



הנחיות לבחירה והשמה של חומרים תקניים לסימון דרכים

מהדורה שנייה

חשון תשפ"א - אוקטובר 2020

הוועדה הבין-משרדית לבחינת התקני תנועה ובטיחות

במינוי המנהל הכללי של משרד התחבורה

הנחיות לבחירה והשמה של חומרים תקינים לסימון דרכים

הכינו: ד"ר קרולין מטר וד"ר רפאל ירון

בליווי של הוועדה הבין-משרדית לבחינת התקני תנועה ובטיחות, במינוי מנכ"ל משרד התחבורה

והבטיחות בדרכים.

הרכב הוועדה

- אינג' אלה פונאמרוב
- אינג' חן כהן
- אינג' מאריה כהן אתגר
- אינג' שמעון נסיכי, אינג' גליה אדלסון
- אינג' יהודה אריה ז"ל
- אינג' אריק פולונסקי
- אינג' דני ירס, אינג' אלכס ויאזמנסקי (מ"מ)
- אינג' נועם יהלום
- אינג' רביבה אנוקוב
- מר זאב גולדנברג
- אינג' מיכל שמעון
- אינג' פרנצ'סקה לביא, מיטל בלולו (מ"מ)
- רפ"ק אינג' שלמה לוז, אנטולי מדניקוב (מ"מ)
- אינג' גיא שכטר
- אינג' ולד זסלבסקי
- אינג' נאיף נגים
- אינג' רחלי בורד-עדן
- אינג' סהר מזרחי
- פרופ' שלום הקרט, ד"ר בני פרישר, ד"ר ויקטוריה גיטלמן, אינג' אדי קוטרש
- אינג' יובל בלום, ד"ר קרולין מטר, ד"ר דן לינק, אינג' ישעיהו רונן
- מנהלת תחום בכיר (התקני תנועה ובטיחות), יו"ר ומנהלת הוועדה
- מנהלת אגף הנדסת תנועה, מ"מ יו"ר הוועדה
- מהנדסת ראשית, נציגת הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים
- חב' נתיבי ישראל
- איגוד המהנדסים לבנייה ותשתיות
- חב' "יפה נוף", עיריית חיפה
- חב' "כביש חוצה ישראל"
- חב' "דרך ארץ" בע"מ
- חב' "נתיבי היובל" בע"מ
- עיריית ירושלים
- עיריית ת"א
- חב' "נתיבי איילון"
- משטרת ישראל
- רכבת ישראל
- עיריית חיפה
- חב' "נתיבי הצפון"
- משרד הביטחון
- נציגת הנתיב המהיר בכביש מס' 1, חוצה ישראל צפון בכביש מס' 6 וכביש 16 בכניסה לירושלים
- יועצים מדעיים לוועדה



א' בחשוון תשפ"א
19 באוקטובר 2020
סימוכין: 4000-0607-2020-0001275

הנחיות לבחירה והשמה של חומרים תקינים לסימון דרכים

הועדה הבין-משרדית לבחינה ואישור התקני תנועה ובטיחות, נרתמה להכנת הנחיות אלה, במגמה להביא להצלחת המהלך של הרוויזיה בתקינה ויישום של חומרי סימון תקינים ברשת הדרכים בישראל.

רוויזיה זו קודמה ביזמה ומימון של משרד התחבורה לצורך שדרוג כל הנושא של אופן הסימון על פני רשת הדרכים בישראל בהיבטים של תקינה, איכות החומרים, משך הקיים שלהם ומאפייני הבטיחות הנגזרים מכך.

בתוך כך עברה התקינה הישראלית בתחום חומרי סימון תהליך של עדכון משמעותי בהתאמת התקינה לתקינה האירופאית ולצרכי התנועה, תוך שימוש במיטב החומרים שהטכנולוגיה מציעה. התקינה החדשה לחומרים לסימון דרכים נכנסה לתוקף (לאחר תקופת מעבר של 18 חודש) בסוף יולי 2014.

מטרת ההנחיות הינה לקבוע קווים ליישום חומרי סימון במדינת ישראל. מסמך הנחיות זה בא לתת בידם של מקבלי ההחלטות, ברשויות התמרור המקומיות, כלי עזר יעיל ופשוט לבחירה והשמה של חומרי סימון.

ההנחיות כוללות את דרישות התפקוד של חומרי הסימון בהתאם למכלול תנאים משתנים, גיאומטריים, תנועתיים, אקלימיים, גאוגרפיים ופיזיים ועוסקות בבחירת **סוגי חומרי הסימון** המתאימים ליישום, כל אחד במקומו, בהתאם לסוג הדרך. כמו כן, בהמשך מעקב והתנהלות לאורך זמן על מנת להבטיח תפקוד איכותי ובטיחותי של הסימונים בכל עת.

במהדורה זו עודכנו פרטים שונים ביחס לאופן היישום של חומרי הסימון **בכתום** – כנגזרת מהנסיון שהצטבר מאז פורסם המסמך לראשונה בנובמבר 2014.

יעקב בליטשטיין
המפקח הארצי על התעבורה



1

רח' בנק ישראל 5, בניין ג'נרי (A), ת"ד 867, ירושלים

תוכן עניינים

6.....	מבוא	1
6.....	1.1 כללי	
7.....	1.2 מטרת ההנחיות	
7.....	1.3 מונחים והגדרות	
9.....	1.4 בטיחות	
11.....	2 תכונות של סימונים על פני הדרך	
11.....	2.1 נראות הסימון	
11.....	2.2 גוון הסימון	
12.....	2.3 מירקם (טקסטורה) ועובי	
12.....	2.4 התנגדות להחלקה	
13.....	2.5 תוחלת חיים של הסימון	
13.....	2.6 חומרים מסוכנים בתוך חומרי סימון	
14.....	3 סוגים של חומרי סימון	
14.....	3.1 כללי	
14.....	3.2 חומרי סימון בעלי תוחלת חיים קצרה	
14.....	3.3 חומרי סימון בעלי תוחלת חיים ארוכה	
16.....	3.4 תוספים לחומרי סימון	
18.....	4 גורמי השפעה על תפקוד חומרי סימון	
18.....	4.1 תכונות פני המיסעה והשכבה העליונה	
18.....	4.2 השפעת התנועה ומיקום הסימון בחתך הדרך על משך התפקוד	
19.....	4.3 השפעת תנאי סביבה ואקלים על חומר סימון	
22.....	5 בחירה והשמה של חומרי סימון	
22.....	5.1 שיקולים כלליים בבחירת חומרי סימון	
22.....	5.2 דרישות סף ורמות תפקוד	
25.....	5.3 התאמת רמות התפקוד לתנאי הדרך	
30.....	5.4 דרישות כלליות ליישום חומרי הסימון	
33.....	6 אחזקה וחיידוש	
33.....	6.1 כללי	
33.....	6.2 אחזקת הסימון	
37.....	7 הסרה והסתרה של סימון קיים	
37.....	7.1 כללי	
37.....	7.2 שיטות ההסרה וההסתרה	
38.....	7.3 מגבלות הנוגעות לשיטות ההסרה והסתרה	
40.....	8 מראי מקום	

נספחים

נספח א - סקירה ספרותית

- א.1 קריטריונים והמלצות הנהוגים בעולם באשר לבחירת סוג חומר הסימון
- א.2 רמות סף נדרשות במדינות שונות בנוגע לתפקוד חומרי הסימון

נספח ב - חישוב נקודת הטל

נספח ג- שיטות המעקב אחרי רמות התפקוד של הסימונים.

נספח ד- דוגמא לתהליך ביצוע מעקב לאחר תפקודם של חומרי סימון.

נספח ה - דוגמא לתהליך בחירה ראשונית של סוג חומר הסימון.

נספח ו – פירוט השינויים בהנחיות במהדורה השנייה לעומת ההנחיות במהדורה הקודמת (2014).

חלק א: מבוא

1 מבוא

1.1 כללי

תמרורי סימון על פני הדרך הינם אחד האמצעים במערכת הסדרי התנועה של רשת הדרכים וחלק בלוח התמרורים התקף. הם נועדו להעברת מסרים שונים למשתמשים בדרך. משמעות הסימונים נוגעת לכלל המשתמשים בדרך, לרבות נהגים והולכי רגל וחשיבותם גדולה בהבטחת זרימת תנועה בטוחה בדרך.

תמרורי סימון נקבעים בצורתם, גונם, מידותיהם, ואופן יישומם בחלק 8 לוח התמרורים שמתעדכן מפעם לפעם בפרסומים בקובץ התקנות של "רשומות".

הדרישות והתנאים לתמרורי דרך נקבעו בסעיף 3 של הודעת התעבורה (קביעת תמרורים), התשע"א – 2010: "תמרור, למעט תמרור סימון על פני הדרך, יהיה כמפורט בלוח התמרורים ובהתאם לת"י 2247 ותמרור סימון על פני הדרך יהיה כמפורט בלוח התמרורים ובהתאם לת"י 1423, ת"י 1790, ת"י 1871 או ת"י 7962, כולם כתוקפם מזמן לזמן לפי חוק התקנים, התשי"ג-1953; התקנים האמורים מצויים לעיון הציבור במשרד התחבורה והבטיחות בדרכים ובמכון התקנים הישראלי."

התקינה הישראלית החדשה מאמצת את הצעת התקינה האירופאית העדכנית ביותר בתחום של חומרי סימון ומבטלת את התקינה הישראלית הישנה שעסקה בבחינת חומרים "בדלי". התקינה החדשה מאפשרת הערכה מוקדמת של התפקוד של חומרי הסימון לאורך תקופת חיי השירות שלהם. נושא זה לא התאפשר בתקינה הישנה.

ההנחיות נועדו להסדיר את בחירת החומרים לסימון דרכים להשמה לפי סוגי הדרכים על פי סיווגם בבדיקות התאמה לתקן ולהשלים את הנושאים אשר התקינה החדשה אינה מכסה, כגון נושא אחזקה וחיודוש של חומרי סימון ונושא העלמה של חומרי סימון קיימים.

ההנחיות המוצעות כוללות את החלקים הבאים:

א. חלק א- מבוא: חלק זה מפרט את מטרת ההנחיות והצורך בהכנתן. כמו כן חלק זה מדגיש את חשיבות הסימונים והשפעתם על בטיחות משתמשי הדרך.

ב. חלק ב- סוגים, תכונות וגורמי השפעה: חלק זה מתייחס לתכונות הסימונים (לרבות בהיבט התפקודי), סוגים שונים של חומרי סימון וגורמים אשר משפיעים על תפקוד חומר הסימון לאורך זמן. גורמי ההשפעה הכוללים השפעת תנאי אקלים, אלמנטים תנועתיים, גיאומטריים, מיקום חומר הסימון בחתך הדרך ועוד.

ג. חלק ג- בחירה, השמה אחזקה והעלמה: חלק זה של ההנחיות מתייחס לנושא בחירת סוגי חומרי סימון בהתאם לתנאי הדרך, דרישות לאופן יישומם ואחזקתם לאורך זמן. בנוסף חלק זה מתייחס להעלמת סימון קיים על ידי הסרתו בטכנולוגיות שונות או לחילופין הסרתו על ידי חומרים שחורים המיועדים לכך.

ד. נספחים: כוללים נושאים שונים הרלוונטיים למסמך ההנחיות, ונועדו לאותם גורמים המבקשים פירוט או העמקה בתחומים ספציפיים:

- נספח א מתייחס לסקירה ספרותית מקוצרת הנוגעת לבחירת סוגי חומרי סימון ולקביעת רמות תפקוד נדרשות מחומרי הסימון לאורך זמן.
- נספח ב מציג את אופן חישוב נקודת הטל הנדרשת בעת יישום חומר הסימון (לרבות צבעים).
- נספח ג מציג את שיטות המעקב לרמות התפקוד של הסימונים.
- נספח ד מפרט דוגמא לתהליך הנדרש ברשויות הדרך לביצוע מעקב לתפקודם של חומרי הסימון.
- נספח ה - דוגמא לתהליך בחירה ראשונית של סוג חומר הסימון.
- נספח ו – פירוט השינויים בהנחיות במהדורה השנייה לעומת ההנחיות במהדורה הקודמת (2014).

1.2 מטרת ההנחיות

מטרת ההנחיות הינה לקבוע כללים ליישום חומרים לסימון דרכים על ידי רשויות תימרוור מקומיות. במטרה להתאים את החומר לסוג הדרך ולשמור על תפקודם לאורך זמן. הנחיות אלה כוללות את דרישות התפקוד של חומרי הסימון בהתאם לתנאים משתנים, גיאומטריים, תנועתיים, אקלימיים, גאוגרפיים ופיזיים.

ההנחיות אמורות לסייע לרשויות התימרוור השונות להתמצא ולהחליט רצינאלית לגבי בחירת סוגי חומרי הסימון המתאימים ליישום בהתאם לסוג הדרך ולאחר מכן את אופן ההתנהלות לאורך זמן, על מנת להבטיח תפקוד נאות של הסימונים בכל עת.

1.3 מונחים והגדרות

1. **סימון על פני הדרך** – תמרוור סימון על הדרך כהגדרתו בהודעת התעבורה (קביעת תמרוורים), התשע"א – 2010.

תוחלת חיים של הסימון (Durability): משך הזמן שבו הסימון עומד בדרישות התפקוד המוגדרות (מונח זה מוכר גם כ"קיים", "תקופת שירות").

חומרי סימון בעלי תוחלת חיים קצרה: הם חומרי סימון אשר משך התפקוד המוערך שלהם נע בין 3-12 חודשים.

חומרי סימון בעלי תוחלת חיים ארוכה: הם חומרי סימון אשר משך התפקוד המוערך שלהם נע בין 5-1 שנים ואף יותר.

מקדם נראות יום (Qd): מבטא את החזר האור הדיפוזי (לכל הכיוונים) המתקבל מהסימון ומגיע לעיני הנהג, כפונקציה של עוצמת ההארה על הסימון.

$$Q_d = L / E$$

כאשר:

L- בהיקות המשטח המואר מכל הכיוונים mcd/m^2

E- עוצמת ההארה בפני מישור המואר.

מקדם הבהיקות (Luminance Factor): היחס המבוטא באחוזים בין הבהיקות של משטח מחזיר אור בכיוון נתון לבין הבהיקות של משטח מפזר לבן אידיאלי הנבחן באותו כיוון ומואר באותו אופן.

מקדם נראות לילה (RL): מבטאת את החזר אלומת האור המגיעה מפנסי הרכב, פוגעת בסימון על פני הדרך ומוחזרת לעיני הנהג.

$$RL = L/E$$

כאשר:

L- בהיקות המשטח המואר במקור אור יחיד המופעל בזווית קטנה יחסית לכיוון מדידת הבהיקות.

E- עוצמת ההארה בפני מישור המואר.

חומרי סימון תרמופלסטיים (Thermoplastic): חומרי סימון המיושמים במצב חם על פני השטח. עקרון היישום מתבסס על חימום המרכיבים לטמפרטורה גבוהה מאד (בסביבות 200 מעלות צלסיוס ובהתאם להנחיות היצרן). תהליך החימום גורם להתרככות החומרים הרלוונטיים, ההופכים לנוזל צמיג ומאפשרים את היישום על פני השטח. לאחר גמר היישום מתקשים החומרים תוך ירידת הטמפרטורה שלהם והם מתחילים לשמש בתפקידם כחומרי סימון.

חומרי סימון פלסטיים קרים (Cold Plastic): חומרי סימון המיושמים במצב קר. העיקרון המשמש ליישום מתבסס על ערבוב מספר מרכיבים (בדרך כלל נוזליים) לקראת מועד הפיזור על פני השטח. מרכיבים אלו גורמים להתרחשות תגובה כימית שבעקבותיה מתקשים החומרים על פני השטח ומתחילים לשמש בתפקידם כחומרי סימון.

יריעות: חומרי סימון המיוצרים בתהליך תעשייתי מבוקר בצורה של יריעות, או פסים. יריעות תעשייתיות יכולות להיות הן תרמופלסטיות (במקרה זה היישום נעשה על ידי חימום בשטח של היריעות המוכנות) והן יריעות פלסטיות מוכנות שיישומן מבוצע על ידי הדבקה אל פני השטח.

כדוריות זכוכית (Glass Beads): חלקיקי זכוכית שקופים ועגולים, המקנים בשעות החשיכה נראות משופרת לסימונים על פני הדרך, כאשר קרני-אור של פנסי-רכב פוגעים בסימונים אלה ומוחזרים לעיני נהג הרכב.

חומרים שמשפרים התנגדות להחלקה של חומר הסימון (Antiskid Aggregates): חומרים (אגרגטים בגדלים שונים) אשר מגדילים את מקדם החיכוך ומשפרים את התנגדותו של חומר הסימון להחלקה. חומרים אלו מכונים בד"כ חומרים מונעי החלקה.

הסרה של הסימון: הורדה פיזית של חומר הסימון או היריעה.

הסתרה של סימון קיים: כיסוי סימון קיים בחומר הסתרה המיועד לכך.

חומרים להסתרת סימון קיים: חומרים המיועדים להסתרת סימון קיים על פני הדרך. חומרים אלה יכולים להיות צבע או יריעה בגוון שחור.

1.4 בטיחות

תפקידם העיקרי של הסימונים הינו להעביר מסרים שונים למשתמשים בדרך באשר לאופן ההתנהלות הנדרש ברשת הדרכים. מאחר שחלק מהסימונים אמורים להשפיע באופן בולט על קבלת החלטות של המשתמשים, תוך כדי תנועתם בדרך, הרי שלמידת הנראות והבולטות של הסימונים יש השפעה גם על הבטיחות של התנועה. החשיבות התפקודית והבטיחותית של סימונים על פני הדרך באה לידי ביטוי בעיקר בתנאים של מזג אוויר קשה ובתנאי חושך.

