצב האטה קבוע אינה מתארת בנאמנות את דפוסי ההאטה של אף נהג. מכאן שלא ניתן להסביר מדוע יש לבחור בתבנית גאומטרית מסויימת ואיך זו משפיעה על הנהגים.

ברוב המחקרים השתמשו בתבנית גאומטרית מסויימת אחת ולא השוו מספר תבניות. Hoyt ניסה להשוות שלש תבניות של משטחי הרעדה ומצא כי לא היה הבדל בהשפעתם על הורדת שיעור התאונות (הוא לא בדק השפעה על מהירות). אולם התבניות היו שונות במספר משטחי ההרעדה, ברוחבם, ובמרווחים שביניהם ועל כן קשה לפרש את הממצא על חוסר הבדל. כל עוד אין הוכחות ליתרון של פסים ברוחב משתנה, מומלץ להתקין פסים ברוחב אחיד כיוון שהתקנתם זולה ופשוטה יותר. לפיכך, מומלץ לקבוע רוחב של כ-60 ס"מ עבור פסי צבע או הרעדה ורוחב של כ-10 ס"מ עבור בליטות הרעדה.

השפעה של גובה פסי ובליטות ההרעדה תלויה בסוג הרכב. כדי שאמצעי הרעדה אלו ישפיעו גם על רכב כבד, אך לא יהוו סיכון למערכת ההיגוי והגלגלים ולא יעוררו התנגדות ציבור הנהגים מומלץ כי גובה הפסים לא יעלה על כ-20 מ"מ ולא פחות מ-12 מ"מ, וגובה בליטות ההרעדה לא יעלה על 12 מ"מ ולא פחות מ-6 מ"מ.

3.2.3. אופן הניסוי

רוב מחקרי השדה נערכו בשיטת "לפני-אחרי". הנתונים נאספו בתקופה קצרה לפני התקנת הטיפול ובשתי תקופות זמן לאחר התקנתו. זאת כדי לבדוק אם לאמצעי היתה השפעה מיידית אחרי התקנתו ואם ההשפעה החזיקה מעמד לאורך זמן.

למדידת המהירות השתמשו בשיטות מדידה שונות בעזרת מכשירים שונים. המכשיר המקובל ביותר היה הראדר. כמו כן השתמשו בגלאי השראות בצורת סלילים קבורים או מודבקים למיסעה ובגלאי לחץ פניאומתיים או מתכתיים (tope switches) שחוברו למערכות מדידה אלקטרוניות שונות שתרגמו את האותות שהתקבלו למהירות.

נקודות המדידה המקובלות ברוב המחקרים היו: (1) במרחק רב לפני הטיפול במקום שהנהג לא רואה עדיין את הפסים או הבליטות; (2) סמוך לפס הראשון; (3) סמוך לפס האחרון (מיד לפני מקום התורפה). בחלק קטן מהמחקרים בדקו גם מספר נקודות לאורך הטיפול. יש להדגיש כי לא נמדדה מהירות של אותה מכונית במספר נקודות לאורך הטיפול, אלא נמדדו מהירויות של מכוניות שונות בכל נקודה ונקודה. לפיכך, לא ניתן להסיק על דפוסי האטה של מכונית הבודדת ובאיזה שלב בהתקרבות למקום התורפה הנהג מושפע מהפסים.

בחלק מהמחקרים נבדק טיפול מסויים במספר אתרים ובחלק נבחנה השפעת האמצעי באתר בודד בלבד. בהשוואת הטיפולים השונים יש לזכור כי חלק המחקרים נעשו באתרים עירוניים או בין עירוניים בהם נפחי התנועה היו נמוכים, בתחום 400 - 1000 ADT, וחלק באתרים בהם נפחי התנועה מגיעים ל-30,000 - 10,000 ADT.

ההשפעה של פס צבע בלילה על המהירות נבדקה בשני מחקרים בלבד, בקנטקי (Agent, 1975) וב-TRRL (Denton 1973), ואילו השפעת פסי ובליטות הרעדה בלילה כלל לא נבדקה.

3.2.4. השפעת הטיפול

במחקרים השונים נבדקו ההשפעות הבאות של האמצעים במקום התורפה:

- (1) שינוי בשכיחות התאונות.
- (2) הפחתת מהירות הנסיעה בגישה למקום התורפה.
- (3) שינוי בפילוג המהירויות לאורך הקטע המטופל.
- (4) ציות לתמרור עצור ושימוש בבלמים.

אף שהמחקרים נבדלו באספקטים רבים ניתן להבחין במספר ממצאים כלליים לגבי השפעת פסי הצבע, פסי הרעדה ובליטות הרעדה על המדדים הנ"ל.

3.2.4.1. שינוי בשכיחות התאונות

מספר התאונות פחת באופן אבסולוטי כתוצאה מהשימוש באחד האמצעים האלו. ההפחתה היתה בתאונות שסיבתן היתה מהירות כגון: כשלון בעקום חד, כשלון בצומת T, אי ציות לתמרור עצור או למתן זכות קדימה וכד'. האמצעים לא מנעו תאונות מסוג אחר. יש לציין כי דווח התאונות, במחקרים בפסי צבע ובחלק המחקרים בפסי ובלטות הרעדה, היה מבוטס על נתונים של שנה אחת אחרי התקנת הפסים, וזו תקופה קצרה מדי להערכת השפעה על תאונות. כמו כן, האתרים שנבחרו למחקר היו לרוב בעייתיים מבחינה בטיחותית ותופעת הרגרסיה לממוצע יכולה להסביר ירידה בתאונות גם ללא השפעת הטיפול. לא נעשתה השוואה למקומות ביקורת דומים. רק (Kermit 1967) בדק השפעת משטחי הרעדה על תאונות בתקופה של כ-6 שנים בצומת T. הוא מצא כי מספר התאונות מסוג overrun פחת אחרי 39 חודש מ-13 תאונות בשנה ל-6 תאונות בשנה, ואחרי 18 חודשים נוספים היו 2 תאונות מסוג זה בלבד. הוא גם מצא כי אחרי שהפסים התבלו עלה שוב מספר התאונות. חומרת התאונות לא נבדקה ברוב המחקרים. רק באילינוי דווח על הפחתה משמעותית של כ-50% בחומרת התאונות מסוג אי ציות לתמרור עצור כתוצאה מהתקנת פסי הרעדה בגישה לצומת.

