



בדיקות אל הרס (NDT) — בעבודות הסלילה — בדיקות התנגדות להחלקה במיסעות אספלט



• GEOKOM | 2025

התנגדות להחלקה בכבישים

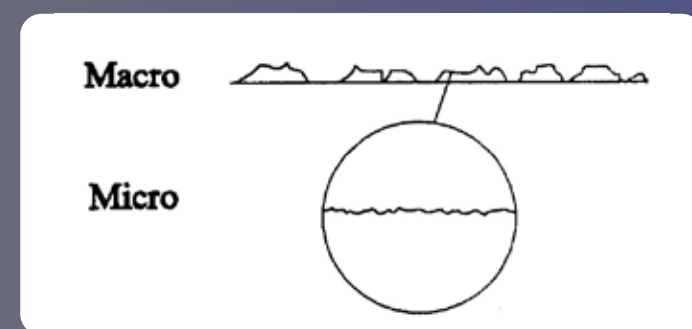
- חשיבות ערכי ההתנגדות להחלקה בכבישים
- הגורמים המשפיעים על ערכי ההתנגדות להחלקה
 - א. מרקם שכבת האספלט – סוגי תערובות
 - ב. סוג האגרנט ליישום
- אופן מדידת ההתנגדות להחלקה בכבישים
- תאור המכשיר ואופן המדידה.
- הקריטריונים המפרטיים להתנגדות
- הערות ליישום מדידות ההתנגדות החלקה
 - דיוק המדידה
- גורמים המשפיעים על דיוק התוצאה
- סיכום

חשיבות ערכי ההתנגדות להחלקה בכבישים

חלקלקות מסעות אספלט רטובות בישראל

רמת ההתנגדות להחלקה של מרקם פני שכבת האספלט העליונה הינה תכונה הנדסית בעלת חשיבות בטיחותית גבוהה, בעיקר כשפני הכביש רטובים.

היא מושפעת בעיקר משני גורמים:
סוג מינרל הסלע ("אגרגט") שנמצא בתוך תערובת האספלט.
משפיע בעיקר על ה"מיקרוטקסטורה"
המרקם העדין של פני האספלט.
המרקם הגס של תערובת האספלט המכונה "מאקרוטקסטורה".
שהשפעתו בעיקר במהירויות נסיעה גבוהות.



חשיבות ערכי ההתנגדות להחלקה בכבישים

עבודת מחקר ברשות מהנדס נדביה,
מהנדס ראשי לחומרים ומחקר במע"צ – ינואר 1981

רקע

מספר התאונות עם נפגעים שאירעו בכביש רטוב מהווה כ 16% מכלל התאונות,
בעוד שמשך הזמן הממוצע שהכבישים היו רטובים לא עלה על 3%.

מספר התאונות עם נפגעים שהחלקה בכביש רטוב היתה מעורבת בהן,
היווה כ- 60% מכלל התאונות בכביש רטוב וכ- 10% מכלל התאונות [רטוב ויבש יחד]

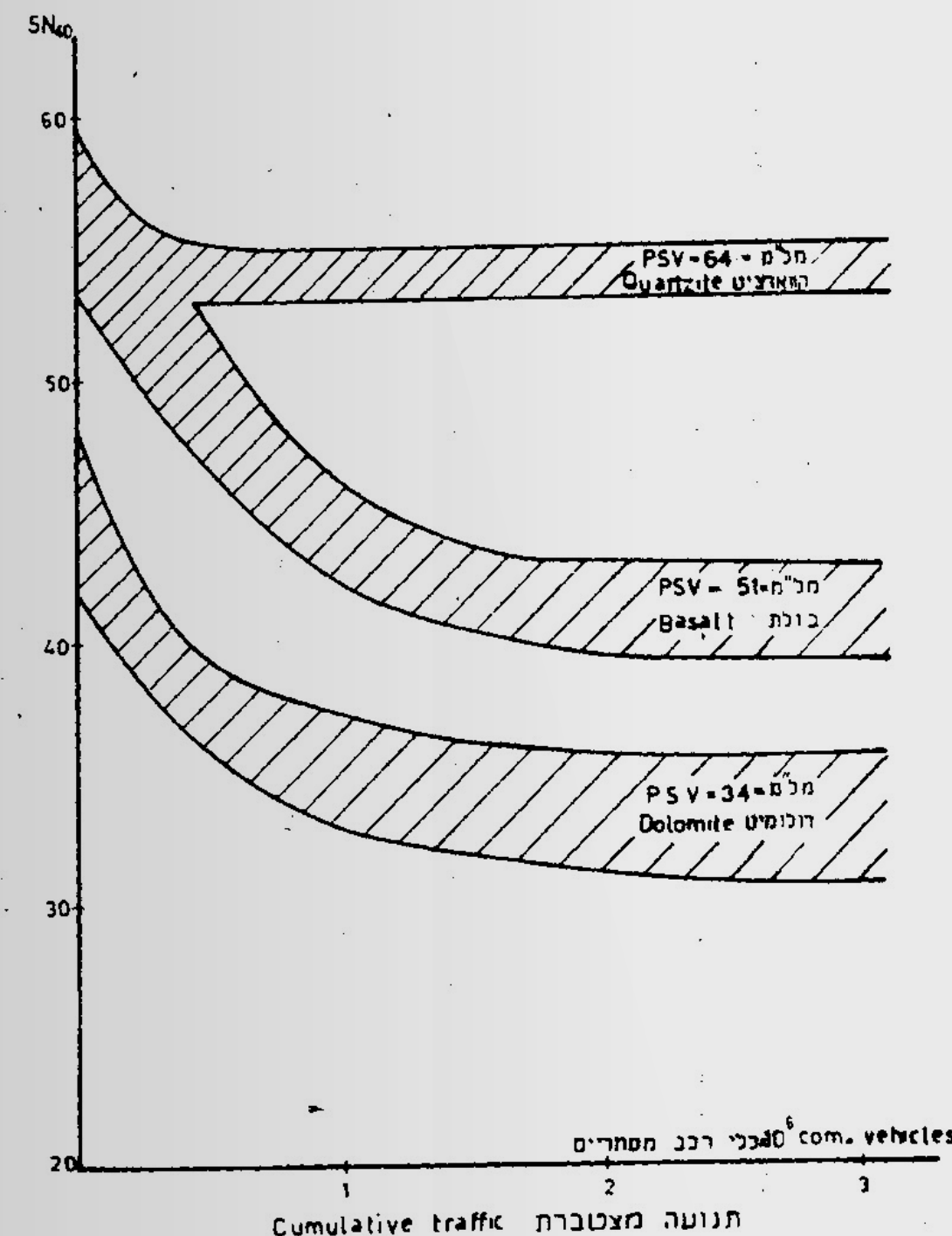
רמת ההתנגדות להחלקה של כבישים שנבדקו (אספלט עם אגרגט דולומיטי)
הייתה נמוכה מהערך המינימלי המקובל לכבישים בתנאים גיאומטריים רגילים