לצורך קביעת רמות תפקוד של החומרים לשימושים שונים, ניתן להבדיל בין סימון חניה ואבני שפה ולבין יתר הסימונים:

▪ **סימון תחנות, חניה ואבני שפה** – סימונים שהתגובה לנוכחותם אינה נעשית בדרך כלל תוך כדי תנועה מהירה וכן שהאבחנה בהם אינה דורשת תגובה מיידית של הנהג תוך תנועה. במסגרת סימונים אלו נכללים סימונים של חניות, סימונים מיוחדים המבוצעים על אבני שפה לצורך מסירת מידע בנוגע לאסורי או הגבלת חנייה, סימון מפרצים לאוטובוסים ועוד.

▪ **סימון קצוות הכביש, נתיבים, קוו עצירה, מעברי חציה, חצים וכו'** – בסוג זה של סימונים נכללים אותם סימונים הכוללים מסרים בעלי חשיבות מיידית למשתמש בדרך. מדובר בסימונים על פני הדרך אותם צריך הנהג לזהות במהירות, בדרך כלל תוך כדי תנועה, ולקבל החלטות מתאימות בקשר להמשך תנועתו בדרך. סוג זה של סימונים הינו בעל חשיבות הגדולה ביותר, הן בהיבט של הבטחת זרימה נאותה של התנועה והן בהיבט הבטיחותי. סימונים אלו מחולקים לשני סוגים עיקריים:

▪ **סימונים אורכיים** (קווי הפרדה בין שני כיווני תנועה, קו הפרדה בין נתיבים, קו גבול וכו'). - סוג זה של סימונים מיושם ככלל לאורך כל כבישי הרשת, בשינויים המתאימים, על פי סוג הכביש. מרבית היקפי היישום של הסימונים ברשות בינעירונית מורכב מסוג זה של סימונים. היקף השחיקה של סוג זה של סימונים על ידי התנועה החולפת הינו נמוך יחסית, עקב העובדה שמרבית כלי הרכב אינם עוברים ביניהם ולא באופן ישיר על הסימונים עצמם.

▪ **סימונים רוחביים** (פסי עצירה, חצי הכוונה, מעברי חציה ועוד) – סוג זה של סימונים על פני הדרך מיושם בדרך כלל באזורי צמתים ומחלפים. באזורים עירוניים מהווים הסימונים הרוחביים חלק גדול מאד מכלל הסימונים, כתוצאה מהצפיפות הגדולה יחסית של צמתים. היקפי השחיקה של הסימונים הרוחביים גדול במיוחד, כתוצאה מתנועה אינטנסיבית של כלי הרכב על פני הסימון, לרבות פעולות האטה והאצה המתבצעות בעיקר בצמתים.

רמות לא מספיקות של נראות הסימונים בעלי המשמעות הבטיחותית המיידית, עלולה לגרום למשתמשים בדרך לקבל החלטות שגויות תוך תנועה בדרך, החלטות המגבירות את הסיכון להתרחשות תאונות. דוגמאות לאמור הינם מעברי חציה או קווי גבול בעלי נראות מוגבלת ועוד.

בנוסף, קיימים מקרים שבהם לאותם סימונים יש חשיבות בטיחותית גדולה עוד יותר. אלו אותם המקרים שבהם לסימונים מסוימים אין "גיבוי" נוסף המחזק את המסר המועבר על ידם. החשיבות הבטיחותית של סימון גבול פחות קריטית כאשר קיימים עמודי הכוונה בשולי הדרך. כך הדבר בנוגע לחיצי סימון בצומת מרומזר, כאשר קיים רמזור נפרד מעל לכל נתיב. לעומת זאת, כאשר הסימון מהווה אמצעי יחיד להעברת המסר לנהג, עלול חסרונו לגרום לירידה משמעותית במצב הבטיחותי בדרך.

במהלך 40 השנים האחרונות נערכו בעולם מחקרים רבים הנוגעים לבחינת האפקט הבטיחותי של הסימונים. המחקרים התייחסו לחשיבות היישום של הסימונים בכלל, ונתנו דגש הנוגע להשוואה בין סוגים מסוימים של סימונים.

חלק ב: סוגים, תכונות, וגורמי השפעה

2 תכונות של סימונים על פני הדרך

תכונותיהם העיקריות של הסימונים הן: נראות הסימון על כלל מרכיביה, התנגדות להחלקה, גוון, טקסטורה של הסימון, קיים ועובי הסימון.

2.1 נראות הסימון

הנראות של הסימון הינה התכונה החשובה ביותר בהקשר של סימון על פני הדרך. ללא נראות נאותה, הסימון אינו ממלא את תפקידו בהעברת מסרים למשתמשי הדרך. הערכת הנראות נעשית תוך התייחסות לשני מצבים עיקריים, נראות הסימון בתנאי יום ונראותו בתנאי לילה.

2.1.1 נראות יום

נראות יום מתייחסת לנראות של הסימון במהלך שעות היום וכן היא רלוונטית לקטעי דרך שבהם קיימת ומופעלת תאורת דרך במהלך שעות החשיכה.

במשך שעות היום (וכן בתנאים של קיום תאורת דרך) מוטלת קרינה אורית סביבתית על הסימון, קרינה המוחזרת בצורה דיפוזית (לכל הכיוונים). חלק מהאור המוחזר מגיע לעיניו של הנהג וגורם לו לזהות ולראות את הסימון.

המונח של נראות היום מיוצג על ידי שני פרמטרים אפשריים: מקדם נראות היום (Qd) ומקדם הבהיקות.

2.1.2 נראות לילה

נראות לילה מתייחסת לנראות הסימון בתנאי חשיכה והיא מוגדרת כהחזר אלומת האור המגיעה מפנסי הרכב, פוגעת בסימון ומוחזרת לעיני הנהג.

דרישות נראות הלילה חשובות במיוחד בכבישים שבהם לא מותקנת תאורת לילה, ואולם במקומות שונים בעולם נדרשת נראות לילה גם במקומות מוארים, על מנת לתת מענה גם במקרים של תקלות בתאורה.

2.2 גוון הסימון

הגוון של הסימון מוגדר לפי קואורדינטות כרומטיות אותן הגדירה הועדה הבין לאומית לתאורה CIE Commission International d'Eclairage. התקן המפורסם ביותר של הועדה מכונה CIE Chromaticity Chart והוא מאפשר לבצע מיפוי דו ממדי של כלל הגוונים הניתנים לקליטה בעין האדם. גוון הצבע מוגדר לפי שתי קואורדינטות x ו- y . בעבור כל צבע נדרש של הסימון (לבן, צהוב, כתום וכו') ניתן באמצעות אותה שיטה להגדיר במדויק את התחומים המותרים ליישום.

2.3 מירקם (טקסטורה) ועובי

הטקסטורה של הסימון מתייחסת לשתי רמות של מרקם המשטח הנבדק, מירקם מיקרוסקופי ומאקרוסקופי.

המירקם המיקרוסקופי הוא החספוס הבסיסי של שכבת הצבע העליונה, זה שהיה מתקבל ביישום של חומר הסימון על משטח חלק ובשכבה דקה. לעומק המירקם המיקרוסקופי יש השפעה בעיקר על רמת ההתנגדות להחלקה של חומר הסימון במצב רטוב ובמהירויות נמוכות מאד. קשה מאד ולעיתים בלתי אפשרי להעריך את עומק המירקם המיקרוסקופי בעין בלתי מזויינת ומבלי לבצע מדידות של התנגדות להחלקה. המירקם המאקרוסקופי לעומת זאת, הינו אותו מירקם הנראה לעין על פני הדרך, לאחר שעברה את תהליך הסימון. למירקם המאקרוסקופי יש השפעה גדולה על ההתנגדות להחלקה של המיסעה בעת בלימה בדרך רטובה ובמהירויות גבוהות. זאת, מאחר שהוא מבטא במידה רבה את יכולת פני השטח לנקז במהירות את המים המצטברים בממשק צמיג-דרך בתוך תהליך הבלימה ולמנוע מצב של החלקה. המירקם המאקרוסקופי של חומר הסימון יכול להתקבל בשני אופנים עיקריים:

- בחומרי סימון דקים – העובי המצומצם של חומר הסימון אינו מאפשר יצירת מירקם מאקרוסקופי בחומר הסימון עצמו. המירקם המאקרוסקופי המתקבל לאחר הסימון הינו למעשה השתקפות של המירקם המאקרוסקופי של התערובת האספלטית שבפני הדרך. במקרים אלו יש יתרון גדול לתערובות אספלטיות בעלות מירקם מאקרוסקופי עמוק, כמו SMA. (ראה סעיף 4.1 בהמשך).

- בחומרי סימון עבים – בחומרי סימון בעלי עובי גדול יחסית, מ-1 מ"מ ומעלה, יוצר חומר הסימון מיסוך של מירקם התערובת האספלטית שעל פני הדרך. במקרים אלו מירקם הסימון עצמו (כמו נוכחות כדוריות זכוכית גדולות במיוחד, או טקסטורה המתקבלת תוך היישום עצמו) יהיה זה שיקבע את עומק המירקם המאקרוסקופי. פירוט בנוגע לסוגים שונים של מירקם מאקרוסקופי בחומרי סימון, מובא בהמשך.

במהלך השנים האחרונות גובר השימוש בחומרי סימון בעלי טקסטורה בולטת, באמצעות שיטות יישום מיוחדות היוצרות את המירקם תוך תהליך הביצוע. היתרונות העיקריים של סימונים על פני הדרך מסוג זה הינם: שיפור משמעותי בערכי הנראות (בעיקר נראות לילה) ואפקט הרעשה והרעדה אשר מזהירים את הנהג ומגבירים את תשומת לבו (כגון פסים משוננים). חשוב עם זאת להדגיש שחלק גדול מאותם מירקמים המוענקים לחומר הסימון תוך תהליך הביצוע (כמו בפסי הרעדה וכו') חורגים למעשה מההגדרה של מירקם מאקרוסקופי ואין להם את אותה השפעה שפורטה לעיל בנוגע לשיפור הניקוז בעת בלימה במהירויות גבוהות.

בנוסף לאמור, יש לקחת בחשבון בעת ביצוע עבודות סימון, לא ליישם חומרי סימון בעוביים העולים על כ-5 מ"מ. במחקרים שונים שנערכו בעולם נמצא שסימונים עבים במיוחד עלולים להשפיע באופן שלילי על בטיחות הנסיעה, בעיקר בעבור כלי רכב דו גלגליים.

2.4 התנגדות להחלקה

התפקיד העיקרי של תכונת ההתנגדות להחלקה של הסימון הינו למנוע סיכון או פגיעה במשתמשי הדרך כתוצאה מעצם נוכחות הסימון על פני המיסעה. לתכונת ההתנגדות להחלקה יש חשיבות גדולה לכלל המשתמשים בדרך ובמיוחד לכלי רכב דו-גלגליים שרגישותם להחלקה גבוהה במיוחד.

המרקם הטוב ביותר מבחינת התנגדות להחלקה הינו שילוב של מירקם מיקרוסקופי מחוספס עם מירקם מאקרוסקופי עמוק. אך חשוב לציין שהמרקם המיקרוסקופי הינו התורם העיקרי להתנגדות להחלקה כאשר מדובר במיסעה רטובה ובמהירויות נמוכות.

2.5 תוחלת חיים של הסימון

תכונות הסימון משתנות לאורך תקופת השירות שלהם. קצב ההידרדרות של תכונות אלו תלוי בגורמים שונים הכוללים:

- השפעת סוג חומר הסימון ואופן היישום שלו – ההרכב של חומר הסימון משפיע במידה רבה הן על ערכי התפקוד הראשוניים והן על עמידות החומר לאורך זמן. בנוסף, לאופן היישום קיימת השפעה על תפקוד הסימון לאורך זמן. לדוגמא חומרים המיושמים בטקסטורה (משוננת/דמעות) מתפקדים בדרך כלל בצורה טובה יותר מאשר חומרים המיושמים בטקסטורה חלקה. דוגמא נוספת הינה יישום צבעים על גבי פסי הרעדה מחורצים. יישום כזה מגביר את נראותו של הסימון וכן מאריך את תוחלת החיים של הסימון כתוצאה מהקטנת קצב השחיקה הפיזית של הסימון.
- השפעת התנועה העוברת מעל הסימונים (נפח התנועה העובר) - ככל שנפח התנועה העובר הינו גדול יותר, כך עולה קצב השחיקה והירידה בתפקודם של הסימונים. לסוג הסימון ומיקומו בדרך חשיבות רבה בהקשר זה. סימונים רוחביים נשחקים מהר יותר מאלה האורכיים.
- השפעות אקלימיות של מים וקרינת השמש.
- הצטברות זיהומים שונים.
- סוג ומאפייני התערובת האספלטית. נושא זה רלוונטי בעיקר באשר לחומרי סימון דקים, שבהם מירקם מיסעה עמוק תורם להארכת תקופת השירות של חומר הסימון.

2.6 חומרים מסוכנים בתוך חומרי סימון

בעבר נעשה שימוש בחומרי סימון שהכילו חומרים המסוכנים לבריאות או לסביבה. על מנת לתת מענה בנושא זה, התקינה הישראלית הגדירה מגבלות ואיסורים על שימוש באותם חומרים, כמו עופרת, מתכות כבדות, בנזן, ממיסים על בסיס כלור וכו', הבדיקות נעשות בזמן בחינת החומר להתאמה לתקינה.

על פי המצב כיום, לכל חומר סימון מאושר קיים גיליון בטיחות המגדיר את תכולת החומרים המסוכנים ואת אמצעי הבטיחות שיש לנקוט בהם בעת השימוש בחומרים אלו.

3.1 כללי

ניתן לחלק את חומרי סימון לשני סוגים עיקריים: חומרי סימון בעלי תוחלת חיים קצרה וחומרי סימון בעלי תוחלת חיים ארוכה. חומרי סימון בעלי תוחלת חיים קצרה הם אותם חומרים אשר תקופת השירות שלהם הינה קצרה ונעה בין מספר חודשים ועד כשנה (אורך חיים ממוצע נע בין 4-12 חודשים). חומרי סימון אלו מכונים בדרך כלל צבעי דרך קונבנציונאליים.

חומרי סימון בעלי תוחלת חיים ארוכה הם בעלי עמידות וקיים לטווח גדול יותר, אשר נע בין שנה ל- 5 שנים ויותר. חומרים אלו מספקים בדרך כלל ערכי תפקוד ראשוניים גבוהים יותר והם שומרים על ערכי תפקוד גבוהים במשך תקופה ארוכה יחסית. חומרי הסימון בעלי תוחלת החיים הארוכה הינם מטבע הדברים בעלי עלות ראשונית גבוהה יחסית. עם זאת, בחישוב לאורך זמן נחשכות העלויות החוזרות ונשנות של סימונים חוזרים (לרבות עלויות אבטחה ועיכוב תנועה) ומובטחים ערכי תפקוד יציבים יותר לאורך זמן.

3.2 חומרי סימון בעלי תוחלת חיים קצרה

חומרי סימון בעלי תוחלת חיים קצרה הם חומרים אשר תקופת השירות שלהם הינה קצרה (עד שנה). חומרים אלו הם בדרך כלל חומרים חד רכיביים המיושמים בעובי יחסית דק (0.5-0.1 מ"מ) ומכונים לעיתים קרובות – צבעי דרך.

צבעי דרך מבוססים על הימצאותו של חומר הסימון במצב מומס בממיס אורגני או במים (לרבות במצב של אמולסיה), עד למועד יישומו על פני הדרך. תהליך האשפחה של חומר הסימון לאחר יישומו כולל התאדות או הפרדה של החומר הממיס מחומר הסימון, כך שחומר הסימון מתייבש ומתקשה על פני הדרך. לעיתים קרובות תהליך ההתקשות של צבע הדרך מוחש על ידי תהליכים נוספים המתרחשים כתוצאה מהמגע עם האוויר.

צבעי דרך מורכבים ממספר רכיביים עיקריים הכוללים קשרנים, פיגמנטים, חומרים מעבים, ממיסים ותוספים. נהוג לסווג חומרים אלה בהתאם לשני קריטריונים, סיווג על פי הקשרן (אלקיד, אקרילי, וכ"ו) או סיווג בהתאם לחומר הממיס (ממיס נפטי או מים).

שיטות היישום של מרבית צבעי הדרך כוללות מריחה או התזה של חומר הסימון כשהוא במצב נוזלי על פני הדרך. קיים מגוון גדול של מכשירים ליישום צבעי דרך, החל ממברשות ידניות וציוד פשוט לריסוס ועד למכונות משוכללות יחסית המפעילות ציוד Airless בהפעלה ממוחשבת, ליישום כמויות מבוקרות של חומר (כמו גם כדוריות זכוכית ותוספים אחרים) תוך נסיעה רצופה.

3.3 חומרי סימון בעלי תוחלת חיים ארוכה

תקופת השירות של חומרים אלו הינה יחסית ארוכה ונעה בין שנה ועד חמש שנים ויותר. חומרי סימון אלו מאופיינים על ידי ערכים גבוהים תפקוד, הן בעת היישום והן לאורך זמן.

חומרי סימון בעלי תוחלת חיים ארוכה כוללים בתוכם את הקבוצות העיקריות הבאות: חומרי סימון תרמופלסטיים, חומרי סימון פלסטיים קרים ויריעות תעשייתיות.

הרכב: המרכיבים העיקריים של חומרים תרמופלסטיים כוללים קשרנים בעלי תכונות תרמופלסטיות (החומר מתרכך בעת חימום ומתקשה מחדש לאחר ירידת הטמפרטורה), פיגמנטים אשר מקנים את הגוון לחומר ותוספים אחרים. הקשרן המשמש לחומר תרמופלסטי מורכב מחומר הידרוקרבוני או מחומר אלקידי.