3.2.4.2. הפחתת מהירות הנסיעה בגישה למקום התורפה

ברוב המחקרים נרשמה הפחתת מהירות בגודל 3-5 קמ"ש בעקבות הטיפול בפסים או בבליטות הרעדה כבר בגישה לאמצעי ועוד לפני מעבר על פני הפסים. בחלק מהמחקרים חלה הפחתה נוספת במהירות לאורך הקטע המטופל. ההפחתה הגדולה ביותר (13 קמ"ש) הושגה בטיפול של פסי הרעדה. במחקרים בהם נבדקה יציבות ההשפעה של האמצעי לאורך זמן נמצאה בדרי"כ ירידה בעוצמת ההשפעה. הירידה היתה גדולה יותר בטיפולי פסי צבע מאשר טיפולי הרעדה. ראוי להדגיש כי רוב המחקרים דווחו על הפחתה במהירות הממוצעת ולא במהירות המאון ה-85 שחשיבותה הודגשה כבר קודם. במחקר בפסי צבע של TRRL (Denton 1973) דווח על הפחתה של 22 קמ"ש במהירות המאון ה-85 לעומת הפחתה של 15 קמ"ש במהירות הממוצעת. באף מחקר לא נמדדה המהירות של אותו כלי רכב במספר נקודות לאורך הטיפול, לפיכך לא ניתן ללמוד על דפוסי האטה של המכונית הבודדת ובאיזה שלב בהתקרבות לצומת הנהג מרשפע מהפסים. יש לשער שקיימים הבדלים בין אישיים גדולים במהירויות ההתחלתיות ובדפוס האטה, נהג עשוי לקבוע את קצב האטה בהתאם למהירות ההתחלתית ותוך תהליך האטה, הוא יכול לשנות את הקצב בהתאם למצבו הרגעי יחסית למקום קו העצירה ולתכנונו הראשוני. יתכן וקבוצות נהגים מושפעות באופן שונה ע"י הפסים ויתכן שדפוסי האטה ישקפו הגרליים אלו.

בלילה, מהירויות הנסיעה היו נמוכות מעט מאלו שביום. לפסים היתה השפעה ממתנת על מהירות הנסיעה אך במידה קטנה מאשר השפעתם ביום.

3.2.4.3 שינוי בפילוג המהירויות לאורך הקטע המטופל

פילוג המהירויות הושפע בעקבות טיפולי הפסים. בחלק מהמחקרים בפסי צבע מדווח על שיפור בהתפלגות מהירויות הנסיעה בגישה למקום התורפה. הפסים הביאו להקטנת השונות או קרבו את צורת ההתפלגות של המהירות להתפלגות נורמלית. ברוב הניסויים בפסי הרעדה לא נבדקה שונות מהירות הנסיעה. רק במיניסוטה (Owens, 1964) נבדקה השונות וחלה בה עליה בשעור 22%-5%. בליטות ההרעדה גרמו לגידול ניכר בפזר המהירות באתרים בהם היחס בין גובה לרוחב הבליטה היה גדול (מעל גובה של 12 מ"מ ומתחת לרוחב 60 ס"מ). בנפחי תנועה גדולים שונות גדולה במהירויות עלולה ליצור בעיות תנועה ובעיות בטיחות מיוחדות.

3.2.4.4 ציות לתמרור עצור ושימוש בבלמים

במחקרים במיניסוטה (Owens, 1964) ובאילינוי (Hoyt, 1968) דווח על גידול באחוז העוצרים עצירה מלאה בצומת עם תמרור עצור בעקבות התקנת משטחי הרעדה. אחוז העוצרים עלה מכ-45%-35% עד לכ-75%-65% מכלל הנהגים. לא נבדקה השפעתם של פסי צבע ובליטות הרעדה על ציות לתמרור עצור. שימוש בבלמים נבדק בשני מחקרים. בגישה למנהרה באנגליה (Sumner & Shippey, 1975) דווח כי הנהגים בלמו במרחק גדול יותר מהכניסה למנהרה לאחר התקנת פסי הרעדה. אחוז הנהגים שבלמו כבר אחרי הפס הראשון גדל במיוחד אצל נהגי המשאיות מכ-2% לכ-17% מכלל נהגי המשאיות ומכ-2% ל-10% מכלל נהגי המכוניות הפרטיות. בקנטקי (Agent, 1975) דווח על ירידה באחוז המשתמשים בבלמים בגישה לעקום חד לאחר התקנת פסי צבע מ-81% ל-68% מכלל הנהגים. במקרה זה, ההפחתה בשימוש בבלמים מעידה על מהירות גישה נמוכה ומתוכננת יותר.