חלקקות מסעות אספלט רטובות בישראל

השינוי בערך ההתנגדות להחלקה של אגרגטים ממינרולוגיה שונה (נדביה ואחרים 1981)

ממצאים עיקריים

השימוש באגרגטים בזלתיים בעלי ערך
מל"מ גבוה (מקדם ליטוש מואץ - PSV),
משפר את ערך ההתנגדות להחלקה של תערובות האספלט



וח 1: השפעת הכיטוש, המופעל ע"י התנועה, על המיקרוטקסטורה של אגרגטים בעלי ערך מל"מ שונה ועל ירידת ההתנגדות להחלקה של ציפויים עשויים מאגרגטים אלה.
PLATE 1: THE EFFECT OF POLISHING, MADE BY TRAFFIC, ON THE MICROTEXTURE OF AGGREGATES OF VARIOUS PSV VALUES AND ON THE DECREASE OF SKID-RESISTANCE OF SURFACINGS MADE WITH THESE AGGREGATES.

התנגדות להחלקה בכבישים

- הגורמים המשפיעים על ערכי ההתנגדות להחלקה
 - א. מרקם שכבת האספלט – סוגי תערובות
 - ב. סוג האגרנט ליישום
- אופן מדידת ההתנגדות להחלקה בכבישים
- אופן מדידת ההתנגדות להחלקה בכבישים
- תאור המכשיר ואופן המדידה
- הקריטריונים המפרטיים להתנגדות
- הערות ליישום מדידות ההתנגדות החלקה
- סיכום

הגורמים המשפיעים ביותר על ההתנגדות להחלקה בכבישים

הגורמים המשפיעים על נושא ההתנגדות להחלקה

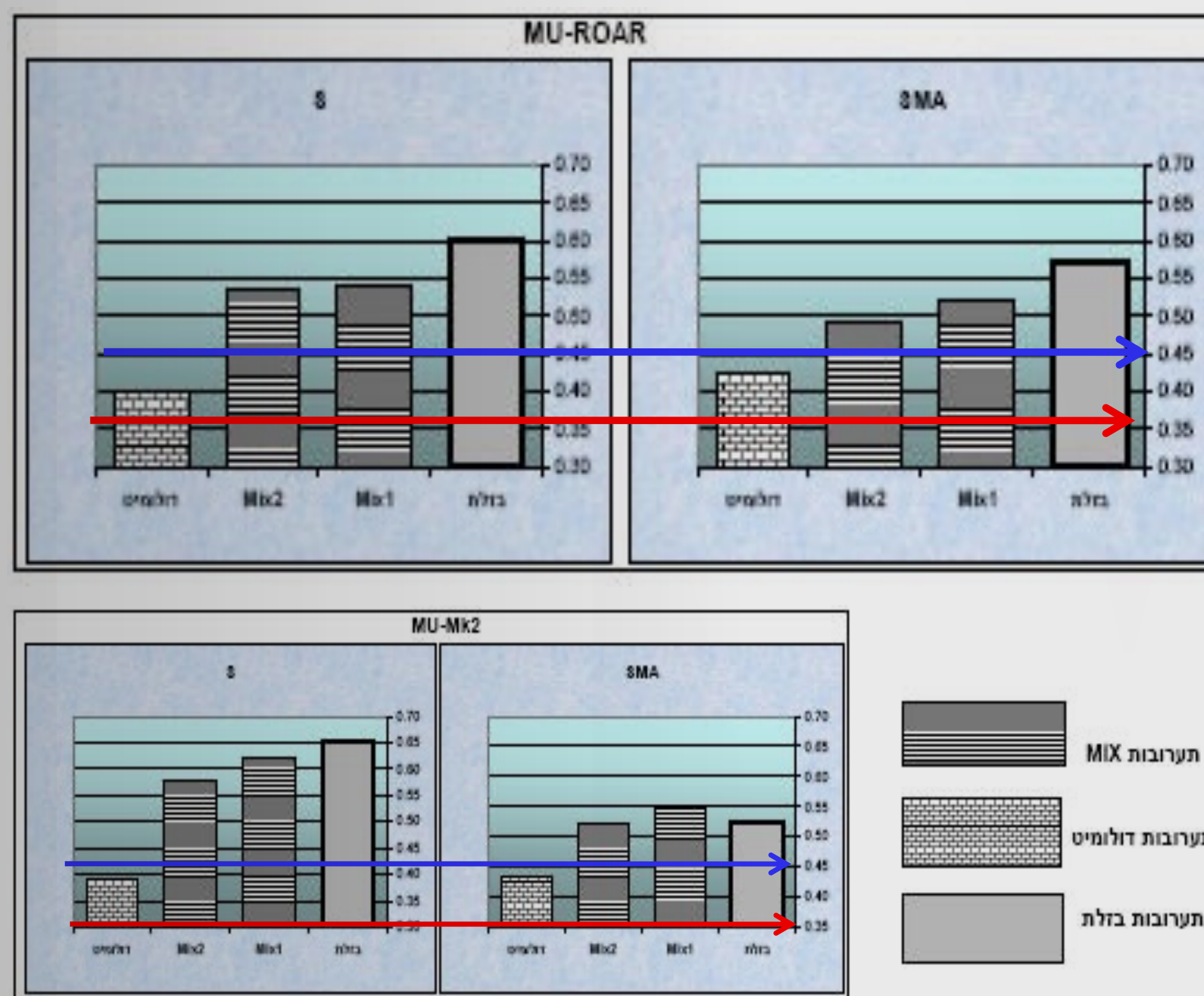
- תנאי שירות הפוגעים בהתנגדות להחלקה של המיסעה
- רטיבות וליטוש המיסעות
- הופעה/הצטברות של קרח
- הצטברות של לכלוך/בוץ
- הצטברות של מלחים (מלחים להפשרה/רסס מהים)