יישום: ישנם חומרי התרמופלסטי מבוסס בעיקרו על חימום החומר לטמפרטורות גבוהות ופיזורו בשיטות שונות על פני המיסעה. חשיפת החומר התרמופלסטי לתנאי הסביבה גורמת לירידה מהירה של טמפרטורת החומר והתקשותו בתוך זמן קצר.

חומר תרמופלסטי מיושם במגוון רחב של עוביים, החל מעובי של כ- 0.5 מ"מ ועד לעובי של 5 מ"מ.

שיטות יישום: תהליך היישום של חומרי סימון תרמופלסטיים דורש שימוש בציוד יעודי המחמם את חומר הסימון לטמפרטורה הנדרשת וכן מכשור מתאים לצורך ביצוע היישום על פני המיסעה. קיימות מספר שיטות מקובלות ליישום חומר תרמופלסטי: שיחול, פרופיל מוגבה, הטבעה, טיפות והתזה. בנוסף קיימות יריעות תרמופלסטיות מוכנות מראש (יריעות תעשייתיות העשויות מחומרים תרמופלסטיים) אשר מונחות על הכביש ולאחר מכן עוברות תהליך חימום לצורך הצמדת היריעה לפני המיסעה.

הרכב: מרבית החומרים הפלסטיים הקרים הינם חומרים דו רכיביים. הרכיב האחד הינו השרף והרכיב השני הינו המקשה. תהליך הערבוב בין השרף לחומר המקשה הוא שיוצר את הריאקציה הנדרשת להתקשות החומר. בנוסף לחומרים אלו כולל החומר חומרי מילוי, פיגמנטים ותוספים אחרים.

יישום: מרבית חומרי הסימון הפלסטיים הקרים מיושמים בעובי גדול יחסית, לרבות במרקמים שונים, במגוון דומה לזה שניתן לקבל בחומרים תרמופלסטיים.

משפחות עיקריות של חומרי סימון פלסטיים קרים: חומרי סימון אפוקסיים, מתיל מתקרילאט, חומרי סימון על בסיס פוליאסטר ופולי-אוריה.

הרכב: יריעות סימון תעשייתיות הינן יריעות סימון המיוצרות בשלמותן במפעל, באופן שלתהליך היישום יש פחות השפעה על איכות המוצר הסופי (למעט נושא ההצמדה של היריעה לפני הדרך). לעובדה זו יש יתרונות בהיבט של קבלת מוצר בעל איכויות גבוהות וקבועות.

יישום: יריעות הסימון מיוצרות בדרך כלל בצורות ובגדלים המיועדים ליישום ישיר על פני המיסעה. כך, מיוצרים פסי סימון תעשייתיים, חיצונית, הכוונה, פסים ליישום במעברי חצייה ועוד. את היריעות התעשייתיות ניתן לסווג ליריעות פלסטיות המיושמות בהדבקה על פני

הדרך ויריעות תרמופלסטיות שיישומן על פני הדרך מבוסס על חימום היריעות והצמדתן במגע ישיר אל פני הדרך.

יריעות סימון תעשייתיות משמשות הן לביצוע סימונים קבועים והן לביצוע סימונים זמניים. המפרטים של היריעות הזמניות זהים לאלו של הקבועות למעט הדרישות הקשורות לתוחלת החיים שלהם. תוחלת החיים של היריעות הזמניות נעה בין 2-0.5 שנים, בעוד תוחלת החיים של היריעות הקבועות יכולה להגיע עד 5 שנים ואף יותר.

בנוסף לאמור לעיל, היריעות הזמניות צריכות להיות בעלות כושר הסרה אשר יאפשר הסרתן בצורה נוחה וללא גרימת נזק לשכבה האספלטיות או לסימון הקים מתחתיהם (במקרה של יריעות שחורות המיועדות להסתרת סימון קיים).

3.4 תוספים לחומרי סימון

3.4.1 כללי

התכונות החשובות ביותר של חומרי סימון הינן הנראות וההתנגדות להחלקה. במהלך השנים פותחו סוגים שונים של תוספים שנועדו לשילוב בחומרי הסימון על מנת לשפר תכונות אלו.

התוספים הידועים ביותר בהקשר זה הינם כדוריות הזכוכית וכן אגרגטים וחומרים אחרים משפרי עמידות בפני החלקה (Anti Skid). מרכיבים אלו ניתנים להוספה לחלק גדול מסוגי חומרי הסימון, אם כי לצבעי הדרך המיושמים בעוביים מצומצמים מאד באופן יחסי, יש מגבלות משמעותיות ביכולתם לשמר את אותם תוספים לאורך תקופת השירות.

3.4.2 כדוריות זכוכית

התרומה העיקרית של כדוריות זכוכית הינה בשיפור נראות הלילה של הסימונים. כדוריות הזכוכית מחזירות את האור המתקבל מפנסי הרכב אל עיני הנהג. חומרי סימון ללא כדוריות זכוכית אינם מחזירים אור בצורה נאותה, בעוד שחומרים עם כדוריות זכוכית יכולים להגיע לרמות נראות לילה גבוהות מאד (מאות מיליקנדלה למ"ר ללוקס).

בכבישים בין עירוניים ובעיקר כאשר תאורת הלילה בכבישים אינה קיימת, תוספת כדוריות זכוכית הינה חיונית להבטחת נראות הלילה של הסימון. כדוריות זכוכית בתחום העירוני אינן חיוניות בדרך כלל, מהסיבה שבתחום העירוני קיימת תאורת כביש.

כדוריות הזכוכית הופכות את מירקם הצבע ליותר גס. עובדה זו תורמת לשיפור התנגדות חומר הסימון להחלקה. עם זאת, קיימים מקרים שבהם החיספוס המוגבר של חומר הסימון תורם להשחרת חומרי הסימון ופגיעה ביכולת התפקוד שלהם בתחום הנראות. נושא זה האחרון רלוונטי במיוחד באיזורים עירוניים ובצמתים, בהם מתרחשות פעולות רבות של בלימה, האצה וסיבוב.

תפקוד כדוריות הזכוכית תלוי בתכונות הבאות: מקדם שבירה של הכדוריות, צורתם, גודלם, תכונות פני השטח של הכדוריות, צפיפותם על פני השטח ומיקומם ביחס לחומר הסימון.

בעיית החלקה על הסימונים הינה אחת מהבעיות האופייניות ביותר בהקשר לנושא התנגדות להחלקה. הגורמים הנפגעים העיקריים בהקשר זה, הינם המשתמשים בכלי רכב דו גלגליים.

חומרים משפרים את ההתנגדות להחלקה הינם בדרך כלל אגרגטים קשים ובעלי התנגדות גבוהה לשחיקה המשולבים בחומר הסימון. דוגמאות לסוגי חומרים המשמשים כאגרגטים לשיפור ההתנגדות להחלקה כוללים: קוורץ, בוקסיט ועוד.

התכונות העיקריות הנדרשות מאגרגטים המשמשים כתוספים לשיפור ההתנגדות להחלקה הינן: עמידות גבוהה לשחיקה מכאנית של האגרגטים, גוון מתאים לגוון הסימון ודרישות דירוג.

תוספים לשיפור ההתנגדות להחלקה מיושמים כמעט תמיד בחומרי סימון שתוחלת החיים שלהם הינה ארוכה. במקרים לא מעטים עושים שימוש בחומרים אלו גם כתוספים בעת ביצוע של ציפויי שטחים גדולים של המיסעה בחומרי ציפוי שונים (לדוגמא, באיזורים שבהם יש צורך להבטחת רמות גבוהות במיוחד של התנגדות להחלקה).

4 גורמי השפעה על תפקוד חומרי סימון

תפקודם של חומרי הסימון מושפע מגורמים רבים, כולל תכונות השכבה האספלטית, מאפייני התנועה העוברת בדרך, תנאי מזג אויר, מיקום הסימון ועוד.

4.1 תכונות פני המיסעה והשכבה העליונה

הגורם העיקרי המשפיע על תפקוד חומרי הסימון המיושמים על פני המיסעה, בהקשר לפני המיסעה הינו מירקם פני המיסעה. השפעה זו באה לידי ביטוי בעיקר בחומרי סימון בעלי עובי דק (בעיקר בחומרי סימון בעלי תוחלת חיים קצרה).

כאשר חומר סימון בעל עובי דק מיושם על גבי תערובת אספלטית בעלת מירקם גס (כמו תערובות SMA, או תערובות מסוג S, או תערובות פתוחות אחרות), חומר הסימון חודר גם אל השקעים שבפני השטח. תהליכי השחיקה של חומרי הסימון פוגעים בעיקר בשכבת הצבע העליונה הנמצאת בפני המיסעה, ואולם חומר הסימון המצפה את דפנות ותחתית השקעים נפגע הרבה פחות. כך, ניתן לשמור על קיים ארוך יותר באופן יחסי, בעיקר בהקשר להחזר אור לילה. לעומת זאת, כאשר חומר סימון בעל עובי דק מיושם על גבי תערובת אספלטית סגורה, עם עומק מירקם רדוד, תהליך ההדרדרות של תפקוד חומר הסימון הינו גבוה יותר, כתוצאה משחיקה של פני השטח וכתוצאה מאי החדירה של חומר הסימון אל תוך מירקם השכבה האספלטית.

כאשר מדובר בחומרי סימון בעלי עובי גדול (בדרך כלל עובי של למעלה מ-1 מ"מ), חומר הסימון יוצר ממילא מיסוך של המרקם הטבעי של פני האספלט. במקרה זה, יש השפעה מצומצמת בהרבה של מירקם האספלט עצמו על התפקוד של חומר הסימון.

בתערובות אספלטיות העשירות בביטומן עלולה להיווצר תופעה של ריכוז ביטומני גבוה (הזעה של האספלט) אשר עלולה לגרום לכלוך חומר הסימון המיושם עליו. תופעה זו אופיינית במיוחד במשטחי אספלט בתקופה הראשונה לאחר סלילתם. כתוצאה מכך, במרבית המקרים נדרש לבצע סימון זמני במשטחי אספלט חדשים, עד להתחמצנות הראשונית וקילוף של שכבת הביטומן העליונה בפני השטח.

ביישום חומרי סימון תרמופלסטיים על תערובת אספלטית עשירת ביטומן (פעולה המבוצעת בטמפרטורה גבוהה), נרשמו בעבר מקרים שבהם נוצרו כתמים על חומר הסימון החדש כתוצאה מריכוך של הביטומן שבתערובת האספלטית.

4.2 השפעת התנועה ומיקום הסימון בחתך הדרך על משך התפקוד

התנועה העוברת על פני הסימון הינה הגורם העיקרי בתהליך הידרדרות התפקוד של חומרי הסימון, כתוצאה מהשחיקה הפיזית של חומר הסימון. בנוסף, לעיתים קרובות הגורמים להכתמה של הסימון הם - צמיגי הרכב וזיהומים אחרים כגון שמנים, אבק ופסולת אחרת.

השפעת התנועה על תוחלת החיים של הסימונים מתבטאת בשני תחומים עיקריים כלהלן:

א. היקפי והרכב התנועה

- היקף התנועה הכוללת הממוצעת בדרך – כל כלי רכב הנעים מעל לסימון תורמים לתהליך ההדרדרות של סימון על פני הדרך.

- היקף התנועה הכבדה בדרך – תהליך השחיקה של הסימון גבוה יותר תחת תנועה של כלי רכב כבדים ואוטובוסים.

ב. מיקום הסימון בחתך הדרך

מיקום הסימון בחתך הדרך משפיע באופן משמעותי ביותר על תפקודם. מקומות בעלי רגישות גבוהה כוללים:

- **סימונים הנמצאים בנתיב התנועה של גלגלי כלי הרכב** – ההידרדרות של מצב סימון על פני הדרך הולכת ומתגברת כפונקציה ישרה של מספר גלגלי כלי הרכב שעברו על הסימון. ככל שסימון חשוף יותר למגע ישיר של כלי הרכב, כך ניתן לצפות לקצב שחיקה גבוה יותר.
- **סימונים הנמצאים בנתיבי התנועה, באיזורים שבהם מבוצעות פעולות בלימה או פנייה** – בקטעים אלו קצב השחיקה הינו הגבוה ביותר, שכן גלגלי הרכב הנעים על פני הסימון אינם נעים בגלגול חופשי, אלא בשילוב עם תנועות של בלימה, האצה, או סיבוב. בהתאם לאמור, ניתן לבצע דירוג של קצב השחיקה של סוגים שונים של הסימונים, מהקל לחמור, על פי המפורט להלן:

- קווי אורך בקטעי דרך ישרים – נמצאים באופן יחסי בתנאי שחיקה נמוכים. השחיקה בקווי אורך של קצה המיסעה נמוכה יחסית לשחיקה של קווי אורך מקוטעים בין נתיבי תנועה (קוים המשמשים לצורך עקיפה, או מעבר מנתיב אחד למישנהו).
- קווי אורך בעקומות – נמצאים בתנאי שחיקה חמורים יותר, כתוצאה ממעבר תכוף של כלי רכב הנעים בעקומה, על פני הסימון.
- קווי אורך באיזורים של השתלבויות והתפצליות – נמצאים תחת שחיקה של כלי רכב העוברים על פניהם, ואולם בתנועה יחסית ישרה, ללא בלימה או פנייה הדוקה.
- חיצים וסימונים אחרים הנמצאים במרכז נתיב התנועה – רמת שחיקה בינונית, כתוצאה מתנועה של גלגלי כלי הרכב על פני הסימון (פיזור רוחבי של התנועה) וכן כתוצאה מזיהום בלתי ישיר של כלי הרכב.
- סימונים רוחביים באיזורי צמתים – סוגי הסימון הנמצאים בתנאים הקשים ביותר בהקשר לשחיקה של כלי רכב. סימונים כמו קו עצירה, או מעברי חצייה וכו', אמורים לעמוד בתנאים קשים של תנועת כלי רכב בשילוב עם פעולות בלימה, האצה וסיבוב.
- סימונים הקיימים בדרכים בעלי שיפוע תלול - סימונים אלה בעלי רמת שחיקה גבוהה ובעיקר כאשר מדובר בבלימתם של רכבים כבדים.

4.3 השפעת תנאי סביבה ואקלים על חומר סימון

לתנאי הסביבה ולאקלים יש השפעה גדולה על חומרי הסימון, הן בעת היישום והן לאורך כל תקופת השירות. הנושאים החשובים בהקשר זה כוללים:

- **תנאים בעת יישום** – מרבית חומרי הסימון רגישים לתנאים קיצוניים של טמפרטורה, רוח ולחות (הן הלחות היחסית של האוויר והן לחות המיסעה עצמה) בעת היישום. להלן מובאות מספר דוגמאות לתנאים לא מספקים העלולים לגרום לנזקים העקרים הבאים:
 - עבודה בטמפרטורות אוויר נמוכות מהנדרש במפרט עלולה לגרום לזמן התקשות ארוך מהצפוי ועיכוב גדול בפתיחת הכביש לתנועה.
 - עבודה במהירויות רוח גבוהות מדי עלולה לגרום לאי דיוק בקווי הסימון, איבוד חלק ניכר מכדוריות הזכוכית המיושמות בשיטת Drop On, אי הדבקה נאותה של הכדוריות ועוד.
 - עבודה בתנאים של מיסעה רטובה עלולה לגרום להדבקה לא טובה בין חומר הסימון למיסעה וקיצור משמעותי של קיים הסימון. בחומרים תרמופלסטיים מיסעה רטובה עלולה לגרום להוצרות "צלקות" בפני הסימונים, כתוצאה מהתאדות מהירה של המים בעת יישום חומר הסימון התרמופלסטי.
 - עבודה בתנאים של לחות יחסית גבוהה עלולה לגרום לאי הדבקה נאותה בין חומר הסימון למיסעה ובין כדוריות הזכוכית לחומר הסימון, הארכת זמן הייבוש ועוד.
- סוגים שונים של חומרי סימון כוללים מגבלות שונות באשר לתנאי מזג האוויר בזמן היישום. יש לוודא הקפדה על דרישות אלו להבטחת איכות הסימונים והקיים שלהם.
- **תנאים לאורך תקופת השירות** – תנאים אקלימיים וסביבתיים בעת תקופת השירות עלולים להשפיע על תוחלת החיים של חומרי הסימון במספר תחומים עיקריים:
 - **הצטברות זיהומים** – לתנועה החולפת, קירבת איזורי תעשייה וחקלאות ועוד, יש השפעה על קצב הצטברות זיהומים על פני המיסעה. אירועי גשם לעומת זאת מביאים להסרה של חלק גדול מהמזהמים ולחידוש חלקי של ערכי התפקוד של חומרי הסימון.
 - בתנאים של מדינת ישראל יש חשיבות גדולה לנושא הצטברות זיהומים, בגלל התקופה היבשה הארוכה, הנמשכת כשמונה חודשים מידי שנה. זאת, בניגוד למדינות רבות אחרות, שבהן אירועי גשם מתרחשים לעיתים קרובות ומאפשרים ניקוי ולו חלקי של המיסעה.
 - כאמור, חלק לא קטן מגורמי הזיהום מוסרים מפני המיסעה בעת תקופת הגשמים. עם זאת, העובדה שזיהומים נשארים תקופה כה ארוכה על פני המיסעה מקטינה את הסיכוי להסרת הזיהומים על ידי פעולת הניקוי של הגשם.
 - **השפעת חום וקרינת השמש** – קרינת השמש גורמת להידרדרות מצב חומרי הסימון, איבוד גמישות, התפוררות ודהיית הגוון. על כן, בדיקות קיים לעמידות בקרינת UV (קרינה אולטרה סגולה) הינן בדיקות חיוניות, בעיקר בחומרי סימון ארוכי טווח, האמורים לתפקד במהלך מספר שנים. גם נושא זה משמעותי הרבה יותר בתנאים של מדינת ישראל, שבה מדובר ברמות גבוהות של קרינה לאורך חלק גדול מהשנה.