4. ההיבטים ההנדסיים בביצוע הטיפולים

חקירת ההיבטים ההנדסיים בהתקנת פטי צבע, פטי הרעדה, ובליטות הרעדה נעשה בעיקר באתרים מעבדתיים וכן נלמד מנסיון מחקרי השדה. נבדקו חומרים שונים ונוסו התקנות בטכנולוגיות שונות של הדבקה. תכונות החומרים וצורת ההתקנה נבחנו משתי נקודות ראות: (א) השפעתם על הבטיחות והמהירות; (ב) חישובי עלות התקנה ואחזקה.

4.1 פטי צבע

במחקרים שנסקרו כאן השתמשו בשני סוגי פסים: (א) פטי פלסטיק צהובים מחזירי אור שהודבקו לפני המיסעה בעזרת דבק שנמצא על גבם. לקבלת הדבקה טובה ניקו היטב את פני המיסעה מתחתם ואח"כ מרחו במאיץ; (ב) פסים שנצבעו ע"י תרסיס צהוב מיוחד לסימון על פני כבישים. לקבלת אפקט החזרת אור בלילה פיזרו גולות זכוכית על גבי הצבע הטרי, הן גרמו גם לחיכוך טוב יותר על פני הפסים. השפעתם של שני סוגי הפסים על הבטיחות והמהירות היתה דומה. פטי הפלסטיק התבלו לאחר 5 שבועות בנפח תנועה של ADT 30,000 ופטי הצבע התבלו אחרי שנה בנפחי תנועה של ADT 1,000. נראה כי עלות ההתקנה והאחזקה של פסים צבועים זולה יותר. כדאי לציין שאת פטי הצבע קשה מאד למחוק לחלוטין.

4.2 פטי הרעדה

ברוב המחקרים התקינו פטי הרעדה ע"י הדבקת אגרגט קשה שגודלו המקסימלי 19 מ"מ (3/4") לפני המיסעה. השתמשו בשתי שיטות הדבקה: (א) הדבקה באמולסית אספלט RS-3K ברכוז 0.35 - 0.40 $\frac{\text{גלון}}{\text{יארד}^2}$; (ב) הדבקה בדבקי אפוקסי (epoxy). ההדבקה באפוקסי מאריכה יותר ימים אבל יקרה מאשר הדבקה באמולסית אספלט. חוסר אינפורמציה על מחירי התקנה והוצאות אחזקה אינו מאפשר לחשב את העלות הכוללת של כל שיטה. בכל אופן, סמוך לאזור עצירה בצומת מומלץ להשתמש בהדבקה באפוקסי כיוון שהדבקה באמולסית אספלט אינה מחזיקה מעמד במקום זה; האגרגטים המשתחררים גורמים לבעיה נוספת. ממחקרים באתרי ניסוי מעבדתיים, בהם חקרו השפעות של מידות שונות של פסים על קשב, מהירות ורעש בעזרת מכוניות ונהגי ניסוי ניתן להמליץ על רוחב של כ-60 ס"מ.

4.3. בליטות הרעדה

נבחנו מספר סוגים של בליטות הרעדה:

א. בליטות עשויות מחומר פלסטי קשיח הנקרא ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) בצבע צהוב. צורתן מלבן ועליו טרפז (ראה ציור 7א') גובהן במרכז 19 מ"מ ורוחבן 10 ס"מ. הן הודבקו לפני המיסעה בדבק אפוקסי.

ב. בליטות עשויות מחומר פלסטי גמיש (פוליוניל כלוריד) בצבע צהוב. צורתן טרפז שבו השפוע המתון בכוון לרכב המתקרב. גובהן 12 מ"מ ורוחבן כ-9 ס"מ (ראה ציור 7ב'). הן הודבקו לפני המיסעה בדבק אפוקסי.

ג. בליטות עשויות מקשה אחת של חומר קשה מבטון. צורתן טרפז שגובהו כ-12 מ"מ ורוחבו כ-7.6 ס"מ (ראה ציור 7ג'). הן הודבקו לפני מיסעה עשויה בטון בדבק אפוקסי.

ד. בליטות עשויות אספלט בדרוג פתוח המיוצרות באתר ומותקנות על פני שכבת אמולסית אספלט. צורתן טרפז או מלבן. גובהן בתחום 19 - 6 מ"מ ורוחבן 25 - 20 ס"מ (ראה ציור 7ד').

ה. בליטות עשויות חומר קשה. צורתן קשת לא סימטרית שבה השפוע המתון בכוון לרכב המתקרב. גובהן המכסימלי בתחום 152 - 13 מ"מ ורוחבן 3.66 - 0.05 מ' (ראה ציור 7ה').

על יסוד תוצאות בדיקת הבליטות בניסויי שדה ובניסויים באתרים מעבדתיים מומלץ להשתמש בבליטות מחומר גמיש ולא קשיח. גובה הבליטות לא יעלה על 12 מ"מ ולא יהיה פחות מ-6 מ"מ. רוחבן יהיה כ-10 ס"מ וצורתן תדמה לטרפז בעל שפוע מתון בכוון לרכב המתקרב. באזור עירוני כשמהירות הנסיעה הרצויה היא 50 - 40 קמ"ש, מתאימות גם בליטות קשתיות שגובהן המכסימלי 7.5 - 5 ס"מ ורוחבן כ-2.5 מ' (ראה ציור 7ה'). רצוי שצבע הבליטות ייצור קונטרסט חד עם צבע המיסעה.

בליטות עשויות מחומרים פלסטיים ו/או מודבקות בדבקים סינטטיים מתבלים לאט יותר מאשר אלו העשויות אגרגט המודבק בעזרת אספלט אם כי מחירן של האחרונות הוא כנראה הזול ביותר והן מיוצרות באתר.