- מרקם תערובת האספלט
- תערובות SMA + תערובות S(תא"מ) - מקדם מרקם גבוה
- תערובות צפופות (תא"צ) - מקדם מרקם נמוך
- תערובות עשירות בביטומן - מקדם מרקם נמוך

- מינרלוגיה של האגרגט
- תערובות בזלת וגרניט - תורמות להתנגדות לחלקה
- תערובות דלומיט וגיר - אינן תורמות
- תערובות עשירות בביטומן - מקדם מרקם נמוך

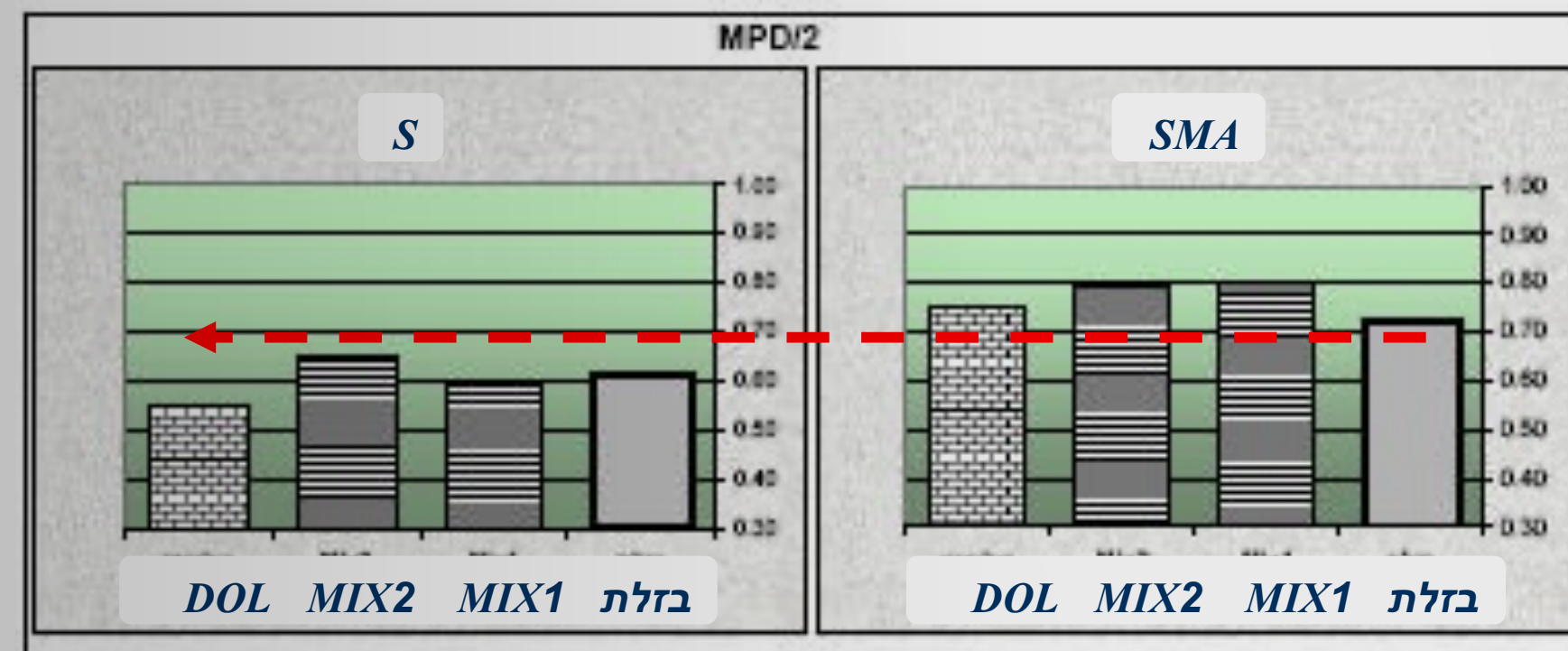
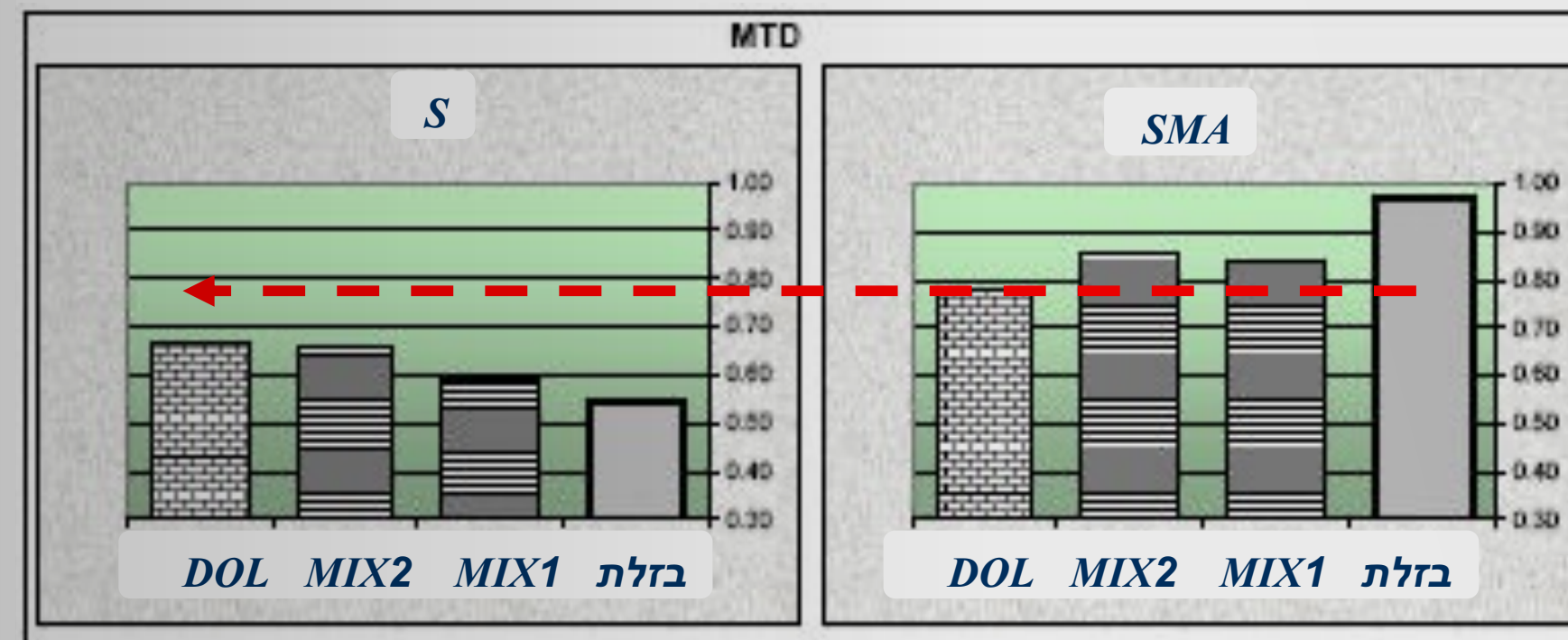
הגורמים המשפיעים ביותר על ההתנגדות להחלקה בכבישים