לאמור לעיל יש להוסיף את נושא החומרים התרמופלסטיים. חלק מהחומרים התרמופלסטיים עלולים להפוך לרכים יחסית בתנאים של קרינה וחום, עד כדי עיוות צורת הסימון (בעיקר בסימונים בעלי פרופיל מוגבה). כמו כן בתנאים של חום יש עלייה בנטייתם של אותם חומרים לספוח לכלוך, עובדה הפוגעת בגוון של אותם סימונים.

- **תנאים של קור ושלג** – באזורים קרים (כדוגמת איזור החרמון, הגליל העליון ולפעמים גם בירושלים) יש חשיבות ליכולת התפקוד של סימונים בהיבטים הבאים

- עמידות כנגד פינוי מכני של שלג וקרח מפני המיסעה.
- עמידות בכימיקלים ומלחים המשמשים להמסת השלג.
- עמידות גבוהה בתנאי קור, בהיבט של איבוד גמישות וסדיקה.

חלק ג: בחירה, השמה, אחזקה והעלמה

5 בחירה והשמה של חומרי סימון

5.1 שיקולים כלליים בבחירת חומרי סימון

בשנים האחרונות עלו בצורה משמעותית רמות האיכות של חומרים לסימון דרכים בעלי תוחלת חיים קצרה (צבעים). במקביל, פותחו סוגים חדשים של חומרי סימון, בעלי תוחלת חיים ארוכה, ואיכויות משופרות. שתי משפחות החומרים העיקריות, צבעי דרך מול חומרי הסימון בעלי משך התפקוד הארוך, מאפשרות למקבל ההחלטות לנקוט באחת משתי גישות שונות:

- **שימוש בצבעי דרך** – חומרים בעלי תוחלת חיים קצרה יחסית ועמידות נמוכה לשחיקה. העלות הראשונית ליישום נמוכה, אולם בחלק גדול מהמקרים נדרשת פעולה תכופה של חידוש צבע וכן פעילות אינטנסיבית של בקרה, למניעת התפתחות אזורים שבהם איכות הסימון אינה עומדת בדרישות.

- **שימוש בחומרים בעלי תוחלת חיים ארוכה** – השקעה ראשונית גבוהה יותר, לעיתים במידה משמעותית. עם זאת ניתן להבטיח קיים לטווח ארוך. החיסכון מתבטא בתדירות נמוכה של פעולות חידוש ואחזקה וכן בצורך מועט הרבה יותר של פעולות פיקוח שוטף, שכן קצב ההידרדרות של החומר נמוך מאד.

ההחלטה באיזו גישה לנקוט תלויה בגורמים רבים, אולם יתכן בהחלט שהפעולה הנכונה כוללת שילוב של סוגים שונים של חומרים, בהתאם לתנאי הדרך (מבחינה פיזית, גאומטרית ותנועתית), תנאי תאורה, תנאי שחיקה וכו'.

לעומת האמור לעיל ועל מנת להקל על רשויות הדרך בנוגע לבחירת סוג חומר הסימון ולאפשר להם שימוש במגוון רחב יותר של חומרים, ההנחיות יתייחסו לרמות תפקוד של חומר הסימון ולא לסוגו.

5.2 דרישות סף ורמות תפקוד לבחירת חומרי סימון

התכונות התפקודיות הנדרשות מחומר הסימון נגזרות משני סוגים של דרישות:

- **רמות תפקוד** - רמות הסף הנדרשות בהבטים של ניראות יום, נראות לילה והתנגדות להחלקה. אלו הערכים המדידים הנדרשים מחומרי הסימון, הן במועד הקרוב לתאריך היישום **ובעיקר לאורך תקופת השירות**. הערכים התפקודיים הנדרשים לאורך תקופת השירות נובעים בעיקר מהתכונות המתחייבות לצורך מניעת תפקוד לקוי של חומרי הסימון (נראות לקוייה או חלקלקות יתר של חומר הסימון).

רמות התפקוד הנדרשות נובעות בעיקר מצרכי המערכת לספק רמות שונות של ניראות והתנגדות להחלקה בקטעים שונים של רשת הדרכים ובתנאים משתנים. כפי שיפורט להלן, סך הסימונים המיושמים ברשת הדרכים סווגו למספר רמות בהקשר של רמות התפקוד הנדרשות באותם סימונים לאורך זמן. הסיווג נעשה לפי מידת הקריטיות של העברת מידע

אמין למשתמשי הדרך בתנאי דרך משתנים. מרבית חומרי הסימון מסוגלים לספק רמות תפקוד גבוהות מספיק בתקופה הראשונה לאחר מועד יישומם על פני הדרך.

○ **קיים מוערך** – הערכה כמותית באשר להיקפי התנועה (או משך הזמן) שבהם חומר הסימון יוכל לשמר את הערכים הנדרשים של רמות התפקוד, כפי שפורט בסעיף הקודם. ההבדלים הגדולים בין סוגים שונים של חומרי סימון מתבטאים בעיקר ביכולת חומרי הסימון לשמר את רמות התפקוד לאורך זמן. בדיקת הקיים המוערך של חומר הסימון נועדה לבחון יכולת זו. בהתאם לתקינה הישראלית החדשה, בדיקת הקיים המוערך של חומרי הסימון השונים נעשית על ידי בדיקת תכונות התפקוד של חומרי הסימון כפונקציה של תהליך שחיקה המופעל על חומר הסימון הנבדק. תהליך השחיקה יכול להתבצע באחת משתי שיטות חלופיות:

- שיטת בדיקה במעבדה - באמצעות גלגל נע המסתובב ועובר מספר רב של פעמים על חומר הסימון המיושם על דגימה ותפקוד חומר הסימון נבדק במרווחים ידועים מראש (בהתאם לתקן EN 13197).

- ביצוע ניסוי שטח - ביצוע ניסוי בדרך פעילה, כאשר חומר הסימון מיושם לרוחב הכביש ותפקודו נבחן כפונקציה של התנועה העוברת עליו (בהתאם לתקן EN 1824).

תוצאות הבדיקות הנ"ל מספקות הערכה (בוודאי לא מידע מדויק), על עמידות חומרי הסימון השונים ויכולתם לשמור על רמות תפקוד לאורך זמן.

בהמשך לאמור לעיל, טבלה מס' 5.1 מפרטת את הסיווג שנקבע בהנחיות באשר לרמות שונות של חומרי סימון לצורך בחירת סימונים ליישום על פני המיסעה. טבלה מס' 5.2 מפרטת את הסיווג שנקבע בעבור חומרי סימון לצורך בחירת סימונים ליישום על אבני שפה. הסיווג לרמות שונות מאפשר לקבוע ערכי סף לתפקוד וערכי קיים מינימליים בעבור קטעים שונים ותנאים משתנים ברשת הדרכים.

טבלה מס' 5.1: רמות לסיווג תפקוד חומרי הסימון המיושמים על מיסעה

רמת דרישת מיני לקיים *	רמה מיני' התנגדות להחלקה (BPN)	רמה מיני' נראות לילה mcd/m ² /lux		רמה מיני' נראות יום mcd/m ² /lux		גיוון	רמה
		צהוב/ כתום	לבן	צהוב/ כתום	לבן		
P7	S1 ≥45		R4 ≥200		Q4 ≥160	לבן	A
P6	S1 ≥45	R3 ≥150		Q3 ≥130		צהוב **	
P7	S1 ≥45	R2 ≥100		Q2 ≥100			
P6	S1 ≥45	R3 ≥150		Q3 ≥130		כתום	
P6	S1 ≥45		R3 ≥150		Q3 ≥130	לבן **	B
P7	S1 ≥45		R2 ≥100		Q2 ≥100		
P5	S1 ≥45	R3 ≥150		Q3 ≥130		צהוב **	
P7	S1 ≥45	R2 ≥100		Q2 ≥100			
P5	S1 ≥45	R3 ≥150		Q3 ≥130		כתום	
P5	S1 ≥45	R2 ≥100	R2 ≥100	Q2 ≥100	Q2 ≥100		C
P5	S1 ≥45	R1 ≥80	R2 ≥100	Q1 ≥80	Q2 ≥100		D
P4	S1 ≥45	R0	R0	Q1 ≥80	Q2 ≥100		E

* - בהתאם לתקן EN13197 ו-EN1824

** - נדרשת עמידה בדרישות שתי השורות. דרישה לעמידה ב P7 נועדה להבטיח שגם ברמת קיים P7, אותם חומרים ישמרו עדיין על רמה מינימלית הכרחית של תפקוד.

טבלה מס' 5.2: רמות לסיווג תפקוד חומרי הסימון המיושמים על אבני שפה

התנגדות להחלקה* (BPN)	נראות לילה	מקדם בהיקות			נראות יום		רמה
	mcd/m ² /lux	שחור	כחול	אדום	צהוב	לבן	
S ≥25	R0	B ≤0.06	B ≥0.10	B ≥0.15	Q1 ≥80	Q2 ≥100	F1
						Q1 ≥80	F2

הערה: * מדובר בערכי התנגדות להחלקה של משטחי הליכה אשר נמדדים בהתאם לתקן ת"י 2279.

כפי שניתן לראות מטבלה מס' 5.1, הוגדרו חמש רמות תפקוד עיקריות A B C D E כאשר רמה A היא הרמה הגבוהה ואילו רמה E היא הרמה הנמוכה בעבור סימונים על פני המיסעה. כמו כן עבור כל רמה מוצג הקיים המינימאלי הנדרש במונחים של תוצאות בדיקות הקיים (בדיקות תפקוד לאחר שחיקה). ערכי התפקוד המוצגים עבור כל רמה הינם הערכים אשר התקבלו לאחר מעברי הגלגל. לדוגמא, חומר סימון בגוון לבן השייך לרמה A צריך לקבל רמות תפקוד לפחות Q4 R4 S1 ברמת קיים של P7 (לאחר מעבר של 4,000,000 גלגלים).

העיקרון העומד מאחורי הדרישה לקיים מינימאלי נובע מהרצון להגיע לקיים ארוך יותר בעיקר בקטעי דרך שבהם רמות התפקוד הנדרשות הינן גבוהות יותר והקריטיות של תפקוד לקוי הינה גבוהה יותר. חשוב להדגיש שלתוצאות בדיקות הקיים יש משמעות אינדיקטיבית בלבד ולא ניתן לבצע הערכה מדויקת של הקיים הצפוי בפועל מתוך תוצאות הבדיקות.

בטבלה מס' 5.2 הוגדרו שתי רמות תפקוד F1 ו-F2 עבור חומרי הסימון המיושמים על אבני שפה. ערכים של התנגדות להחלקה הינם ערכים המתאימים למשטחי הליכה בהתאם לת"י 2279 (נמדדים באמצעות מטוטלת בריטית ואולם עם עקב גומי מיוחד לבדיקות אלו). חומרי סימון המיועדים לסימון אבני שפה אינם נדרשים לביצוע בדיקות קיים בשחיקה, שכן כלי רכב אינם אמורים לעבור על פניהם.

5.3 התאמת רמות התפקוד לתנאי הדרך

גורמים שונים משפיעים על תפקודם של חומרי הסימון כפי שהוזכר ופורט בפרק 4. אך הגורמים העיקריים החשובים לצרכי הנהג הינם סוג הדרך, מהירות הנסיעה ומיקום הסימון בחתך הדרך.

גורמים אלה חשיבותם רבה בהעברת המסר מהסימון לנהג בדרך. חשיבות זאת מתבטאת בהבנתו של הנהג את המסר המועבר מהסימון וכן ביכולתו להגיב במועד, בהתאם למסר שקיבל.

חשיבות המסר המועבר מהסימון תלויה בסוג הסימון (מבחינת מיקומו בחתך הדרך) בעוד שקליטת המסר, הבנתו והגבה על המסר תלויה בסוג הדרך ובמהירות הנסיעה בדרך.

ניתן לחלק את הסימונים בהתאם למיקום שלהם בדרך לשש קטגוריות כפי שמופיע בטבלה מס' 5.3. הקטגוריות של הסימונים מוצגים בסדר יורד בהתאם לרמת השחיקה של הסימון כתוצאה מהמיקום שלו בחתך הדרך. רמה מס' 1 מייצגת את הסימונים הרוחביים שבהם מתבצעת השחיקה האינטנסיבית ביותר של כלי רכב, בעוד שרמה מס' 5 מייצגת את הסימונים על אבני שפה, שבהם לא קיימת למעשה כל שחיקה על ידי כלי רכב. הקטגוריות של הסימונים המוצגות בטבלה מס' 5.3 לעיל נלקחות בחשבון בעת בחירת רמות תפקוד מתאימות ונדרשות בתנאי דרך שונים.

טבלה 5.3: קטגוריות הסימונים בהתאם ללוח התמרורים

צורת התמרור וצבעו	מס' הסימונים בלוח התמרורים	קטגוריית הסימונים	צורת התמרור וצבעו	מס' הסימונים בלוח התמרורים	קטגוריית הסימונים	
	806	סימונים אורכיים		809	1. סימונים רוחביים	
	807			810		
	808			811		
	815			821		
	819			812		
	820			924		
	918			925		
	919			804		
	920			813		
	921			814		
	922			926		
	923			927		
	928			820, 513, 503		
			503	2. סימונים במרכז הנתע		
	819	4. סימונים לחניונים			512	
	820				513	
	511	5. סימונים לאבני שפה			801	3. סימונים אורכיים
	512				802	
	816				803	
	817				804	
	818				805	

הערה: סמל האופניים והחץ בסימון 804 צריך להיות מיושמים בטקסטורה שטוחה (לא בולטת) בלבד.

עבור הגוונים לבן וצהוב, טבלה מס' 5.4 מציגה את רמות התפקוד הנדרשות מחומרי סימון בדרכים עירוניות, בעוד שטבלה מס' 5.5 מציגה את רמות התפקוד הנדרשות מחוץ לאזור דרכים עירוניות. טבלה 5.6 מציגה את רמת התפקוד הנדרשת לחומר סימון בגוון כתום באתרי עבודה מחוץ לאזור דרכים עירוניות. טבלה 5.7 מציגה את רמות התפקוד הנדרשות מחומרי סימון המיושמים בחנוונים ובאבני שפה.

טבלה מס' 5.4: בחירת רמות תפקוד של חומרי סימון באזור דרכים עירוניות

סימונים מהירות (קמ"ש)	רוחביים ובמרכז הנתב	
	*אורכיים	
מעל 50	B	C
עד 50 (כולל)	C	D**

*-יחד עם זה כשנדרש סימון 803, יש לשקול רמת תפקוד גבוהה יותר מהרמה המצוינת בטבלה בנסיבות המקום.
 **- רמה D תיושם רק במקומות שבהם קיימת תאורת דרך בשעות החשיכה. בכל מקרה אחר, תיושם רמה C במקום רמה D.

רמת התפקוד הנדרשת לגוון כתום באתרי עבודה באזור דרכים עירוני היא D.

טבלה מס' 5.5: בחירת רמות תפקוד של חומרי סימון מחוץ לאזור דרכים עירוניות

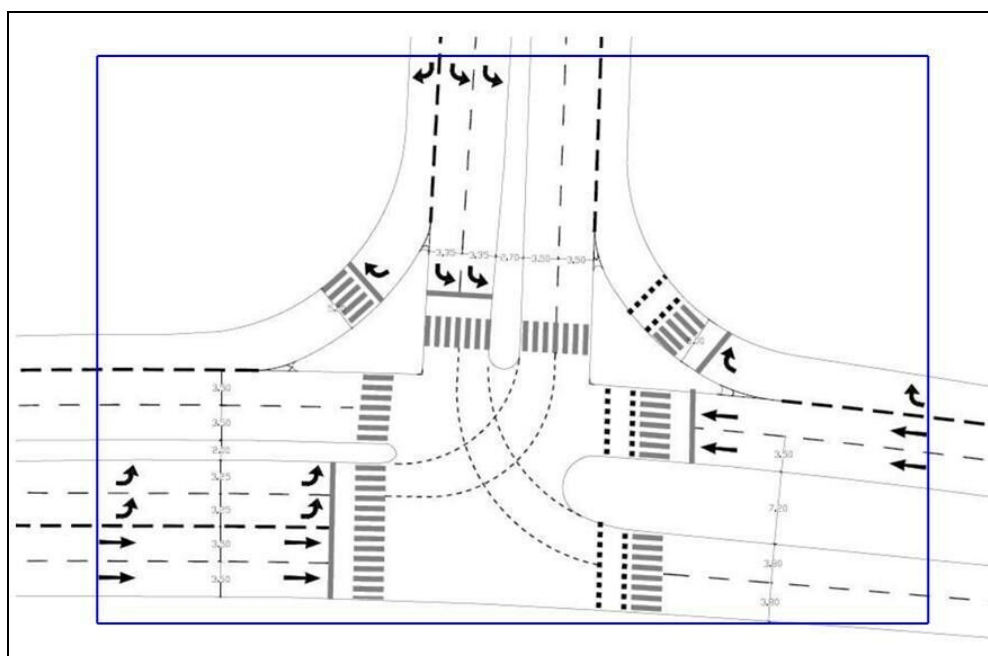
סימונים בצמתים ובמחלפים ובהתקרבות אליהם	סימונים בקטע דרך		מאפיינים
	עם שטח הפרדה בנוי	ללא שטח הפרדה בנוי	
B	B	A	מהירויות 90 קמ"ש ומעלה
		B	מהירויות בתחום 60-80 קמ"ש
	C		מהירויות עד 50 קמ"ש (כולל)

הערות לטבלה:

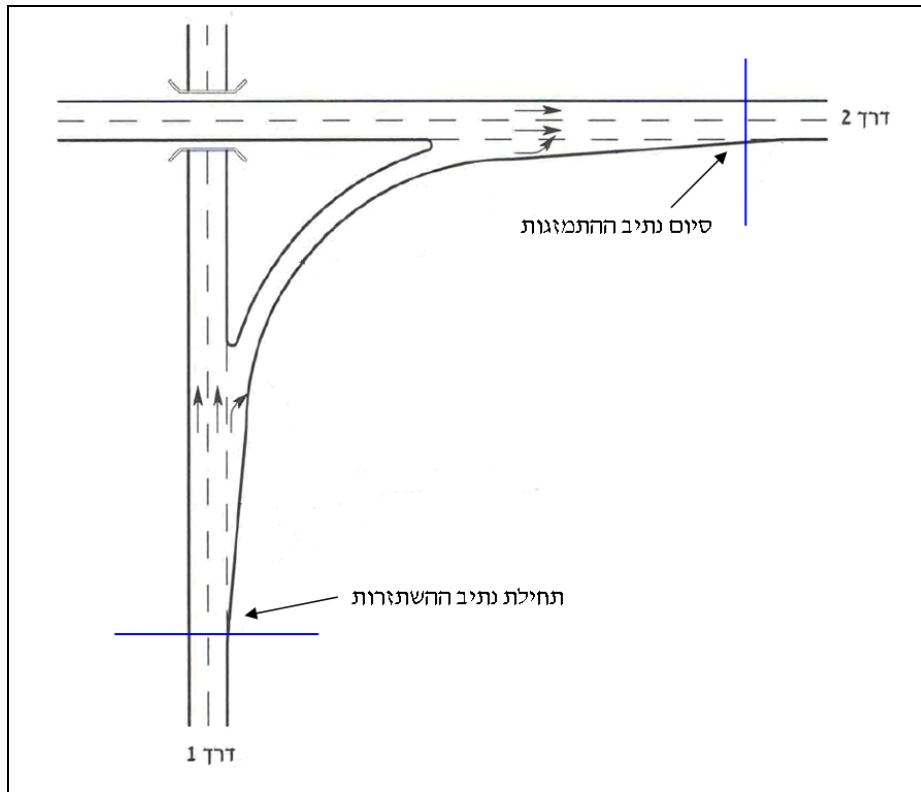
1. סימונים בצומת ובזרועות הנפגשות בו (ראה תרשים להמחשה בציור מס' 5.1): כל הסימונים הקיימים בתחום המוגדר החל מתחילת החצים הרחוקים מהצומת בכל כיווני הנסיעה.
2. סימונים במחלף ובזרועות המרכיבות אותו (ראה תרשים בציור מס' 5.2): כל הסימונים הקיימים בתחום המוגדר החל מתחילת נתיבי השתזרות ועד לסיום נתיבי ההתמזגות בכל כיווני הנסיעה.