בליטות הרעדה עשויות אגרגטים המודבקים בעזרת אספלט התבלו כעבור כשנתיים בנפחי תנועה נמוכים של כ-1,000 ADT, והרבה יותר מהר בנפחי תנועה גדולים ובקירבת קו העצירה. בליטות הרעדה מבטון המודבק בעזרת אפוקסי למיסעת בטון החזיקו למעלה משנתיים בנפחי תנועה של כ-10,000 ADT. בליטות הרעדה עשויות חומרים פלסטיים לא התבלו אלא נעקרו בחלקם ע"י מפלסות השלג שעברו על פניהם בחורף.

בגישה לפסים יש צורך להתקין שלטי אזהרה מיוחדים כדי להתריע לנהג על התקרבותו לטיפול מסויים בפני המיסעה, ולהורות על ההתנהגות המתאימה. ברוב המקרים גם ההיבט החוקי יחייב התקנת שלטי אזהרה.

5. המלצות למחקר

5.1 הגישה הכללית

התברר שכל המסקנות של הסקר הקודם על פסי צבע והרעדה, כפי שהובאו במבוא לדו"ח זה, הן עדיין רלוונטיות ותקפות גם בהתחשב במחקרים הנוספים שנכללו בדו"ח מעודכן זה.

התחושה המתקבלת היא כי לאמצעי הטיפול השונים בפני המיסעה יש כנראה השפעה חיובית על הפחתת תאונות שטיבתן הישירה היא מהירות מופרזת במקום התורפה, כמו כן, בדרי"כ היתה לאמצעים השפעה חיובית על מהירויות הנסיעה והציות לתמרורי עצור במקום התורפה. אולם, הניסויים שנערכו עד כה אינם מאפשרים להסיק האם אמצעי מסויים אפקטיבי יותר מאמצעי אחר בתנאים דומים, שכן ברוב המחקרים נבדק אמצעי אחד בלבד.

כדי להבין כיצד משפיעים האמצעים השונים על התנהגות הנהג בגישה למקום תורפה, כגון צומת, יש לנסות את האמצעים באתרים דומים ובתנאי תנועה דומים.

מדידת התגובה של אותם הנהגים לאורך קטע ארוך יחסית בגישה לצומת עשויה לספק אינפורמציה מרובה יותר על תהליך ההשפעה של האמצעי, על האופן שבו נהגים שונים מושפעים מהאמצעים, ועל האלמנטים הקריטיים בתכנון הגיאומטרי של אמצעי הפסים.

כדי להתגבר על הקושי הבסיסי באיסוף כמות נתונים מספקת להערכת ההשפעה של האמצעים על תאונות מוצע ליצור באתר הניסוי מצבי קדם-קונפליקט שיהיו דומים יותר למצבי התנועה שלפי הניתוח האנליטי המקובל, עלולים להסתיים בתאונה.

באתר של צומת כביש ראשי וכביש מישני מצב הקדם-קונפליקט הוא מצב שבו רכב בכביש המישני מתקרב לצומת ובאותו הזמן מתקרב לצומת גם רכב מהכביש הראשי, או שהולך רגל מנסה לחצות את הכביש באזור הצומת. כשלון האטה או עצירה של הנהג בכביש המישני, עלול להסתיים בתאונה.

כאשר אין מצב קדם-קונפליקט בצומת הרי אפילו התעלמות מוחלטת של הנהג בכביש המישני מהצורך להאיט או לעצור לא תסתיים בתאונה. בנפחי תנועה שאינם גבוהים במיוחד, חלק גדול מהחציות בצומת של הרכב בכביש המישני הן בתנאים שאינם קדם-קונפליקט לפי ההגדרה הני"ל.

העניין שלנו, לעומת זאת, הוא דווקא בהתנהגות של הנהגים הנקלעים למצב הקדם-קונפליקט ולפיכך מוצע ליצור מצבים כאלו באופן מבוקר. ההשערה ביסוד הגישה הזאת היא, שיתכן ונהגים לא יהיו מושפעים במיוחד מאמצעי הטיפול במיסעה כל עוד אינם חשים בהוצרותו של מצב קדם קונפליקט, אך כאשר הם חשים במצב זה, כוונות העצירה שלהם או יכולת השליטה שלהם ברכב הינה גדולה יותר כאשר היו חשופים לטיפול הפסים.

תופעה מסוג זה נמצאה במחקרים על השפעת תמרורי מהירות מומלצת (גוטמן, 1975). שם, במספר מחקרים לא היתה לתמרורים השפעה על מהירויות הנסיעה בעקומים האופקים אף כי חלה ירידה במספר התאונות. אחד ההסברים לתופעה זו היא שהתמרור הביא לגידול בקשב של הנהג והוא המשיך לנהוג במהירות הרצויה לו אך ביתר תשומת לב.

יתרון נוסף בגישה המתודולוגית המוצעת כאן הוא בחסכון באיסוף נתונים בעלי משמעות בטיחותית מיוחדת. כאשר יוצרים באופן מבוקר את מצב הקדם-קונפליקט הרצוי ניתן לאסוף ביעילות ובתנאים הרצויים את אותו מספר תצפיות הנחוץ לניתוח סטטיסטי משמעותי של השפעת משתני תנועה שונים על משתני ההתנהגות הנמדדים. לעומת זאת, אם הניתוח מבוסס על תצפיות של רכב מזדמן בלבד, עלול להתברר שמרבית התצפיות היו במצבים שאינם קדם-קונפליקט ובתצפיות הקדם-קונפליקט אין מספיק נתונים להרכבים המעניינים של תנאי תנועה ואיפיוני רכב שונים.