מדידות
חינוך
רציף לפי
תערובות



הגורמים המשפיעים ביותר על ההתנגדות להחלקה בכבישים

מדידות
מרקם לפי
תערובות



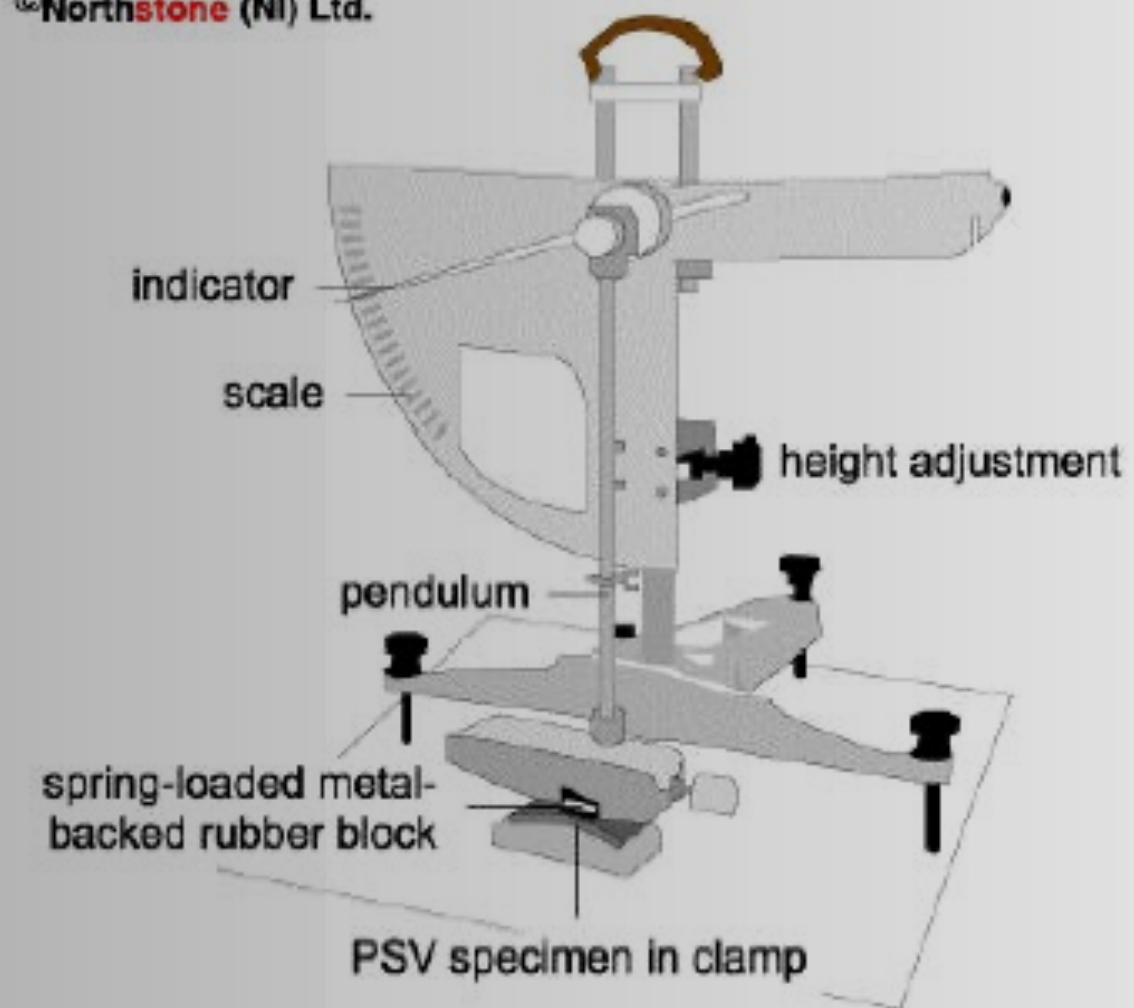
התנגדות להחלקה בכבישים

- הגורמים המשפיעים על ערכי ההתנגדות להחלקה
 - א. מרקם שכבת האספלט – סוגי תערובות
 - ב. סוג האגרנט ליישום
- אופן מדידת ההתנגדות להחלקה בכבישים
- אופן מדידת ההתנגדות להחלקה בכבישים
- תאור המכשיר ואופן המדידה
- הקריטריונים המפרטיים להתנגדות
- הערות ליישום מדידות ההתנגדות החלקה
- סיכום