טבלה מס' 5.6: בחירת רמות תפקוד של חומרי סימון בגוון כתום מחוץ לאזור דרכים עירוניות

סימונים בצמתים ובמחלפים ובהתקרבות אליהם	סימונים בקטע דרך		מהירות באתרי עבודה
	עם שטח הפרדה בנוי	ללא שטח הפרדה בנוי	
C	C		מהירויות מעל 50 קמ"ש
	D		מהירויות עד 50 קמ"ש (כולל)



ציור מס' 5.1: תרשים סכמתי לאזור הסימונים בצומת



ציור מס' 5.2: תרשים סכמתי לאזור הסימונים במחלף

טבלה מס' 5.7: בחירת רמות תפקוד לסימונים בחניונים ועל אבני שפה

רמה נדרשת	קטגוריית סימונים
E	חניונים
F1 – 816 תמרורים 817, 816, 512, 511 F2 – 818	אבני שפה

5.4 דרישות כלליות ליישום חומרי הסימון

תקן ישראלי ת"י 934 (חומרים לסימון דרכים – הכנת דרכי אספלט לסימון והשמת חומרי הסימון) דן בסוגיית היישום של חומרי הסימון. התקן קובע שהכנת פני הדרך ליישום, ציוד ההשמה ואופן ההשמה יהיו בהתאם למפרט הטכני והוראות ההשמה של היצרן וכמפורט בנוהל לבחינה ואישור התקני תנועה ובטיחות (חומרים לסימון דרכים) בהוצאת הועדה הבין משרדית לבחינת התקני תנועה ובטיחות (טרם פורסם, בשלבי עריכה).

בנוסף, ובכפוף להוראות היצרן, להלן פירוט ההנחיות להשמה שאמורות להוות חלק ממפרטי הביצוע שלהם כפוף הקבלן:

א. הכנת פני הדרך להשמת חומרי הסימון:

- לפני ההשמה יש לוודא שפני הדרך תקינים ונקיים מכל לכלוך (אבק, חול, שמן, חומר מודבק, וכו').
- במיסעה מאספלט חדש יש נטייה להשחרת הסימון בשבועות הראשונים ולכן יש לבצע סימון ביניים זמני מיד עם גמר סלילת האספלט או מיד עם גמר ביצוע תיקונים בדרך האספלט. סימון זה יחודש קודם שיחלפו חודשיים ממועד השמתו. במיסעות אחרות אין צורך בסימון ביניים כנ"ל.
- עבור צבעים (Paints) בלבד: אין לסמן את הדרך בצבעי סימון כאשר ההפרש בין טמפרטורת האספלט לבין נקודת הטל קטן מ- 3°C . חישוב נקודת הטל מופיע בנספח ב.

ב. השמת חומרי הסימון:

- להשמה משתמשים בציוד המתאים לסוג חומר הסימון על פי הוראות היצרן. מכינים תדמית (שבלונה) או תדמיות, לסימונים הבאים: כל הסימונים במרכז הנת"ב (804, 813, 814, 926, 927, 503) וסימונים רוחביים 811 ו-821. הצורה ומידות הסימון יהיו כאמור במהדורה האחרונה של התקנות וההנחיות להצבת תמרורים של המפקח על התעבורה. חומר הסימון יכסה בצורה מלאה את כל התדמית.
- תיקון טעויות בעת השמה: אם במהלך העבודה יש צורך לתקן את הסימון בשל טעות או בשל סיבה אחרת, יימחקו הסימונים הקיימים.

ג. כיול ציוד ההשמה

ציוד ההשמה יכיל בשטח צדדי לפני הגיעו לשטח העבודה. מכיילים את הציוד לפי כמויות חומר הסימון והתוספים לביצוע העבודה בהתאם להוראות היצרן והנוהל הנ"ל.

עד לפרסום הנוהל, מכיילים על ידי השמת חומר הסימון ללא כדוריות זכוכית במהירות העבודה של המכונה, על לוח קשיח עשוי פלדה או אלומיניום, שמידותיו 15 ס"מ*30 ס"מ בקירוב. מיד לאחר ההשמה בודקים את עובי שכבת חומר הסימון במצב רטוב באמצעות מד מסרק לפי התקן הישראלי ת"י 785 חלק 10 או באמצעות מד עובי אחר שווה ערך. עובי שכבת חומר הסימון צריכה להתאים לעובי המוצג במפרט היצרן.

כיול לפי כמות כדוריות הזכוכית עבור פס אורך: מכיילים על ידי ריסוס כדוריות זכוכית ללא צבע לאורך של 10 מ' לתוך שקית פלסטיק עבה ושקולה, המותקנת על פתח היציאה של מנפק (Dispenser) כדוריות הזכוכית, במהירות הנסיעה ובלחץ ריסוס המותאמים לקבלת כמויות חומר הסימון הרצויות. לאחר גמר הריסוס שוקלים את כדוריות הזכוכית שבשקית הפלסטיק. משקל כדוריות הזכוכית שהצטברו במעבר המכונה לאורך 10 מ' צריך להיות בהתאם לכמות המצוינת במפרט היצרן.

ד. סיום עבודות הסימון:

- בסיום העבודות אין להשאיר במקום חומרים או אביזרים, לכלוך, כגון חומרי סימן ואביזרי סימון. יש להרחיק לכלוך, שאריות ואריזות ריקות לפי הוראות המשרד לאיכות סביבה.
- אין לפתוח את הדרך לתנועה כללית לפני שחומר הסימון יבש, בהתאם למפרט הטכני והוראות היישום של היצרן.

6.1 כללי

הבטחת התפקוד הראוי של סימונים המיושמים על פני הדרך מהווה בעיה מורכבת בעבור כל רשות האחראית לתפעול ואחזקה של רשת דרכים. מצד אחד, סימונים הינם חלק בלתי נפרד ממערכת התמרור של רשת הדרכים ותפקודם נדרש ומתחייב לצורך תפעול בטוח של הרשת. מצד שני, מערכת הסימונים הינה אחת המערכות הבעייתיות ביותר לאחזקה, כתוצאה מתהליכי ההדרדרות המהירים וקצבי האחזקה הגבוהים הנדרשים לשמירת רמת אחזקה נאותה.

חומרי הסימון נבחנים לפני אישורם במעבדות מוסמכות אשר מבצעות תהליכי הדמייה המעריכים את עמידותם של החומרים בתנאי כביש חי. עמידות זאת מתבטאת במספר היבטים: עמידות תחת תנועת גלגלי הרכב, עמידות בפני מזג אוויר (לרבות UV) ועמידות בפני חומרים הנשפכים על חומרי הסימון.

למרות האמור, תהליכי הבדיקה המעבדתיים אינם מסוגלים לבצע הערכה מדויקת של קיים חומרי הסימון השונים. בפועל, תוצאות המעבדה יכולות לשמש רק כאינדיקציה באשר לקיים של חומרי הסימון בתנאי שדה. על כן, רשות המיישמת חומרי סימון שונים ברשת הדרכים שבאחריותה יכולה לבצע הערכה גסה בלבד של תקופת השירות של אותם חומרים. תפקוד אחראי של הרשות כולל על כן יישום של תהליכי מעקב מסודרים אחר תפקוד הסימון, להבטחת ביצוע של פעולות אחזקה במועד ומניעת הדרדרות הסימונים בקטעי דרך שונים אל מתחת לרמות הרצויות.

6.2 אחזקת הסימון

על רשות התמרור המקומית לוודא שערכי התפקוד של חומרי הסימון יעמדו בדרישות התפקוד המפורטות בטבלאות 6.1 ו- 6.2. ירידה מתחת לערכי הסף מחייבת את רשות בדרך בטיפול בחומרי סימון. שיטות המעקב האפשריות לרמות התפקוד של הסימונים מוצגים בנספח ג.

טבלה מס' 6.1: ערכי תפקוד מינימאליים לאחזקת סימונים המיושמים על פני המיסעה

רמה	ערך מיני' נראות יום mcd/m ² /lux		ערך מיני' נראות לילה mcd/m ² /lux		ערך מיני' התנגדות להחלקה (BPN)
	לבן	צהוב/כתום	לבן	צהוב/כתום	
A	120	120	150	120	45
B	110	110	120	110	45
C	100	80	100	80	45
D	80	80	80	80	40
E	80	80	-	-	35

טבלה מס' 6.2: ערכי תפקוד מינימאליים לאחזקת סימונים המיושמים על אבני שפה

רמה	נראות יום mcd/m ² /lux		מקדם בהיקות			התנגדות להחלקה* (BPN)
	לבן	צהוב	אדום	כחול	שחור	
F1	80	80	B _≥ 0.15	B _≥ 0.10	B _≤ 0.06	25
F2						

הערה: * ערכי התנגדות להחלקה של משטחי הליכה אשר נמדדים בהתאם לתקן ת"י 2279.

הטיפול בסימונים יעשה בהתאם לאחת מהשיטות הבאות: חידוש הסימון או שטיפתו.

6.2.1 חידוש הסימון

חידוש חומר הסימון צריך להתבצע בהתאם להוראות היצרן (של חומר הסימון החדש) גם מבחינת האפשרות של שימוש בחומרי סימון שונים זה על גבי זה וגם מבחינת מספר השכבות. בהיעדר הוראות היצרן, יחודש הסימון בשכבה נוספת אחת מאותו סוג בלבד של חומר הסימון (לא יותר משתי שכבות).

בנוסף לאמור לעיל, עובי (גובה) הסימון במתכונת הסופית לא יעלה על 5 מ"מ. דרישה זו הינה דרישה בטיחותית ובעיקר עבור כלי רכב דו גלגליים.

קיימות שתי שיטות לחידוש הסימון: הראשונה הינה הוספת שכבה של חומר הסימון בהתאם להוראות היצרן (במקרה וקיימת אפשרות לחידוש בשיטה זאת). השיטה השנייה הינה חידוש הסימון (ליישמו מחדש) לאחר הסרת הסימון הקיים.

בכל מקרה יריעות מוכנות מראש יחודשו אך ורק לאחר הסרה של היריעה הקיימת וביצוע יישום של יריעה חדשה.

חידוש חומר הסימון על ידי הוספת שכבה אחרת הן מאותו סוג של חומר הסימון והן מסוג אחר (בהתאם להוראות היצרן) הינה פעולה נפוצה בקרב רשויות הדרך ובעיקר כאשר מדובר בחומרי סימון חד רכיביים בעלי תוחלת חיים קצרה (צבעים).

חידוש חומר הסימון בחלק מהתנאים דורש הסרה של הסימון הקיים ויישום שכבת חומר סימון חדשה. הסרת חומרי הסימון הקיימים נדרשת לרוב במקרים הבאים:

- חומר היישום הקיים מורכב מפס סימון תעשייתי, אותו יש להסיר בכל מקרה לפני יישום חוזר.
- הסימונים הקיימים סובלים מהתקלפות או בעיות אחרות בהדבקה לפני האספלט.
- סימון חוזר על הסימונים הקיימים יביא את הסימונים הקיימים לעובי העולה על סף הנדרש (5 מ"מ), או לחליפין יגרום ל- "סגירת" מירקם של פני חומר הסימון המתקבל.
- הסימונים הקיימים הינם סימונים בעלי טקסטורה מיוחדת, העלולה לגרום לעיוות הגימור של הסימונים המחודשים.
- חומר הסימון המשמש לחידוש הסימונים הינו מסוג שונה מאשר סוג החומר הקיים ויצרן החומר אוסר חידוש באופן זה.
- קיימת בעייה בתאום מדויק בין מיקום הסימונים החדשים לבין מיקום הסימונים הישנים.

במקרים של חידוש הסימונים באותו המיקום, פעולת ההסרה של הסימונים הקיימים דורשת בדרך כלל הקפדה פחות חמורה מאשר במקרים של העתקת מיקום. זאת, מכיוון שהסרה שאינה מושלמת (לא מדובר כמובן בהסרה רשלנית ממש) הינה בעיקר בעייה אסתטית ואינה גורמת לסכנת הטעייה של המשתמשים בדרך.

כאשר מדובר בעבודה באתרי סלילה למיניהם, ניתן לעשות שימוש ביריעות סימון תעשייתיות זמניות. אחת התכונות המייחדות מוצרים אלו הינו ביכולת ההסרה הקלה יחסית של היריעות, עם התעוררות הצורך בביצוע שינויים בתוכנית התנועה. השימוש באמצעי זה מומלץ במיוחד כאשר נדרש לבצע סימון זמני על פני המיסעה הסופיים (שאינם מיועדים לריבוד נוסף במהלך עבודות הסלילה). לאחר הסרת היריעות הזמניות, לא נשארים כל סימנים לסימון הזמני.

שטיפה של הסימון הקיים על פני הדרך תיעשה באמצעות לחץ מים, כך שלא יגרם נזק למיסעה ולסימון. לאחר שטיפה וניקוי של חומרי סימון, משתפרת רמת התפקוד כולל ההתנגדות להחלקה ובעיקר הנראות ביום. פעולת שטיפה תבוצע רק לאחר שבוצעה בדיקת שטח ידנית שתוודא שתהליך השטיפה יביא לתוצאות המקוות. כמו כן יש לבצע בדיקה כלכלית לבחינת עלויות הטיפול בשטיפה אל מול החלופה של חידוש הסימון (כולל התייחסות לתקופת השירות הארוכה יותר של הסימונים המחודשים).

7.1 כללי

נושא הסרה והסתרה (כלהלך "העלמה") של סימון על פני הדרך הינו נושא חשוב ויש לו השפעה ניכרת על בטיחות משתמשי הדרך. העלמה לקויה של הסימון הקיים עלולה להטעות את הנהג בעת נסיעתו ופוגעת בבטיחות התנועה בדרך.

7.2 שיטות ההסרה וההסתרה

7.2.1 הסרת סימון קיים

הסרת סימון קיים משמעותה הורדה פיזית של חומר הסימון או היריעה. ההסרה נעשית באמצעות שימוש במכונות המבוססות על מספר עקרונות עיקריים:

– **שיטת הגירוד (Grinding)** – עושה שימוש בדיסק בעל פנים המצופים בבליטות קשות, המסתובב במקביל לפני המיסעה (בדומה למכשירים לביצוע "פוליש" ברצפות). שיטה זו להסרת חומרי סימון הינה שיטה מקובלת מאד בתחום זה.

– **שיטת הקירצוף (Scarifying)** – מקרצפות ייעודיות הפועלות בדומה למקרצפות רגילות ואולם ברוחב טיפול צר הרבה יותר. שיטה זו הינה שיטה פשוטה יחסית, אולם פעולת הקרצוף מותירה בדרך כלל רצועה שקועה, המפריעה הן בהבט של מראה השטח והן בעת תנועה על פני המיסעה.

– **שיטת התזת כדוריות (Shot blasting)** – מכשירים המתזים כדוריות פלדה בגודל של כ- 1-2 מ"מ, במהירות גבוהה אל פני המיסעה. הכדוריות מכות על פני המיסעה ומסירות את הפנים העליונים של המיסעה. המכשיר כולל התקנים מיוחדים לאיסוף הכדוריות וכן החומר המוסר מפני המיסעה. כאשר מצב המיסעה טוב, יכול מכשיר זה לתת פתרון טוב להסרת חומר הסימון ויחד עם זאת להשאיר "עקבות" עדינים יותר מאלו המתקבלים בשיטת הקרצוף.