5.2. תכנית המחקר המוצעת

אתר הניסוי המוצע הוא בצומת של כביש ראשי עם כביש מישני שבו יש תמרור עצור, וגאומטריה הצומת לא מבהירה בצורה חד משמעית איזהו הכביש הראשי. בצומת זו שתי הגישות בכבישים המישניים יהיו דומות ברוחבן ובנפחי התנועה שבהן.

בגישה מישנית אחת לצומת יותקנו 39 פסי צבע לרוחב המיסעה לאורך של 270 מ' לפני קו העצירה. המרווחים בין הפסים יתכנסו לקראת הצומת. בגישה המישנית השניה יותקנו פסי הרעדה בתבנית גאומטרית דומה.

המהירות של כל מכונית תמדד ב-8 נקודות בגישה לצומת. מערכת המדידה מבוססת על סנסורים המודבקים על פני המיסעה. כשרכב עובר על פניהם מועבר פולס חשמלי המפעיל שרון דיגיטלי. הזמנים נרשמים על פני מסך טלביזיה יחד עם תמונת אתר הניסוי. מצלמת הטלביזיה מוסתרת בשולי הכביש וכל שאר המכשירים מוסתרים הרחק מהכביש. פענוח סרטי הטלביזיה נערך במעבדה. הדיוק של מערכת מדידה זו הוא כ-4.5% במהירויות של 90 קמ"ש.

מצב הקדם-קונפליקט יוגדר ע"י רכב שיחנה במרחק מסויים על שולי הכביש הראשי. נהג הרכב המתקרב בכביש המישני יזהה את הרכב על הכביש הראשי במרחק כזה מהצומת שהיה מחייב אותו להאיט או לעצור אם הרכב המבוקר בכביש הראשי היה נוסע.

המהירויות ימדדו בשני מצבים - מצב רגיל ומצב קדם-קונפליקט.

תחילת המהירויות ימדדו לפני התקנת הפסים בשני המצבים. אח"כ יותקנו פסי הצבע ופסי ההרעדה בתאום ועזרת מע"צ (או הרשות האחראית). המהירויות בשני המצבים ימדדו שוב כמו כן ירשמו אפיוני הרכב ואפיוני הנהג והתנהגותו בקו העצירה.

בנתוח הנתונים יבחנו וינתחו:

(1) הבדלים בהתנהגות הנהג במעבר על פסי הצבע לעומת המעבר על פסי ההרעדה.

(2) הבדלים בהתנהגות הנהג במצב הקדם-קונפליקט לעומת המצב הרגיל.

(3) הבדלים בין נהגים במהירויות גישה ובדפוסי האטה.

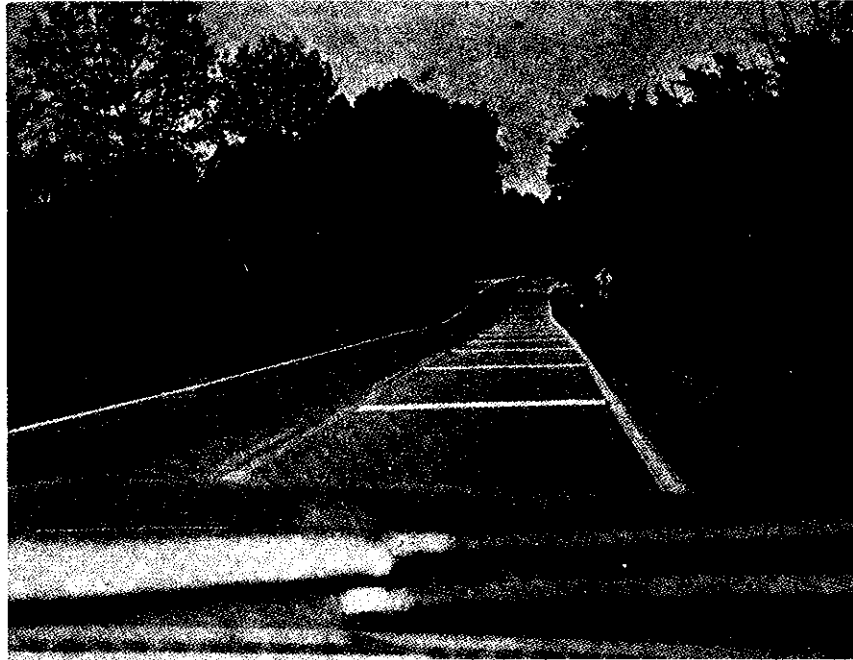
כמו כן יפותחו מדדים שונים לתאור דפוסי האטה, כדי להבין באיזה שלב התקרבות לצומת הנהג מושפע מהפסים.