מכשיר לבדיקת תבנית אגגטים לקביעת ערך ה-PSV

POLISHED STONE VALUE TESTER

©Northstone (NI) Ltd.



מכשיר ליטוש לתבנית אגגטים לבדיקת PSV

PSV POLISHING MACHINE ©Northstone (NI) Ltd.

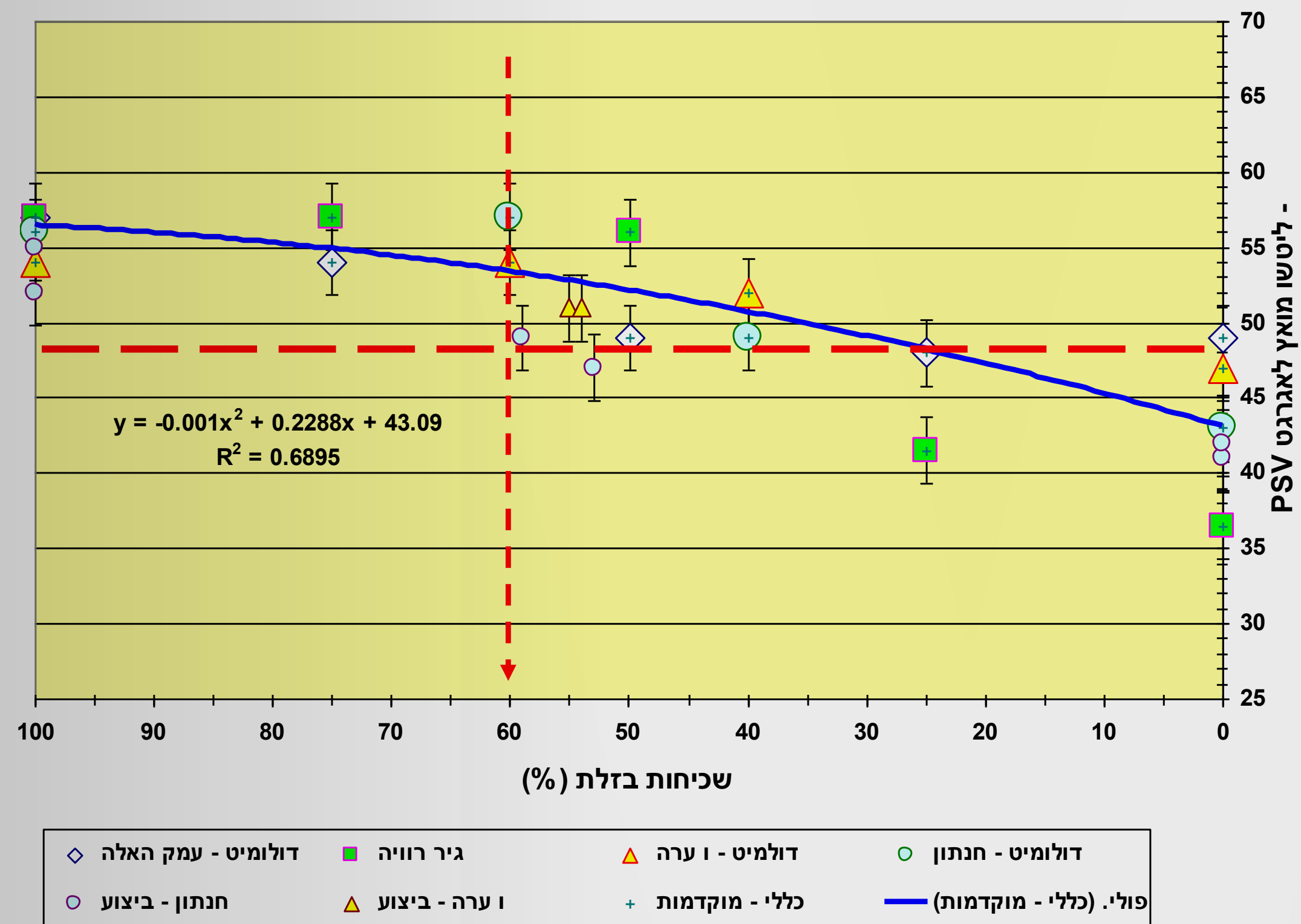


בדיקות היתכנות ומוקדמות

בדיקות PSV לאגגטים
Polished Stone Value

ערכי PSV **לאחר ערבוב דלומיט /** **גיר ובזלת** **(כלל המדגמים בפרויקט)**

ערבוב בשיעור משקלי של 50% - 60%
 מספיק על מנת לשפר את האגרנטים
 הדלומיטיים לערך המטרה של PSV 48.



אופן התנגדות להחלקה בכבישים

הגדרת
מונחים

51.04.01.03.58 **התנגדות להחלקה** : ערך החיכוך על פני מיסעת הכביש הנמדד בתנאי מדידה ובציוד המוגדרים במפרט. הערך הוא חסר מימד.

51.04.01.03.59 **עומק מרקם** : העומק הממוצע של מרקם החללים על פני שכבת המיסעה הנמדד בשיטת מדידה ובציוד המוגדרים במפרט. הערך נמדד במ"מ.