– **שיטת השטיפה בלחץ גבוה של מים** – שיטה המבוססת על התזת מים בלחץ גבוה אל פני המיסעה לצורך הסרת חומרי הסימון הקיימים. כאשר פני המיסעה יציבים מאד, ניתן לבצע את הסרת הסימון באופן יעיל וללא פגיעה בולטת במיסעה. לעומת זאת, במקרים שבהם האספלט אינו אחיד, קיימים אזורי חולשה ועוד, עלול הטיפול ליצור התפוררות של שכבת האספלט העליונה.

שיטות ההסרה המוזכרות לעיל צריכות להבטיח הסרה של הסימון הקיים בהתאם לדרישת הרשות ללא גרימת כל נזק לפני השכבות האספלטיות. טרם להסרה יש לבצע הוכחת יכולת בקטע צדדי על מנת להבטיח אי גרימת נזק לשכבות האספלטיות.

קיימים מקרים שבהם יש צורך לבצע הסרה של הסימונים קיימים מפני המיסעה. התרחישים העיקריים שבגינם יש צורך לבצע את ההסרה הינם:

א. **ביטול סימון קיימים** – כתוצאה משינויים בתוכנית התנועתית של הדרך, או הצומת, יש לעיתים לבצע הסרה מלאה של הסימונים הקיימים. המקרה הנפוץ במקרה זה הינו במסגרת פעילות באתרי עבודה, כאשר שלבים שונים של תהליך העבודה דורש שינויים תכופים בתוכנית התנועה. בנוסף, קיימים מקרים שבהם מתבצעים שינויים תנועתיים בקטעים שאינם מהווים אתרי סלילה. כאשר נדרש ביטול של הסימונים הקיימים, יש צורך בביצוע פעולה יסודית במיוחד של הסרת הסימון, על מנת למנוע כל מצב של הטעיית ציבור המשתמשים בדרך.

ב. **חידוש סימונים קיימים** – גם כאשר מבצעים חידוש של סימונים קיימים, יש לעיתים צורך לבצע פעולות של הסרת חומרי הסימון הקיימים מפני המיסעה, לפני יישום החומרים החדשים.

7.2.2 הסתרת הסימון

הסתרת סימון קיים נעשית באמצעות כיסוי הסימון הקיים בחומר הסתרה המיועד לכך. קיימים חומרים שונים בהם ניתן לבצע הסתרת סימון קיים, לרבות צבעי דרך שחורים, חומרי סימון שחורים בעלי תוחלת חיים ארוכה, וכן יריעות סימון תעשייתיות שחורות.

חומרי הסימון המיועדים להסתרה בעלי תוחלת חיים ארוכה כוללים חומרים תרמופלסטיים או דו רכיביים. חומרים אלה עמידים יותר מצבעים מפני שחיקה של כלי רכב. מכאן להסתרה לטווח ארוך מומלץ להשתמש בחומרים אלו או ביריעות תעשייתיות, בעוד שרק לטווח הקצר ניתן להשתמש בצבעים לצורך הסתרה.

חומרי הסימון המיועדים להסתרה הם חומרי סימון בגוון שחור אשר עמדו בדרישות התקן הישראלי ת"י 7962 (חומרים לסימון דרכים- חומרים לכיסוי סימון קיים) ונמצאים ברשימת ההתקנים המאושרים של הוועדה הבין משרדית.

להלן מספר דרישות מחומרי הסימון המיועדים להסתרה:

א. עובי (גובה) שכבת הסימון הסופית לאחר ההסתרה לא תעלה על 5 מ"מ מסיבות בטיחותיות.

ב. אין להשתמש בשיטות הסתרה לסימון קיים המיושם בטקסטורה כגון משוננת, דמעות, מחוספסת, בולטת וכו'. למקרים הנ"ל יש להשתמש בהסרה בלבד.

הרשות תבחר באחת משיטות ההעלמה כך שימוזערו ההבדלים בגוון בין רקע המיסעה לסימון המועלם (בהסרה או בהסתרה) אשר עלולים לגרום להטעייתו של הנהג בעת נסיעתו.

7.3 **מגבלות הנוגעות לשיטות ההסרה והסתרה**

קיימות מספר בעיות טכניות עיקריות לנושא ההסרה וההסתרה כלהלן:

גוון: קיימת בעיה באיתור חומר סימון המיועד להסתרה בעל גוון דומה לגוון פני המיסעה. פני מיסעה מאספלט חדש הם בעלי גוון שחור אפור. עם הזמן גוון האספלט הולך ונדהה והופך להיות אפור בהיר. חומרים המיועדים להסתרה הם שחורים ויישומם על מיסעה בהירה עלול ליצור פערי

גוון הגורמים להטעיית הנהג בעת נסיעתו. הבעיה גם קיימת כאשר מבצעים הסרה באספלט ישן בהיר. ההסרה מורידה מהשכבה העליונה ומתגלה השכבה היותר כהה של האספלט הדבר הגורם בתורו להבדלים בגוון.

פגיעה בפני המיסעה: נושא זה רלוונטי בעיקר לשיטת ההסרה. חלק משיטות אלה גורמות לפירוק פני המיסעה.

תפקוד לאורך זמן: לאורך התקופה הנדרשת חומר הסימון המיועד להסתרה צריך למלא את תפקידו ולא להישחק (במקרה של חומרי סימון) או להתנדנד (במקרה של יריעות). נושא זה הינו בעל חשיבות בטיחות גבוהה מאחר ותפקוד גרוע של חומרי ההסתרה עלול להטעות את הנהג בעת נסיעתו.

1	הודעת התעבורה (קביעת תמרורים), התשע"א – 2010
2	תקנות והנחיות להצבת תמרורים, התחבורה, 2012
3	התקני תנועה, בטיחות ורמזורים מאושרים להצבה בדרך", הוועדה הבין-משרדית להתקני תנועה ובטיחות
4	המדריך להסדרי תנועה באתרי עבודות בדרכים בין-עירוניות, משרד התחבורה וחברת נתיבי ישראל.
5	מטר ק. וירון ר., "חומרים לסימון דרכים" משרד התחבורה, 2009
6	ת"י 934 : חומרים לסימון דרכים : הכנת דרכי אספלט לסימון והשמתו והשמת חומרי סימון.
7	ת"י 1871 : צבעים, חומרים פלסטיים קרים, וחומרים תרמופלסטיים – דרישות.
8	ת"י 1423 - תוספים בהפלה חופשית, כדוריות זכוכית, אגרגטים למניעת החלקה ותערובות של שניהם.
9	ת"י 1790 – סימונים מוכנים מראש.
10	ת"י 7962 – חומרים שחורים להסתרת סימוני דרכים קיימים – דרישות.

מילון מונחים

Binder	קשרן
Solvent	ממיס
Alkyd	אלקידי
Acrylic	אקרילי
Luminance factor	מקדם בהיקות
Hydro carbonic	הידרוקרבוני
Anti Skid	אגרגטים המשפרים התנגדות להחלקה
Thermoplastic	תרמופלסטי
Cold Plastic	פלסטי קר

נספחים

נספח א- סקירה ספרותית

1.א קריטריונים והמלצות הנהוגים בעולם באשר לבחירת סוג חומר הסימון

בחלק ממדינות העולם יצאו בשנים האחרונות הנחיות ודרישות המגדירות מהם סוגי החומרים שבהם יש לעשות בקטעי דרך שונים. סעיף זה יביא דוגמאות לאותן הנחיות, לרבות דיון בהגיון העומד מאחורי אותן הנחיות.

הנחיות שפורסמו בניו זילנד (Alister, 2004) נוגעות בעיקר ליישום חומרי סימון שאינם מוגדרים באופן מובהק כחומרי סימון בעלי תוחלת חיים ארוכה. ההנחיות דורשות שבעת בחירת סוגים של סימונים ליישום בכביש נלקחים בחשבון מספר גורמים כמו אחוז הרכב הכבד בכביש, טקסטורת פני המיסעה ועוד. ואולם, על פי אותן הנחיות, הפרמטר העיקרי לבחירת חומר הסימון הינו נפח התנועה. במרבית הכבישים, החומר המיושם הינו צבע דרך מבוסס מים. ככל שנפחי התנועה בדרך עולים, כך נדרש יישום צבע בעובי גדול יותר, החל מעובי של 180 מיקרון בעבור כבישים עם תנועה דלה יחסית ועד ל- 300 מיקרון במקרים של תנועה העולה על 8000 כלי רכב ליום. בכבישים עם תנועה העולה על 8000 כלי רכב ליום מומלץ שימוש בחומרי סימון שתוחלת חיים ארוך כמו חומרים תרמופלסטיים או חומרים דו רכיביים.

המכון לחקר תחבורה במדינת ארקנסו בארה"ב (1998) קבע הנחיות לשימוש בסוגים שונים של חומרי סימון. ניתן לסכם את הנחיות אלו באופן הבא:

- כבישים בעלי נפח תנועה קטן מ- 2000 כלי רכב ליום משתמשים בצבעים רגילים.
- כבישים בעלי נפח תנועה גדול מ- 2000 כלי רכב ליום, משתמשים בחומרים בעלי תוחלת חיים ארוכה (הנחיות מקומיות מתייחסות לחומרים תרמופלסטיים ויריעות).
- בכבישים עם ריבוי נתיבים ומהירות נסיעה גבוהה, משתמשים בקווים אורכיים בחומרים משוננים בעלי תוחלת חיים ארוכה (לרבות חומרים תרמופלסטיים).

ההנחיות באוהיו בארה"ב (1999) הינן, שבכבישים עם נפחי תנועה מעל 6000 כלי רכב ליום ומצב סביר של פני המיסעה, יעשה שימוש בחומרים בעלי תוחלת חיים ארוכה (ההמלצות המקומיות מתייחסות לחומרים תרמופלסטיים או דו רכיביים). אם פני המיסעה במצב גרוע יעשה שימוש בצבעים קונבנציונאליים. זאת, מתוך הנחה שהכביש אמור לעבור תהליך של שיקום או טיפול בתוך זמן קצר. הנחיות דומות קיימות במדינות דקוטה, נבאדה וטנסי (1999) שבארה"ב, ואולם הגבול בין השימוש בצבעי דרך רגילים לחומרים בעלי תוחלת חיים ארוכה הינו בנפח תנועה של 10,000, 4000 ו- 5000 כר"י, בהתאמה. במדינת טנסי מומלץ שבכבישים בעלי תנועה של למעלה מ- 75,000 כר"י יעשה שימוש ביריעות תעשייתיות.

במדינת ויסקונסין, נעשה שימוש בחומרי סימון בעלי תוחלת חיים ארוכה בלבד (הבחירה המקומית הינה של חומרים אפוקסיים בדרך כלל), כאשר השימוש בצבעי דרך רגילים מוגבל מאד.

במדינת טקסס (Texas DOT, 2004) שבארה"ב נעשה שימוש בחומרי סימון תרמופלסטיים כמעט בכל כבישי המדינה. על פי הערכתם תוחלת החיים של החומרים התרמופלסטיים מגיעה עד לכ- 4 שנים בתנאי תנועה של עד 10,000 כר"י ולכ- 3 שנים בתנאים של תנועה מעל ל- 10,000 כר"י. השימוש בצבעי דרך אינו כדאי כלכלית, בגלל קצב החידוש הגבוה.

בנוסף לנפח התנועה נלקחים בחשבון פרמטרים נוספים כמו נוכחות של סמנים (כפתורי כביש) ותאורה. ההנחיות של מדינת ניוזלנד (2002) ליישום הסימונים בכבישים בינעירוניים מציינות שלא נדרשת נראות לילה של הסימון כאשר קיימים סמנים (עיני חתול). כמו כן ההנחיות של FHWA (2010) מציינות גם הן שאין דרישה לנראות לילה של חומרי הסימון כאשר קיימת תאורת כביש.

א.2 רמות סף נדרשות במדינות שונות בנוגע לתפקוד חומרי סימון מסוגים שונים

א.2.1 כללי

רמות הסף הנדרשות בתפקוד חומרי סימון שונים נובעות תמיד מתוך ניסיון לגשר ולאזן בין שלשה גורמים חשובים:

- הצרכים התפקודיים והבטיחותיים הנדרשים מחומר הסימון.
- קיומם של חומרים זמינים המסוגלים לספק את התכונות הנדרשות.
- העלות הכלכלית של אותם חומרים.

רמות הסף השונות בהתאם לספרות העולמית, מתייחסות לעיתים קרובות לדרישות סף שונות בעבור חומרים שונים ובהתייחס ליכולות ההנדסיות של אותם חומרים. כך, בעבור חומרים בעלי תוחלת חיים ארוכה נדרשות רמות גבוהות יותר בדרך כלל הן באשר לניראות והן באשר להתנגדות להחלקה. ובהתאם, בקטעים שבהם נדרשת רמה תפקודית גבוהה יותר, ידרש גם יישום חומרים בעלי איכויות גבוהות מהרגיל.

א.2.2 רמות סף נדרשות בנראות הסימון

א. כללי

נושא נראות הסימון מורכב ממספר פרמטרים: נראות יום, נראות לילה וקואורדינאטות גוון. נושא קואורדינאטות הגוון נבדק בדרך כלל רק כחלק מאישור עמידת החומר בדרישות התקנים.

נושא נראות היום במהלך תקופת השירות נבדק, או באופן ישיר על ידי מדידה במכשירי מדידה, או כפי שנהוג במדינות לא מעטות, על ידי בחינת רמת השרידות הפיזית של החומר. נושא נראות הלילה נחשב במקרים רבים כנקודה החשובה ביותר בהבטחת התפקוד של הסימונים בהבט של הנראות. במחקר שבוצע על ידי Abboud and Bowman (2002) התקבל שרמות סף מקובלות במקומות שונים בהקשר לנראות הלילה נעות בתחום של 30 ± 100 מיליקנדלה למ"ר ללוקס.

ב. דרישות סף במדינות שונות

טבלה מס' א.1 מפרטת דרישות מינימליות של נראות לילה של חומרי סימון בכבישים, כפי שפורסם על ידי ה-FHWA האמריקאי (Turner, 1999). דרישות נראות הלילה נקבעות כפונקציה של סיווג הדרך (בעיקר בהקשר של מהירות תנועה בדרך) ונוכחות תאורה ו/או כפתורי דרך מחזירי אור (RRPM - Raised Retroreflective Pavement Markers). כפי שנראה, ככל שמהירות התנועה בדרך עולה, כך נדרשות רמות גבוהות יותר של נראות לילה, על מנת לאפשר זיהוי מוקדם מספיק של הסימון. חשוב מאד לראות את ההבדל העצום בדרישות בין קטעי כביש שבהם מותקנים סמנים (כפתורי דרך) מחזירי אור לבין קטעים שבהם לא מותקנים סמנים כאלו. בעוד שבמהירויות של כ-100 קמ"ש ומעלה נדרשות רמות נראות לילה גבוהות מאד (שקשה לשמור עליהן לאורך זמן) במקרה של קטע דרך ללא סמנים מחזירי אור, הדרישות בקטעים שיש בהם סמנים מחזירי אור נמוכות באופן משמעותי ביותר. כמו כן, חשוב לשים לב לדרישות הנמוכות יותר מחומרי הסימון בעלי הגוון הצהוב. הדרישות המתונות יותר מתייחסות בעיקר לעובדה שבחומרי הסימון הצהובים יש קושי גדול יותר לשמור על רמות החזר אור גבוהות כמו בחומרי הסימון הלבנים (ולאו דווקא בהקשר לחשיבות הסימון עצמו).

טבלה מס' א.1: הנחיות FHWA בארה"ב בנוגע לרמות סף לנראות לילה של חומרים לסימון דרכים (רמות

מינימאליות לאורך כל תקופת השירות) (Turner, 1999).

	Speed Classification ^a		
	Non-Freeway	Non-Freeway	Freeway
Option 1	≤40 mph	≥45 mph	≥55 mph
Option 2	≤40 mph	≥45 mph	≥60 mph >10,000 ADT
Option 3	≤40 mph	45–55 mph	≥60 mph
Material			
White	85	100	150
White with/RRPMs ^b	30	35	70
Yellow	55	65	100
Yellow with/RRPMs ^b	30	35	70

Note:

a - Retroreflectivity values are measured at 30-m (98.4-ft) geometry.

b - Levels of retroreflectivity for the material classifications "White with RRPMs" and "Yellow with RRPMs" are for roads with supplemental delineation aids, retroreflective raised pavement markers (RRPMs), and/or roadway lighting.

בשלושת מדינות בארה"ב: וושינגטון, לויזיאנה וצפון קרוליינה (Hawkins, 2007) עשו שימוש בקבוצות דיון מקצועיות על מנת לקבוע ערכים של נראות לילה לצורך אחזקה (ערכים שיש לשמור עליהם לאורך כל תקופת השירות). קביעת ערכים אלו הסתמכה אך ורק על המהירות המותרת בכביש. התוצאות מובאות בטבלה מס' א.2. מהתבוננות בטבלה א.2, ניתן לראות שבכבישים בעלי מהירות מתחת לערך של 30 מייל/שעה מספיקה עצם נוכחותו של הסימון, ללא כל דרישה לנראות לילה.

טבלה מס' א.2: רמות סף נדרשות לנראות לילה בצפון קרוליינה, לואיזינה וושינגטון בארה"ב

Marking Color	Speed Category	Washington		Louisiana ¹		North Carolina	
		Speed ²	R _L ³	Speed ²	R _L ³	Speed ²	R _L ³
White	Low	≤ 30 mph	Presence ⁴	≤ 30 mph	Presence ⁴	≤ 30 mph	Presence ⁴
	Middle	35-50 mph	80	35-55 mph	75	35-40 mph	65
	High	≥ 55 mph	100	≥ 60 mph	100	Non-freeway ≥ 45 mph	85
	Highest ⁵	---	---	---	---	Freeway	100
Yellow	Low	≤ 30 mph	Presence ⁴	≤ 30 mph	Presence ⁴	≤ 30 mph	Presence ⁴
	Middle	35-50 mph	60	35-55 mph	50	35-40 mph	45
	High	≥ 55 mph	80	≥ 60 mph	80	Non-freeway ≥ 45 mph	55
	Highest	---	---	---	---	Freeway	80

Notes:

¹ The Louisiana workshop developed an alternative table based on functional classification using the same R_L values.