REFERENCES

1. Agent, K.R., "Transverse, Pavement Markings for Speed Control & Accident Reduction". Division of Research, Kentucky Bureau of Highways, September, 1975.
2. Allen, C.D., Turtwrici, A.R., "A study of Speed Bumps", Dept. of Works for the City of San Jose, California, Transportation Division, October, 1975.
3. Bellis, W.R., "Development of an Effective Rumble Strip Pattern", Traffic Engineering, April, 1969.
4. Brown, P.J., "Surface Irregularity as a Means of Reducing Vehicle Speed". Warrington New Town Development Corporation, Surveyor 6, October, 1972.
5. Capelli, J.T., "Audible Roadway Delineators". Engineering Research & Development Bureau, New York State Department of Transportation, Research Report 14, May, 1973.
6. Denton, G.G., "The Influence of Visual Pattern on Perceived Speed at Newbridge M8 Midlothian". TRRL LR-531, Berkshire, U.K. 1973.
7. Enustun, N., "Three Experiments with Transverse Pavement Stripes and Rumble Bars". Traffic & Safety Division, Michigan Department of State Highways & Transportation, STD-RD-216-72, October, 1972.
8. Franke, K.A., "Evaluation of Rumble Strips". Virginia Highway & Transportation Research Council, November, 1974.
9. גוטמן לילי, יעילות השילוט להדרכת מהירות הנסיעה בעקום אופקי, המרכז לבטיחות בדרכים, הטכניון חיפה, 1975.
10. Hoyt, D.W., "In Further Support of Rumble Strips". Traffic Engineering, November, 1968.
11. Jones, M.L., "Rumble Strip Experiments on a Freeway Ramp". Public Works for April, 1967.
12. Kermit, M.L., "Rumble Strips Revisited". Traffic Engineering, February, 1968.
13. Marconi, W., "Speed Control Measures in Residential Areas". Traffic Engineering, March, 1977.
14. Owens, R.D., "Effect of Rumble Strips at Rural Stop Locations on Traffic Operation". Minnesota Department of Highways, H.R.R. 170, 1967.

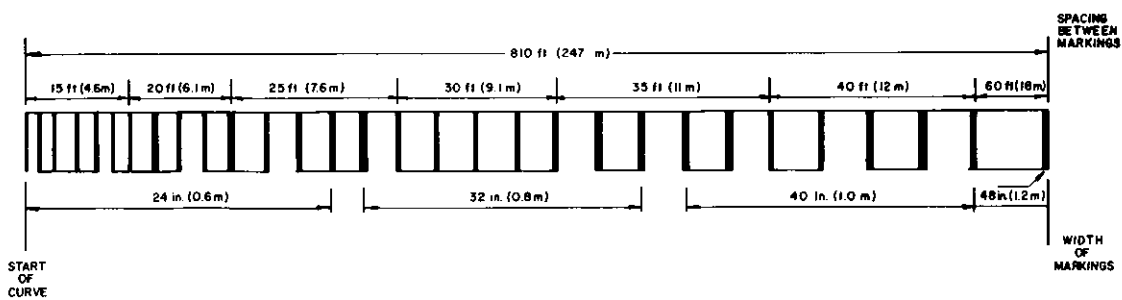
REFERENCES Cont'd.

15. Petterson, H.E., "Rumble Strips Geometric Design and Behavioural Effects". National Swedish Road & Traffic Research Institute, Report No. 80, 1976.
16. Sumner, R.L. & Shippey, J., "The Effects of Rumble Strips at the Dartford Tunnel". TRRL 169UC, Berkshire, U.K. 1975.
17. Watts, G.R., "Road Humps for the Control of Vehicle Speeds". TRRL LR-597, Berkshire, U.K. 1973.
18. זיידל ד., גוטמן לילי, השפעת סימוני דרך על הפחתת מהירות הנסיעה והתאונות במקומות תורפה, המרכז לבטיחות בדרכים, הטכניון חיפה, 1975.



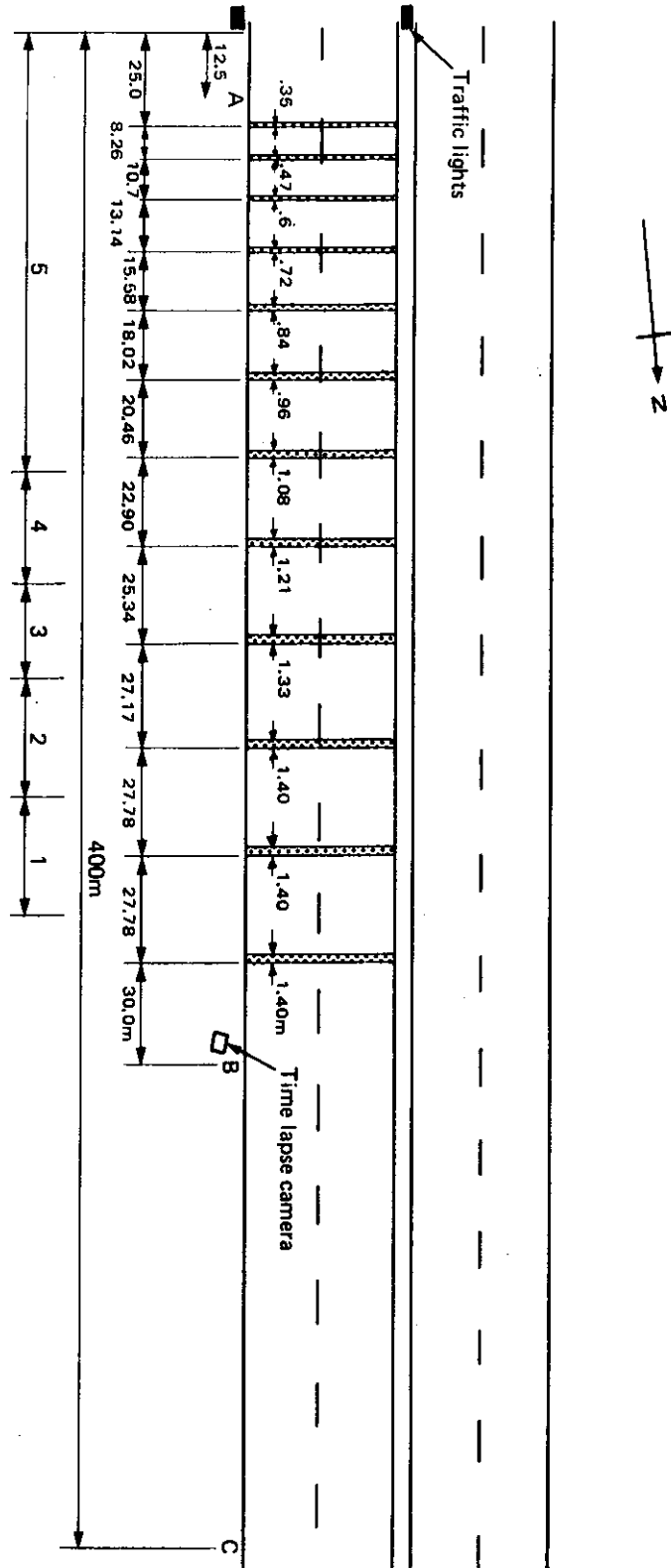
ציור 1: תצלום פסי צבע מגובה עיני נהג בגישה לעקום חד (מתוך Agent, 1975).