51.04.01.03.60 **סגמנט-נתיב (או: "סגמנט")**: קטע נתיב כביש באורך של 100 מטר וברוחב של נתיב נסיעה.

51.04.01.03.61 **MU₁₀**: ערך התנגדות להחלקה המדווח לקטע באורך של 10 מטר.

51.04.01.03.62 **MU₁₀₀**: הערך הממוצע של ערכי התנגדות להחלקה (**MU₁₀**) לסגמנט-נתיב באורך 100 מטר.

51.04.01.03.63 **MPD₁₀**: ערך עומק המרקם של פני המיסעה המדווח לקטע באורך של 10 מטר.

51.04.01.03.64 **MPD₁₀₀**: הערך הממוצע של ערכי עומק המרקם של פני המיסעה (**MPD₁₀**) לסגמנט-נתיב באורך 100 מטר (סגמנט).

אופן התנגדות להחלקה בכבישים

טלאי חול
לבדיקת מרקם

מטוטלת בריטית
לבדיקת חיכוך



מערכת Roar

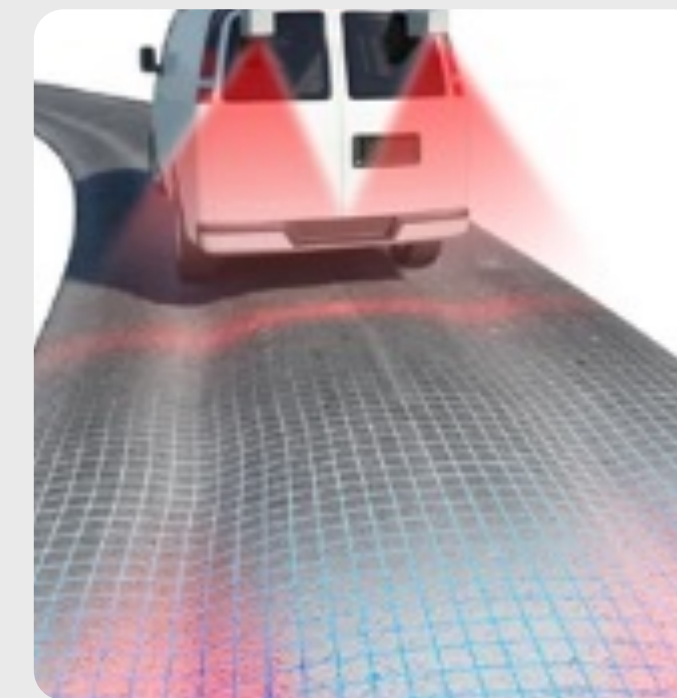
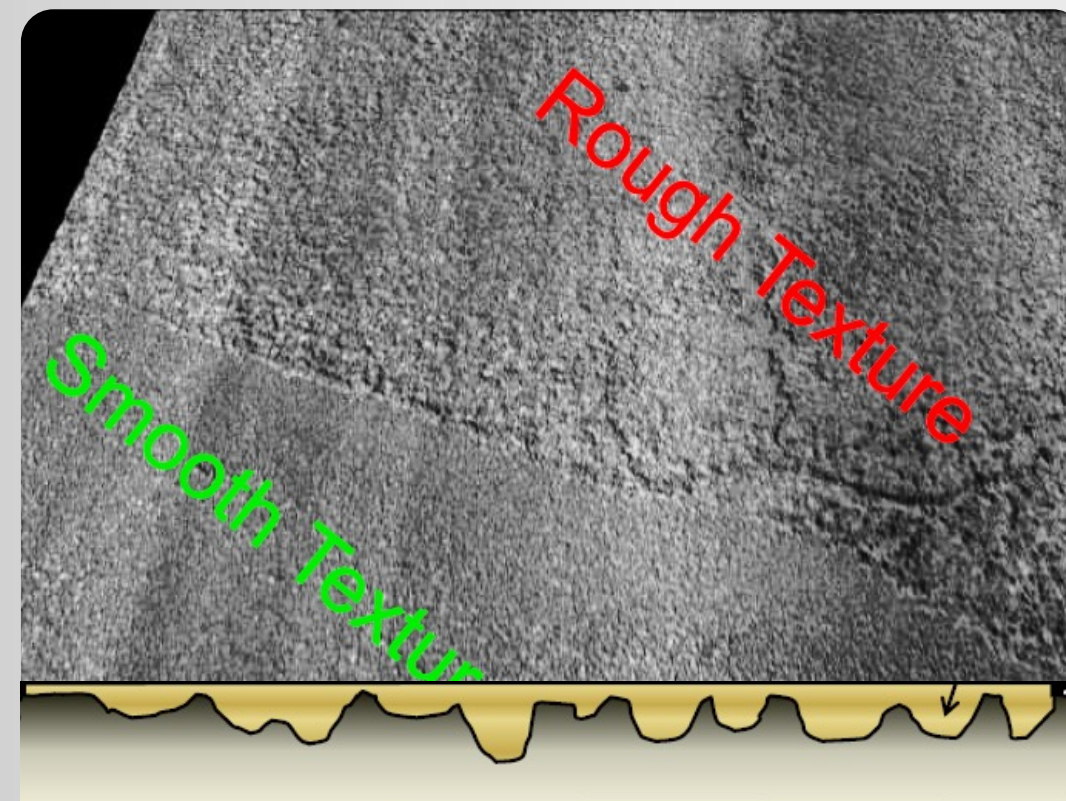
התנגדות להחלקה + עומק מרקם

- מדידה רצופה דיווח ברזולוציה של כל 3.5 מ
- התנגדות להחלקה נמדדת במרכז הנתיב
- עומק מרקם נמדד בנתיב הגלגל

Skid Resistance



Texture



GEOKOM - PMS Full PMS Road Network Survey

אופן מדידת ההתנגדות להחלקה בכבישים



IV. נספח ג' ינוסח מחדש כדלקמן:

הנחיות לביצוע מדידות התנגדות להחלקה

תהליך ביצוע המדידות

1. פירוט ציוד המדידה:

- א. ציוד המדידה העיקרי לביצוע בדיקות התנגדות להחלקה יהיה מסוג:
- (1) מערכת 6875H Dynatest (להלן: מערכת DT),
באישור מנהל הפרויקט או הבטחת האיכות ניתן יהיה לבצע מדידה גם עם ציוד מסוג
מערכת Griptester MK 2 (להלן: מערכת GT).
- ב. ציוד-מדידה נוסף לציוד המדידה העיקרי:
- (1) גשש לייזר לבדיקת עומק המרקם של השכבה הנבדקת (Mean Profile Depth - MPD).
(2) אמצעים למדידת הטמפרטורה של: פני המיסעה ושל טמפרטורת האוויר מעליה.
- ג. הציוד המשמש לבדיקה מחויב להיות בעל אישור הסמכה בתוקף על-ידי מי שהוסמך לכך
בחברת נתיבי ישראל.



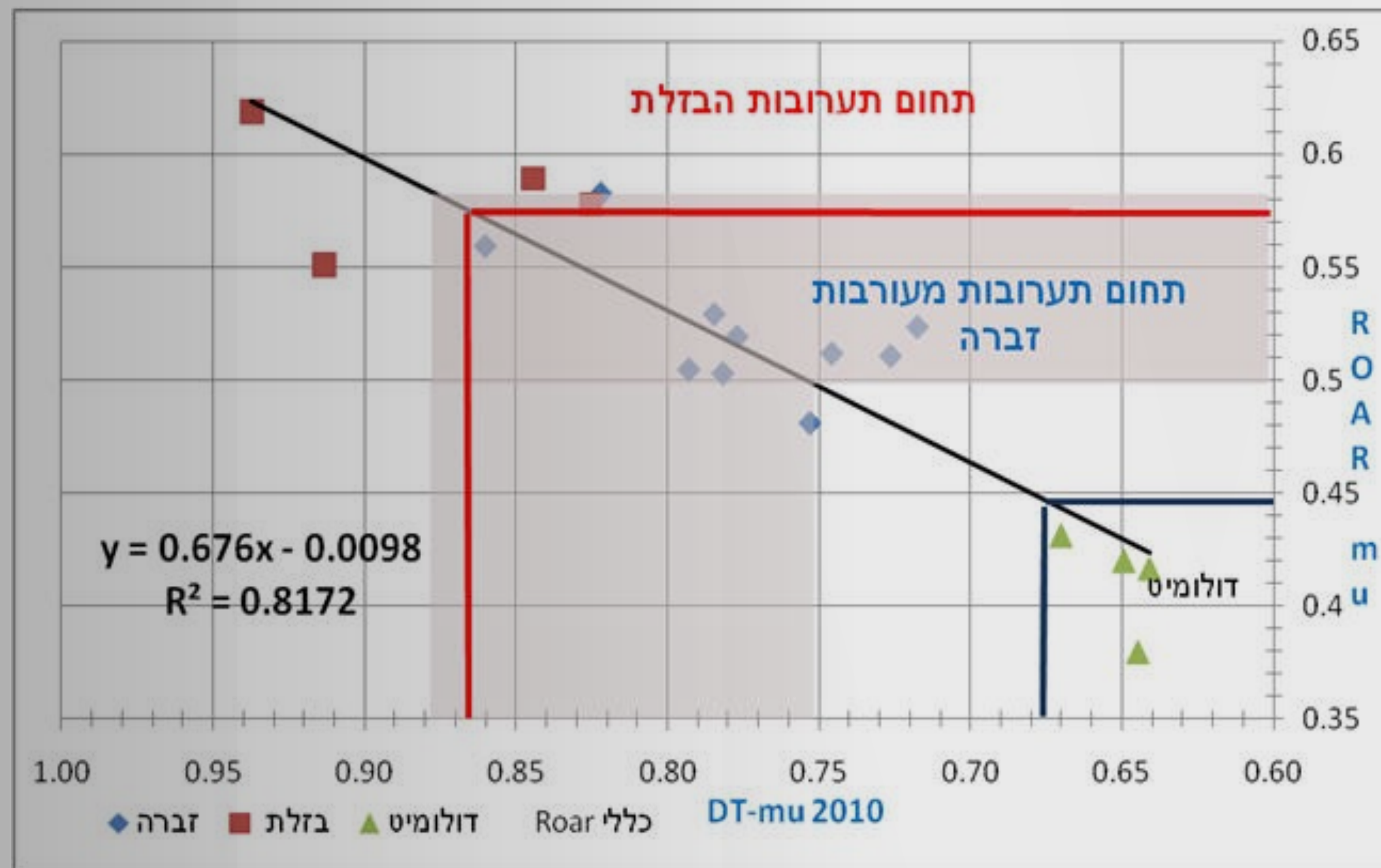
מערכת

Dyntest 6875H (DT)