² Speed is the posted or statutory speed.

³ R_L is in mcd/m²/lux measured at 30 meter geometry.

⁴ Presence is a visible pavement marking at night, but with no retroreflectivity value.

⁵ The "Highest" speed category was developed in only one workshop.

R_L is based on the marking only, and does not account for impacts of RRPMs or ambient lighting.

The minimum values may be reduced if supplemental devices (such as retroreflective raised pavement markers, delineators, or lighting) are used.

ATSSA (American Traffic Safety Services Association) שבארה"ב המליץ על ערכים מינימליים שווים לנראות לילה בעבור שני הגוונים לבן וצהוב. זאת, בניגוד לגישה המקובלת, לפיה מאפשרים ערכים נמוכים יותר בגוון הצהוב. כאשר מהירות הנסיעה קטנה מ- 50 מייל/שעה (80.5 קמ"ש), הערך המומלץ לנראות לילה מינימלית הינו 100 mcd/m²/lux. כאשר מהירות הנסיעה מעל ל- 55 מייל/שעה, ערך נראות הלילה המינימלי יהיה 125 mcd/m²/lux.

על פי מסמך Design Manual for Roads and Bridges (2007) ערכי הסף לנראות לילה, שרידות (Durability) ומקדם בהיקות שיש לשמור עליהם לאורך תקופת השירות של חומר הסימון מופיעים בטבלה מס' א.3. ערכים אלו הנם פונקציה של סוג הסימון. בעבור סימונים בעלי חשיבות בטיחותית גבוהה במיוחד, כמו קווי עצירה, הדרישה גדולה יותר. במקרים שבהם מדובר בשטחים גדולים, הנראים ביתר קלות ממרחק, ניתנת הקלה מסוימת ברמת הדרישות.

טבלה מס' א.3: עמידת תכונות התפקוד של חומרי הסימון בדרישות סף לצורך אחזקה Design

(Manual for Roads and Bridges, 2007)

תכונות	ערכי סף לצורך אחזקה
נראות לילה	$100 \text{ mcd/m}^2/\text{lux} <$ עבור סימנים למתן זכות קדימה או לקווי עצירה
	$80 \text{ mcd/m}^2/\text{lux} <$ סימנים עם שטח צביעה גדול כגון חצים
	$35 \text{ mcd/m}^2/\text{lux} <$ עבור מיסעה רטובה
שרידות	$70\% <$ מהחומר נשאר
מקדם בהיקות	$0.3 <$ עבור גוון לבן
	$0.2 <$ עבור צהוב

א.2. 3 רמות סף נדרשות בנוגע להתנגדות להחלקה

נושא הרמה הנדרשת להתנגדות להחלקה הינו נושא בעייתי בהקשר של חומרי סימון. אי עמידה ברמות נאותות של התנגדות להחלקה מגבירה במידה משמעותית את הסיכון להתרחשות תאונות, בעיקר תאונות של כלי רכב דו גלגליים.

עם זאת, עד היום מרבית חומרי הסימון אינם יכולים לספק רמות גבוהות של התנגדות להחלקה לאורך זמן. אמצעים שונים המגבירים את ההתנגדות להחלקה הינם יעילים מאד בחומר הסימון החדש ואולם אינם עמידים לאורך כל תקופת השירות. נקודה נוספת המגבירה את בעייתיות נושא ההתנגדות להחלקה הינה שתוספים שונים לשיפור ההתנגדות להחלקה גורמים לעליה משמעותית בקצב צבירת הלכלוך על פני הסימון, בעיקר כתוצאה משפשוף של הגומי בצמיגי כלי הרכב. נושא זה האחרון משמעותי עוד יותר בתנאים של הארץ, המשלבים אקלים חם עם עונה יבשה האורכת 8 חודשים ויותר.

במצב הנוכחי, מרבית הדרישות הנוגעות לנושא התנגדות להחלקה מתיחסות לערכים תקינים, הנוגעים לחומר הסימון במצבו החדש ובמקרים נדירים יותר במצבו לאחר תהליך מואץ של שחיקה או בלייה. דרישות הנוגעות להתנגדות להחלקה מתיחסות כמעט תמיד לחומרי סימון בעלי תוחלת חיים ארוכה, במקרים רבים חומרים המכילים גם תוספים שונים לשיפור ההתנגדות להחלקה.

טבלה מס' א.4 מתארת דרישות מינימום להתנגדות להחלקה על פי מסמך Design Manual for Roads and Bridges (2007). כמו דרישות המסמך בנושא הנראות, כך גם דרישות המסמך בנושא התנגדות להחלקה תלויות בסוג הסימון. סימונים על פני הדרך אשר השטח שלהם גדול (חצים ואיי הפרדה צבועים) צריכים להיות עם ערכים גבוהים יותר של התנגדות להחלקה.

טבלה מס' 4.א: רמות סף של התנגדות להחלקה לצורך אחזקה

(Design Manual for Roads and Bridges, 2007)

רמות סף להתנגדות להחלקה (BPN)	שטח צביעה
45 <	רגיל
55 <	גדול כגון חצים, מספרים, אותיות
55 <	אי הפרדה צבועה (צהוב) – Transverse yellow bar markings

4.2.א דרישות אחרות הנוגעות לתפקוד הסימון

נושא נוסף שראוי להזכיר בהקשר זה הינו עובי הסימון. עובי גדול של הסימון עלול לגרום לבעייתיות בהקשר לתנועה בטיחותית של כלי רכב דו גלגליים. טבלה מס' 5.א מסכמת מספר הנחיות שפורסמו בעולם, המגבילות את עובי הסימון מהסיבה האמורה. מרבית המקורות מגבילים את עובי הסימון לכ- 5 מ"מ, אם בצביעה ראשונה ואם לאחר צביעה חוזרת.

טבלה מס' 5.א: תחומי עובי מותרים של סימונים על פני הדרך במקומות שונים בעולם

מראה מקום	הערות	תחום מותר לעובי סימני הסימונים	מקור
Carnaby (2001)	בצביעה חוזרת מותר להגיע לעובי של 5 מ"מ	2-2.5 מ"מ	ניו זילנד
Migletz et al. (1994)	בצביעה חוזרת מותר להגיע לעובי של עד 4 מ"מ	עד 3 מ"מ	ניו זילנד
New Zealand, Land Transport Authority (1999)	בצביעה חוזרת מותר להגיע לעובי של 5 מ"מ	2.5 מ"מ ± 0.5 מ"מ	אוסטרליה
Carnaby (2001)	בצביעה חוזרת מותר להגיע לעובי של 5 מ"מ	2-2.5 מ"מ	ניו זילנד
Startline, Wellington Veterans Cycling Club (2001)		עד 4 מ"מ	שבדיה
Startline, Wellington Veterans Cycling Club (2001)		עד 1.5 מ"מ	בריטניה

3.א העלמה של סימון קיים

על פי המצב כיום עיקר פעילויות ההעלמה נעשה בשתי שיטות: הסתרה והסרה. הסתרת הסימון או כיסוי מתבצע באמצעות חומרי סימון שחורים המיועדים לכך (לרבות צבעים ויריעות). הסרה פיזית של הסימון הקיים מתבצע באמצעות לחץ גבוה של מים או בהתזת כדוריות פלדה.

כל השיטות הנ"ל סובלות מבעיות שונות, הכוללות קצבי עבודה נמוכים (בשיטת התזת הכדוריות), סכנה לגרימת נזקים לתשתית האספלטית (עבודה בלחץ גבוה של מים) ובעיות אמינות באיכות הפעולה (לרבות עבודות הסתרה באמצעות צביעה).

הספרות העולמית דנה רבות בנושא העלמה של סימון קיים וכל מדינה בוחנת ובוחרת את השיטה שמתאימה לה. חלק מהמדינות בארה"ב, משתמשים בחומרי סימון שחורים המיועדים להסתרה (לרבות צבעים חד רכיביים) אך ורק לתקופת זמן קצרה (Florida DOT, California MUTCD). הסיבה לכך הינה שהצבע השחור נשחק מהר עקב מעבר כלי הרכב עליו ומתגלה מתחתיו את הצבע המוסתר, הדבר הגורם להטעיית הנהג ופוגע בבטיחות משתמשי הדרך.

גם השימוש ביריעות שחורות בחלק מהמדינות מהווה פתרון קצר טווח. למרות שהסתרה על ידי היריעות מהווה פתרון עדיף מאשר צבע חד רכיבי שחור. לעומת זאת ההנחיות של מדינת טקסס (Texas MUTCD) קובעות שגוון היריעות צריך להתאים לגוון האספלט. כמו כן ההנחיות של טקסס קובעות כאשר גוון האספלט בהיר יש להסיר את הסימון הקיים ולא להשתמש בחומרים להסתרה.

בחלק מהמדינות בעולם קיימות הנחיות להעלמת סימון קיים בכבישים. בהתאם להנחיות של מדינת הונג קונג (2010), חומרי הסימון המיועדים להסתרה צריכים להיות בעלי גוון כהה ועשויים מחומרים תרמופלסטיים או דו רכיביים. חומרים אלה עמידים יותר מצבעים מפני שחיקה של כלי רכב. מכאן להסתרה לטווח ארך מומלץ להשתמש בחומרים אלו, בעוד שרק לטווח הקצר ניתן להשתמש בצבעים לצורך הסתרה. ההנחיות קובעות מספר דרישות מחומר הסימון המיועד להסתרה כלהלן:

- גוון חומר ההסתרה צריך להתאים לגוון פני המיסעה.
- החומר לא מכיל כדוריות זכוכית על מנת לא להחזיר אור.
- התנגדות החומר להחלקה צריכה להיות מעל ל BPN 45.
- עובי (גובה) שכבת הסימון הסופית לאחר ההסתרה לא תעלה על 6 מ"מ מסיבות בטיחותיות.

ההנחיות של FHWA ו- WSDOT (הנחיות של משרד התחבורה של מדינת ויסקונסין) קובעות ששיטות ההסרה לחומרי סימון בעלי תוחלת חיים ארוכה ובעיקר מסוג MMA (מתיל

מתקרילט) צריכות להיות על יד גירוד הסימון (Grinding) ולא על ידי שיטת הורדת החומר בלחץ (hydroblaster) כי שיטה זו גורמת לפירוק המיסעה (במקרה זה מיסעה מבטון). כמו כן הנחיות אלה מגדירות כי רשויות הדרך משתמשים בחומרי סימון בעלי גוון אפור להסתרת סימון קיים. שימוש בגוון האפור ניעשה על מנת להתאים את גוון חומר הסימון המיועד להסתרה לבין גוון מיסעת הבטון.

ההנחיות הניוזילנדיות (NZRF, 2011) מגדירות שיטות שונות להעלמת הסימון הקיים. כמו כן ההנחיות מגדירות עבור כל סוג של מיסעה את שיטת ההעלמה המתאימה לו. שיטות ההעלמה המוזכרות בהנחיות כוללות: לחץ מים גבוה, גירוד הסימון הקיים, התזת כדוריות, שימוש בחומרים כימיקאליים המיועדים להסרה, חימום, חומרים סימון מיועדים להסתרה (לרבות חומרים תרמופלסטיים) והסרה מכאנית. גם הנחיות האוסטרליות מגדירות שיטות דומות להעלמה ונותנות המלצות לשימוש לבחירת השיטה המתאימה כתלות בסוג המיסעה וסוג חומר הסימון הקיים עליה (RTA,2010).

אוניברסיטת נבראסקה ארה"ב ביצעה ניסוי שטח לבחינת שיטות ההעלמה השונות (Cho et al. 2011). במסגרת הניסוי יושמו על מיסעות מבטון ומיסעות אספלטיות צבעים ויריעות מוכנות מראש בגוונים לבן וצהוב. שיטות ההעלמה אשר נבחנו במסגרת הניסוי כללו: לחץ מים גבוה, התזת קרח יבש, התזת כדוריות, חימום ושימוש בחומרים כימיקאליים. תוצאות הניסוי הראו על כך ששימוש בחומרים כימיקאליים הינה השיטה היעילה ביותר להורדת חומר סימון קיים. בנוסף שיטה זו הינה בטוחה לסביבה ובעלת שיעור גבוה של יחס תועלת עלות. לעומת זאת החיסרון בשיטת החומרים הכימיקאליים הינו בזמן המתנה. יש להשאיר את החומרים הכימיקאליים לפחות חצי שעה מעל לחומר הסימון הקיים לפני הורדתם.

1	Abboud, N. and Bowman, B. L., "Establishing a Crash-Based Retroreflectivity Threshold." Washington, D.C., 81st Transportation Research Board Annual Meeting, (2002)
2	Alister Harlow, "Road marking Policy Guide: Road markings Where Do I Use What Material?", The NZ Road markers Federation Inc, 2004.
3	Arkansas DOT, "Pavement Marking Matrix on Construction Projects", PVMTSEL4.XLS, Arkansas Department of Transportation, 1998.
4	California MUTCD For Streets And Highways, FHWA'S MUTCD 2003 Edition .
5	Carnaby B., "Retro and Skid", New Zealand Road Markers Federation Conference, New Zealand, 2001.
6	Carnaby B., "Retro and Skid", New Zealand Road Markers Federation Conference, New Zealand, 2001.
7	Cho Y., Kabassi K. & Pyeon J., "Effectiveness Study on Temporary Pavement Marking Removals Methods", Nebraska Department of Roads (NDOR), 2011.
8	Design Manual for Roads and bridges, The Highway Agency, Transport Scotland, Welsh Assembly Government, DRD Northern Ireland, "Inspection and Maintenance of Road Marking and Road Markings and Road Studs on Motorways and All-Purpose Trunk Roads", TD 26/07 Vol. 8, Part 2, 2007.
9	FHWA (2010), "Summary of the MUTCD Pavement Marking Retroreflectivity Standard" FHWA-SA-10-015.
10	FHWA/WSDOT Pavement marking removal issues and solutions joint review, final report, 2006.

11	Florid DOT, Development of Improved procedures for the removal of pavement markings during FDOT construction Projects, Summary of Final Report WPI# 0510792, 1999.
12	Hawkins G. and Pratt P., "Impact of Implementation Minimum Levels of Pavement Marking Retroreflectivity", draft Final Report, FHWA, 2007.
13	Highways Dept, Guidance Notes on Application of Thermoplastic Materials for Road Markings, Hong Kong, August 2010.
14	Land Transport Safety Authority, "Traffic Standards and Guidelines, 1999 Survey-Skid Resistance", RSS-10, ISSN 1174-7161, New ealand, 1999.
15	Migletz J., Fish K. and Graham L., "Roadway Delineation Practices Handbook", FHWA-SA-93-001, 1994.
16	NZRF, Line Removal Guide, Rev 2, The New Zealand Roadmarkers Federation Inc, 2011.
17	Ohio DOT, "Selection of Pavement Marking Materials", Application Standards AS 3A-2, Attachment A, Ohio Department of Transportation, 1999.
18	RTA, Maintenance of Pavement Markings, Section I 4, Roads and Traffic Authority, 2010.
19	RTS 5 (2002), "Guidelines for rural road marking and delineation, Transit New Zealand.
20	Startline, Wellington Veterans Cycling Club, Newsletter No. 53, New Zealand, 2001.
21	Tennessee DOT," Policy for Permanent Pavement

	Markings”, Instructional Bulletin No. 99-37, Tennessee Department of Transportation, 1999.
22	Texas DOT, “Pavement Marking Handbook”, Texas Department of Transportation, 2004.
23	Texas MUTCD Part 3 Markings, 2006.
24	Turner D., "Pavement Marking Retroreflectivity: Research Overview and Recommendations. Unpublished Report, FHWA, Office of Safety and Traffic Operations Research and Development, 1999.

נספח ב: חישוב נקודות הטל

נקודת הטל הינה הטמפרטורה של עיבוי האדים. נקודת הטל נדרשת בעיקר ליישום חומרי סימון (לרבות צבעים). נדרש הפרש בין נקודת הטל לבין טמפרטורת האספלט מעל לשלוש מעלות. הפרש קטן יותר גורם לבעיות בייבוש חומר הסימון ואי תפיסתו באספלט.

על פי טבלה ב.1 ניתן לקבוע את נקודת הטל (מעלות צלזיוס) לפי טמפרטורת האוויר ולפי הלחות היחסית שלו. לדוגמא, טמפרטורת אוויר 20 מעלות צ' ולחות יחסית של 60% מתקבלת נקודת טל השווה ל 12 מעלות צ'.

טבלה מס' ב.1: חישוב נקודת הטל.

על פי הטבלה שלהלן ניתן לקבוע את נקודת הטל (מעלות צלזיוס) לפי טמפרטורת האוויר ולפי הלחות היחסית שלו.