Fig. 1: Driver's eye view of transverse markings.

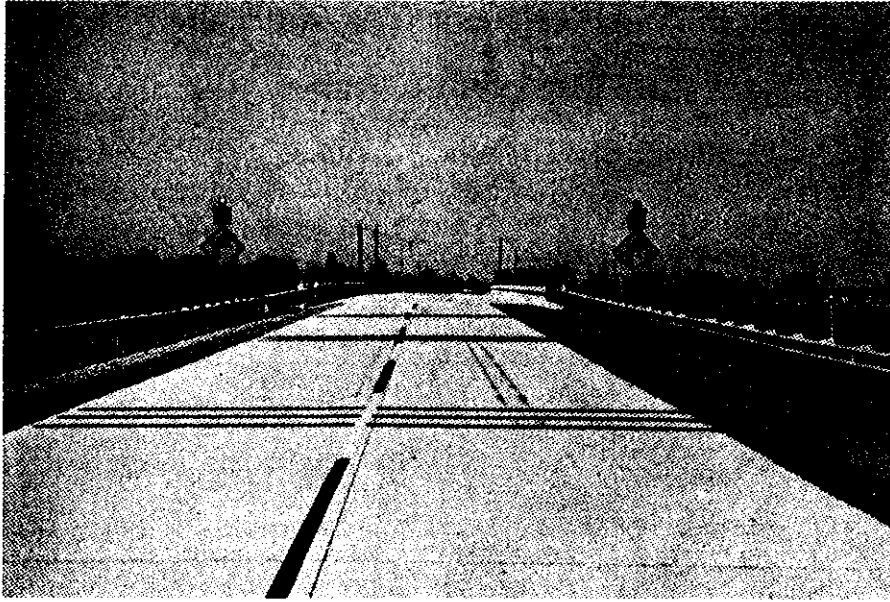


ציור 2: תבנית גאומטרית של פסי צבע (מתוך Agent, 1975).

Fig. 2: Layout of transverse markings.

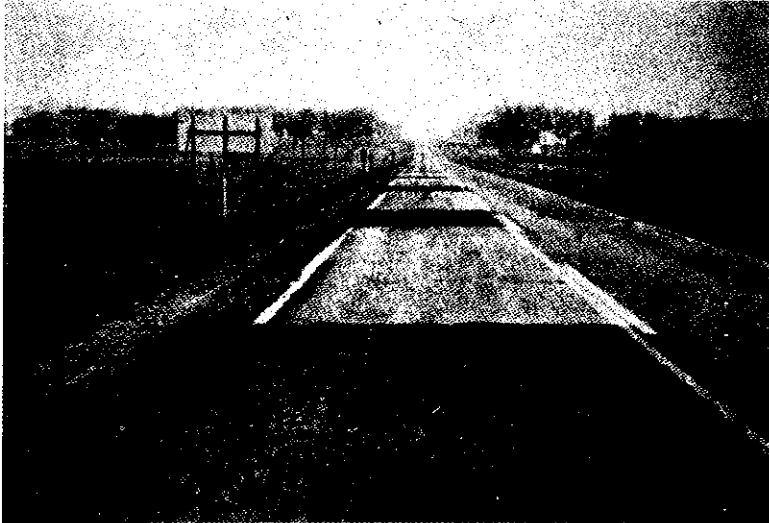


ציור 3: תכנית גאומטרית של פסי הרעדה (ממון Shippey, 1975).
 Fig. 3: Layout of rumble strips.



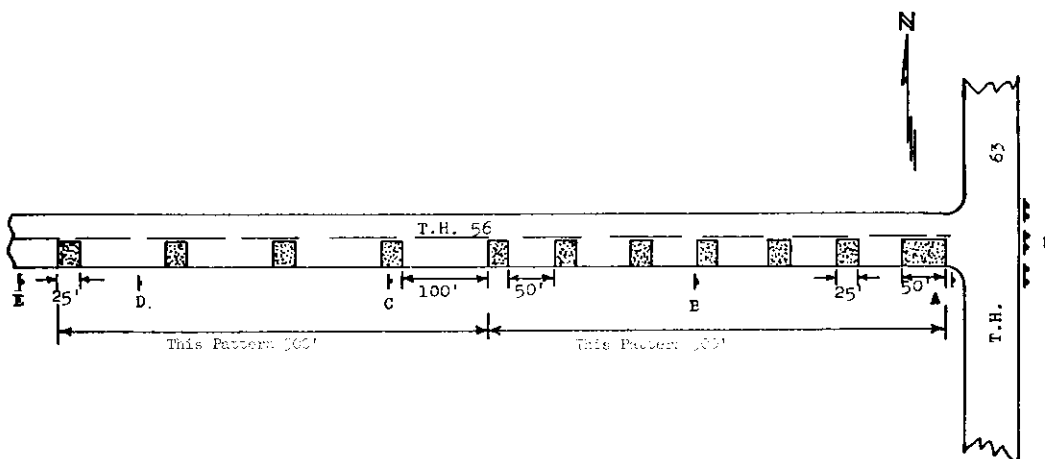
ציר 4: מראה בליטות הרעדה מגובה עיני נהג (מתוך Enustun, 1972).