לחות יחסית של האוויר (%)									טמפרטורת האוויר (צ'°)
90	85	80	75	70	65	60	55	50	
3.6	2.7	1.8	0.9	0.0	-0.9	-1.8	-2.9	-4.1	5
4.5	3.7	2.8	1.8	0.9	-0.1	-1.0	-2.1	-3.2	6
5.5	4.6	3.7	2.8	1.8	0.8	-0.2	-1.3	-2.4	7
6.5	5.6	4.7	3.8	2.8	1.8	0.8	-0.4	-1.6	8
7.5	6.6	5.7	4.7	3.8	2.7	1.7	0.4	-0.8	9
8.4	7.6	6.7	5.7	4.7	3.7	2.6	1.3	0.1	10
9.4	8.6	7.6	6.7	5.6	4.6	3.5	2.3	1.0	11
10.4	9.6	8.6	7.7	6.6	5.6	4.5	3.2	1.9	12
11.4	10.6	9.6	8.6	7.6	6.6	5.4	4.2	2.8	13
12.4	11.5	10.6	9.6	8.6	7.5	6.4	5.1	3.7	14
13.4	12.5	11.5	10.6	9.5	8.5	7.3	6.1	4.7	15
14.4	13.5	12.5	11.6	10.5	9.5	8.3	7.0	5.6	16
15.3	14.5	13.5	12.5	11.5	10.4	9.2	7.9	6.5	17
16.3	15.4	14.5	13.5	12.4	11.4	10.2	8.8	7.4	18
17.3	16.4	15.5	14.5	13.4	12.3	11.1	9.7	8.3	19
18.3	17.4	16.4	15.4	14.4	13.3	12.0	10.7	9.3	20
19.3	18.4	17.4	16.4	15.3	14.2	12.9	11.6	10.2	21
20.3	19.4	18.4	17.4	16.3	15.2	13.8	12.5	11.1	22
21.3	20.3	19.4	18.4	17.2	16.1	14.8	13.5	12.0	23
22.3	21.3	20.3	19.3	18.2	17.0	15.7	14.4	12.9	24
23.2	22.3	21.3	20.3	19.1	17.9	16.7	15.3	13.8	25
24.2	23.3	22.3	21.2	20.1	18.8	17.6	16.2	14.8	26
25.2	24.3	23.2	22.2	21.1	19.8	18.6	17.2	15.7	27
26.2	25.2	24.2	23.2	22.0	20.8	19.5	18.1	16.6	28
27.2	26.2	25.2	24.1	22.9	21.7	20.5	19.1	17.5	29
28.2	27.2	26.2	25.1	23.9	22.7	21.4	20.0	18.4	30

דוגמה:

כאשר טמפרטורת האוויר 20° צ' והלחות היחסית 60%, נקודת הטל היא 12° צ'.

נספח ג: שיטות מעקב אחרי רמות התפקוד של הסימונים.

1.ג תחומי התפקוד הנבדקים

מעקב שוטף אחר תפקוד הסימון שבאחריות הרשות הינו אמצעי חיוני ביותר על מנת לוודא עמידה בדרישות. סקירת הנתונים של רמות התפקוד אמורים להתבצע בדרך כלל בשני תחומים:

א. תחום הנראות

קריטריונים לנראות יום ונראות לילה הינם קריטריונים הניתנים להגדרה כמותית ולמידה באמצעות מכשירים יעודיים. אמצעים אלו הינם אמצעים נדרשים בכל מקרה שבו מדובר בדרישות חוקיות, או לחליפין דרישות חוזיות (כמו לדוגמא במכרזי תפקוד). במקרים רבים אחרים מעדיפות רשויות הדרך לבצע את עיקר הבדיקות באמצעות סקרים המבוצעים על ידי סוקרים מקצועיים ולא באמצעות בדיקות כמותיות. פירוט בנושא זה מובא להלן:

- **שימוש במכשירי מדידה (רטורופלקטומטרים)** – מכשירים המסוגלים לבצע מדידה של נראות היום ונראות הלילה של חומרי סימון. ניראות הלילה של סימונים נעשית על ידי הדמיית מצב תאורת לילה, מפנסי רכב הנמצא במרחק 30 מטר מהסימון. מרבית המכשירים הקיימים בשוק הינם מכשירים למדידה ידנית. החסרון הגדול של מכשירים אלו הינו העובדה שלצורך ביצוע מדידה יש בדרך כלל צורך בסגירת נתיבים לתנועה. כתוצאה מכך יכולת הסקירה של מכשירים אלו מוגבלת מבחינת תפוקה ועלויות תפעול, בוודאי כאשר מדובר בביצוע מדידות ברמת הרשת.

בשנים האחרונות פותחו סוגי ציוד חדשים למדידת ניראות לילה, אותם ניתן להפעיל מכלי רכב תוך כדי תנועה במהירות התנועה בדרך. סוגי מכשירים אלו מהווים מהפיכה ביכולת הרשות לעקוב אחר איכות הסימון שבאחריותה. המדידה באמצעות ציוד נותנת מידע אמין ובלתי תלוי ויכולה לשמש כאמצעי טוב לבקרה על איכות חומרי סימון, לרבות בהקשר לעמידה ברמות סף חוזיות וחוקיות.

- **שימוש בסקרים של התרשמות חזותית** – בהעדר אפשרות או תקציבים לביצוע סקרים כמותיים, מהווים הסקרים האיכותיים כלי מרכזי ביכולת הרשות לבחון את מצב הסימונים ברשת הדרכים שבאחריותה. סקרים אלו נערכים בדרך כלל בהשתתפות צוות סוקרים מקצועי המבצע בחינה איכותית כללית של תפקוד הרשת בהבטים שונים של ניראות. הסקרים כוללים הערכה כללית לנראות היום, הערכת שרידות הסימון בהשוואה להתרשמות חזותית לקטלוג תמונות (על פי המפורט בתקן ASTM D 193-88) וכן נסיעה בשעות הלילה, על מנת לבחון סובייקטיבית את נושא ניראות הלילה. שיטות הערכה אלו הינן שיטות הנותנות מידע כללי טוב, אולם יש להן מגבלות גדולות במידה שהן אמורות להוות מדד לעמידה בדרישות חוקיות או בדרישות חוזיות (במקרה של עבודות אחזקה על פי מפרטי תפקוד). הסקרים הסובייקטיביים מתאימים לבחינה ראשונית של הרשות בנוגע לעמידת הסימונים בקריטריוני סף שונים ולצורך הכנת תוכניות אחזקה שוטפת.

• **ניתוח צילומי וידאו של רשת הדרכים** – בשנים האחרונות הולך ומתגבר השימוש בכלי רכב יעודיים המשמשים לסקירת רשת הדרכים וניטור פרמטרים שונים הנוגעים למצב מערכות שונות של הדרך. אחד האמצעים המשמשים במסגרת זו כולל צילום במצלמות וידאו (או מצלמות Stills בקצב גבוה) של רשת הדרכים. אחת האופציות לשימוש בכלי זה הינו צילום הרשת תוך שימת דגש למצב הסימון. צילום כפול, בתנאי יום ובתנאי לילה, מאפשר לעשות שימוש בצילומים על מנת לנתח ברמה האיכותית את מצב קטעי הרשת השונים בהבט של ניראות הסימונים. כמו כן קיימת שיטות של ניתוח אוטומטי של מצב הסימונים (בעיקר בהקשר של שרידות הצבע), אולם פעולה זו דורשת צילום הסימונים במרחק וזווית צילום קבועה.

ב. תחום ההתנגדות להחלקה

נושא ההתנגדות להחלקה של הסימונים הינו נושא הבעייתי ביותר למעקב לאורך זמן. בניגוד לנושא הניראות שלגביו ניתן לתת התרשמות חזותית תוך כדי נסיעה ברשת, נושא ההתנגדות להחלקה הינו נושא שאינו ניכר לעין ואין למעשה כל דרך להעריך את ההתנגדות להחלקה, אלא בבדיקה ישירה.

מדידת התנגדות להחלקה של סימונים אינה יכולה להתבצע בתוך תנועה מהירה, אלא רק על ידי מכשירים נקודתיים, שהידוע ביניהם הינו מכשיר המטוטלת הבריטית. מכשיר זה מבצע בדיקות נקודתיות (על כל המגבלות הכרוכות בכך). חשוב לציין, שבאמצעות המטוטלת הבריטית מתבצעות בדיקות לחומר הסימון בהיותו חדש ומועמד לבדיקה ובחינה בהתאם לתקינה הן הישראלית והן לתקינה הקיימת בעולם. בנוסף למטוטלת הבריטית קיימים עוד מספר מכשירים היכולים לבצע מדידות רציפות במהירות נמוכה מאד, כמו מכשיר ה-T2GO וכן מכשיר ה-Griptester כשהוא מופעל בהפעלה ידנית. החסרון הגדול הינו שמדידות אלו צריכות להתבצע תוך סגירת נתיב, עובדה שהופכת אותן לבעייתיות מאד לביצוע ודורות תקציבים ניכרים. עד היום מרבית הרשויות בארץ אינן בודקות את עצמן בנושא התנגדות להחלקה של הסימון.

2. שימוש במערכות ממוחשבות לניהול אחזקת הסימונים

בעשרות השנים האחרונות החל בעולם שימוש הולך וגדל במערכות שונות לניהול נכסי הדרך השונים. המערכות הותיקות יותר עסקו בעיקר בניהול מצב מיסעת הדרך (מערכות ניהול מיסעות – Pavement Management Systems). בשלב מאוחר יותר החלו להוסיף למערכות הממוחשבות מערכות דרך נוספות, ביניהן נושא מערכות השילוט, התימור והסימונים. הכינוי המקובל למערכות כוללות אלו הינו מערכות ניהול נכסים (Asset Management Systems). מערכות מלאות של ניהול נכסים מאפשרות הצגת מצב עדכני יחסית של הסימונים ברשת הדרכים תוך שימוש במערכות מידע גאוגרפי וכן צילומי וידאו מלאים של רשת הדרכים.

יישום מערכות ממוחשבות בתחום הסימונים מחייב ביצוע תהליך תדיר של איסוף נתונים מהשטח, וזאת בהתייחס לקצב ההדרדרות המהיר של הסימונים ביחס למערכות דרך אחרות.

בארץ החלו ליישום בשנים האחרונות במספר רשויות מערכות תוכנה העוסקות בנושא ניהול מיסעות ומערכות דרך אחרות כחלק ממערכת ניהול רשת הדרכים. בין היתר מיושמים בחלק מאותן מערכות, כלים לניטור מצב הכבישים, לרבות מערכות וידאו מסוגים שונים. אין ספק שמערכות אלו יכולות לשפר במידה ניכרת את יכולת הרשות לשלוט ולשפר את מצב הסימונים שבאחריותן.

נספח ד - דוגמא לתהליך ביצוע מעקב לתפקוד חומרי הסימון לאורך תקופת השירות.

בחינה פרטנית וכמותית לתפקוד חומרי הסימון במהלך תקופת השירות שלהם יכולה להתבצע בהתאם לתהליך הבא:

איתור מקומות חשודים לביצוע בדיקה כמותית

- ביצוע סיורים ויזואליים ביום ובלילה במטרה לזהות קטעי אורך חשודים/ זרועות חשודים בצומת.
- קטע אורך נבחן: קטע דרך בעל מאפיינים דומים שהסימונים שבו בוצעו בערך באותה תקופה ועם אותו סוג של חומר סימון. מתוך קטע נבחן, יבחר למטרת ביצוע בדיקות כמותיות את הקטעים החשודים.
- קבוצת צמתים נבחרים: קבוצת צמתים בעלי מאפיינים דומים שהסימונים שבהם בוצעו בערך באותה תקופה ועם אותם חומרי סימון. הצמתים החשודים המיועדים לבחינה פרטנית יבחרו מתוך קבוצת הצמתים אשר הושמו בתקופה של חודש ימים מקסימום ובהם יבוצעו בדיקות כמותיות.
- קטעי אורך חשודים: קטעי אורך החשודים יהיו לפחות בשיעור של 15% מכלל כל הקטע שנבחן.
- צמתים חשודים: הצמתים החשודים יהיו לפחות 15% ממספר הצמתים שבקבוצת הצמתים הנבחרים ולא פחות מצומת אחד.

היקף הבדיקה הפרטנית

- בכל קטע חשוד השייך לקבוצת קטעי אורך החשודים שנבחרו לעיל, יבחרו לפחות 5 מקומות שיראו בסקירה הויזואלית כפחות טובים (בדומה לנדרש בשיטת דיגום קטעים חשודים). בדומה לכך תבחר זרוע הפחות טובה בכל צומת חשוד מכלל האלמנטים בצומת. בזרוע זו יבדקו 3 נקודות לפחות בכל סוג של הסימון.
- בתוך קבוצה זו אין צורך לכלול סימונים שנפגעו כתוצאה מבעיה מקומית, כמו לדוגמא לכלוך מקומי, או קילוף כתוצאה מפגיעה נקודתית.

תדירות הבדיקה הפרטנית

- בדיקה ראשונה תתבצע בחודש הראשון לאחר היישום.
- במהלך תקופת השירות של הסימון תתבצע בדיקה כל 4 חודשים (ממועד היישום) עבור צבעים וכל 8 חודשים (ממועד היישום) עבור חומרים פלסטיים קרים וחומרים תרמופלסטיים ויריעות תעשייתיות.

שיטת הבדיקה

בסימונים שנבחרו לבדיקה כמותית יבוצעו בדיקות הבאות:

- בדיקות החזרי אור יום ולילה לפי תקן ארופאי EN 1436.
- בדיקות התנגדות להחלקה תבוצענה באמצעות מטוטלת בריטית לפי תקן ASTM E303.

דרישות

תוצאות הבדיקות הכמותיות צריכות לעמוד בדרישות הסף שנקבעו בהנחיות לעיל.

דרישת קבלה לכל קטע חשוד/צומת חשוד

- בבדיקה ויזואלית אף אחד מהסימונים הנבדקים בכל קטע חשוד או בכל סוג סימון בזרוע של הצומת אינו פגוע ביותר מ- 20% משטחו.
- אף סימון בעל טקסטורה מובנית (משונן) לא ירד לעובי של פחות מ- 80% מעוביו המקורי.
- 80% לפחות מהסימונים הנבדקים בכל קטע חשוד או בצומת חשוד יענו לכלל הדרישות המפורטות בטבלאות 1 ו-2 לעיל.
- כל הסימונים הנבדקים בכל קטע חשוד או בצומת חשוד יענו על 80% מהערכים המפורטים בטבלאות 1 ו-2 לעיל.

קביעת המקומות החשודים

- אם יותר מ- 25% מהקטעים החשודים בתוך קטע נבחן, או מהצמתים החשודים בקבוצת צמתים נבחים לא עומדים בדרישות האמורות לעיל, ניתן להכפיל את שיעור הקטעים החשודים והצמתים החשודים.
- אם גם לאחר הכפלת שיעור הקטעים או הצמתים החשודים, יותר מ- 25% לא עומדים בדרישות יבוצע חידוש לסימון בכל הקטע/הצומת שנבחנה.

נספח ה - דוגמא לתהליך בחירה של סוג חומר סימון.

הדוגמאות המוצגות בנספח זה מיועדות לסייע לרשויות הדרך בהבנה והטמעה לתהליך בחירה של חומרי סימון בהתאם לתנאי הדרך.

ברשות דרך מסוימת חומרי הסימון המאושרים על פי מכרזי הרשות מוצגים בטבלה מס' ה.1. חומרי סימון אלה, בגוון לבן, חייבים להוות חלק מרשימת חומרי הסימון המאושרים על ידי הועדה הבין-משרדית.

טבלה מס' ה.1: רשימת חומרי סימון זמינה לשימוש על ידי רשות דרך מסוימת

סוג חומר הסימון	מעברי גלגל	נראות יום	נראות לילה	התנגדות להחלקה	רמת תפקוד
1	P7	Q3	R3	S1	B
2	P6	Q2	R3	S1	C
3	P5	Q2	R2	S1	C
4	P5	Q1	R2	S1	D

דוגמא ה.1: בחירה של חומר סימון בגוון לבן לקטע דרך

תיאור הקטע: קטע של דרך דו נתיבית דו מסלולית בה מהירות הנסיעה המותרת הינה 100 קמ"ש.

בחירה של חומר סימון מתאים:

בהתאם לנתוני קטע הדרך, רמת התפקוד המינימלית הנדרשת מחומרי סימון בהתאם לטבלה מס' 5.5 (בחירת רמות תפקוד של חומרי סימון באזור דרכים לא עירוניות) הינה לפחות רמה B.

מרשימת חומרי הסימון המאושרים על ידי הרשות (טבלה ה.1) מתאימים לרמה B חומר סימון אחד בלבד – חומר סימון מסוג 1. במצב כזה, ומאחר ולרשות קיימת אופציה אחת בלבד, היא יכולה לשקול מסיבות כלכליות את הרחבת המכרזים שלה לחומרי סימון אחרים בעלי רמות תפקוד A או B.

דוגמא ה.2: בחירה של חומר סימון בגוון לבן לצומת

תיאור הצומת: הצומת נמצאת על דרכים עירונית עם מהירות נסיעה מותרת של 50 קמ"ש.

בחירה של חומר סימון מתאים:

בהתאם לנתוני הדרך המוצגים לעיל, רמת התפקוד המינימלית הנדרשת מחומרי סימון בהתאם לטבלה מס' 5.4 (בחירת רמות תפקוד של חומרי סימון באזור דרכים עירוניות) הינה לפחות רמה C לסימונים רוחביים.

מרשימת חומרי הסימון הזמינים לשימוש על ידי הרשות ומוצגים בטבלה ה-1 מתאימים לרמה C שלשה סוגים של חומרי סימון (1-3). חומרים אלה רמות התפקוד שלהם הינה B ו-C. הבחירה בין שלשת החומרים צריכה במקרה זה להיעשות על בסיס שיקולים כלכליים ולוגיסטיים, תוך התחשבות ברמות התפקוד השונות של החומרים. ברור על פניו שהתפקוד של החומר שהינו ברמה B טובה יותר, אולם יתכן שעלותו גבוהה בהרבה מאשר החומרים האחרים שהינם ברמה C.

נספח ו – פירוט השינויים בהנחיות במהדורה השנייה לעומת המהדורה הקודמת (2014).

מיקום השינוי	תמצית שינויים / עדכונים
טבלה 5.1	הגדרת דרישות נפרדות לחומרים לסימון דרכים בגוון כתום.
סעיף 5.3	התאמת טבלאות 5.4 ו- 5.5 ויצירת טבלה 5.6 עבור הגדרות נפרדות לגוון כתום.