Fig 4: Driver's eye view of rumble bars.



ציור 5: מראה משטחי הרעדה מגובה עיני נהג (מתוך Owens, 1964).

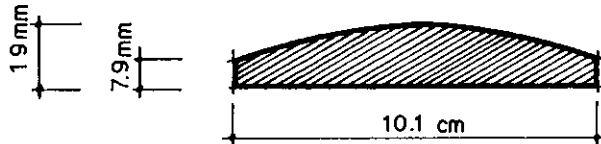
Fig. 5: Driver's eye view of rumble areas.



ציור 6: תבנית גאומטרית של משטחי הרעדה (מתוך Owens, 1964).

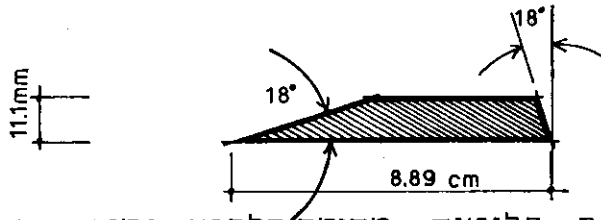
Fig. 6: Typical rumble area installation.

כיוון התנועה
→



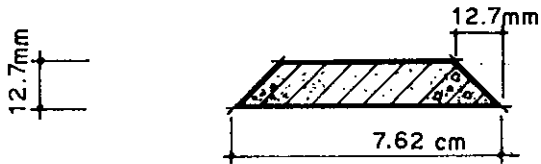
(א) בליטות מחומר פלסטי קשיח (מתוך Emustum, 1975)

כיוון התנועה
→



(ב) בליטות מחומר פלסטי גמיש (מתוך Emustum, 1975)

כיוון התנועה
→



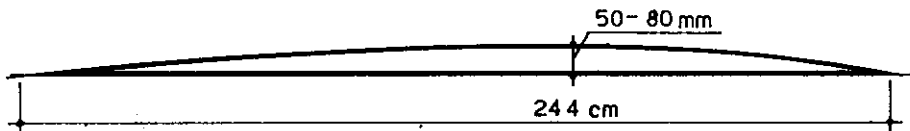
(ג) בליטות מבטון (מתוך Bellis, 1969)

כיוון התנועה
→



(ד) בליטות מאספלט בדרג פתוח (מתוך Brown, 1975)

כיוון התנועה
→



(ה) בליטות מחומר קשה (מתוך Watts, 1973)

צור 7: חתכים של בליטות הרעדה

Fig. 7: Cross-sections of Rumble Bars

PAIN T STRIPES, RUMBLE STRIPS AND RUMBLE BARS AS A MEANS TO CONTROL
SPEEDS AND TO REDUCE TRAFFIC ACCIDENTS AT CRITICAL LOCATIONS :

PART II : LITERATURE REVIEW & RESEARCH PROPOSAL

by

DAVID

ZAI DEL

&

RACHEL (BEN ZVI) BARKAN

Publication No. 77-9

Project No. 74/102

August, 1977

PAIN T STRIPES, RUMBLE STRIPS AND RUMBLE BARS AS A MEANS TO CONTROL
SPEEDS AND TO REDUCE TRAFFIC ACCIDENTS AT CRITICAL LOCATIONS :
PART II : LITERATURE REVIEW AND RESEARCH PROPOSAL

A B S T R A C T

Part of the traffic accidents at rural intersections can be attributed to drivers approaching the intersection from the secondary road, and who do not slow down sufficiently to allow a safe yielding or stopping action.

In recent years, several studies attempted to demonstrate the positive effects of various road surface treatments on accidents and on approach speeds at critical locations, such as rural intersections. The treatments include paint stripes, rumble strips and rumble bars. These are designed mainly to increase drivers' attention, and alert them to the fact that they are approaching a critical location. Rumble strips and rumble bars are also supposed to induce drivers to slow down because of increasing and unpleasant noise and vibrations.

This paper reviews research reports in this field. Several selected recent reports are summarized individually. All field studies are also presented in a convenient comparison table, which includes four major characteristics :

- a. The objective of the road treatment
- b. The detailed geometric pattern of the treatment
- c. The methodology of the field experiment
- d. The effect of the treatment on accidents, speeds, traffic sign observance or brake usage

The analysis and comparison of the field studies resulted in a number of empirical generalizations and practical implications regarding each of the above characteristics.

It appears that various surface treatments could have a positive effect on reducing accidents which are directly linked to excessive speed at the critical location. Furthermore, the treatments can be generally expected to have a positive effect on reducing vehicle speeds, and on observance of stop signs.

However, on the basis of field studies published so far, it is not possible to conclude whether one type of treatment is more effective than another under similar conditions. Also, there are not sufficient data to establish criteria for optimal engineering design of each treatment.

The review contains a separate section dealing with the materials for paint stripes, rumble strips and rumble bars, their application and other operational problems.

The report concludes with a proposed field experiment which is designed to answer some of the questions raised in the review and analysis of previous research.