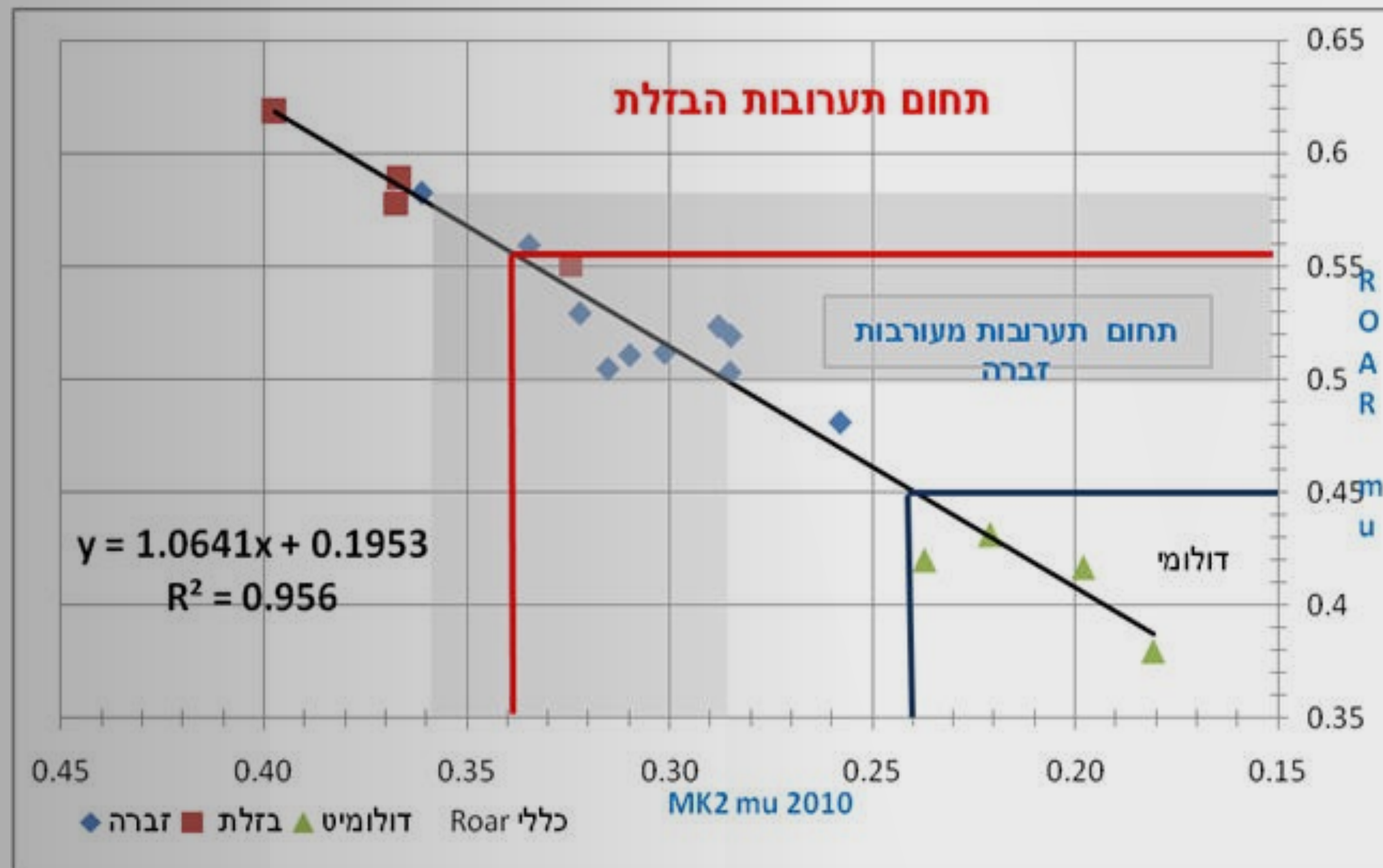
Griptester MK2 (GT)

התנגדות החלקה, הקורלציה בין DT(2010)-ל ROAD(2009)



התנגדות החלקה, הקורלציה בין

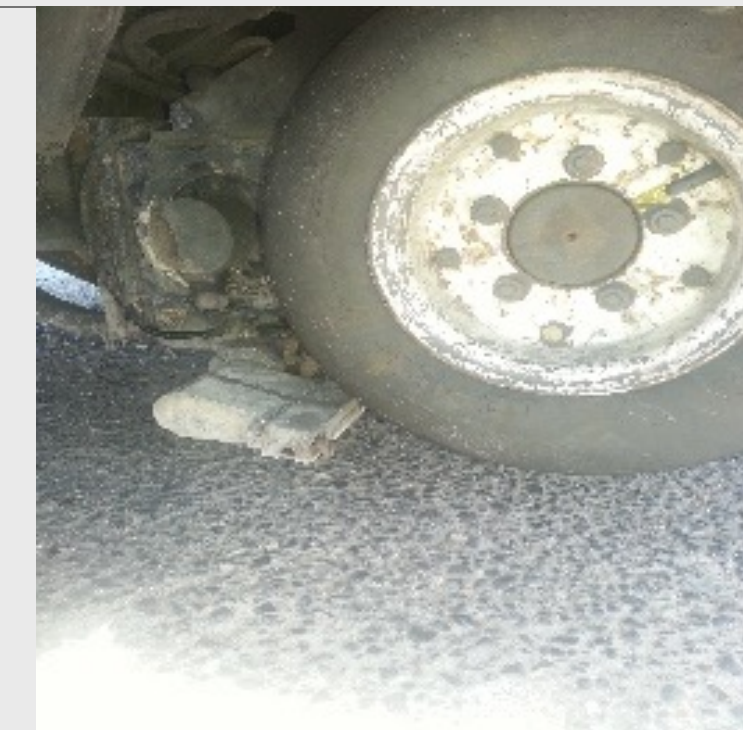
MK2(2010)-ל ROAD(2009)



אופן מדידת ההתנגדות להחלקה בכבישים

- המדידה ע"פ מיסעת כביש נקיה ויבשה
- עובי קרום מים תיאורטי 0.5 מ"מ
- מהירות הנסיעה 75 קמ"ש (סטיה 60 – 80 קמ"ש)
- בכבישים בהם המותר נמוך מהנ"ל – 50 קמ"ש
- בכל שעות היממה, טמפ המיסעה בין 10 ל-40°C, טמפ אויר בים 10 ל-35°C. נדרשת מדידת חום רציפה במהלך הבדיקה (אינפרה אדום)

שיטת המדידה בנסיעה רציפה



אופן מדידת ההתנגדות להחלקה בכבישים

מידע לדיווח

- (1) נתוני שכבת האספלט : סוג תערובת, גודל גרגר מקסימלי, סוג אגרגט וסוג ביטומן
- (2) תאריך השלילה
- (3) מספר כביש, מספר נתיב
- (4) סוג מערכת המדידה (GT, DT)
- (5) מועד הבדיקה - תאריך ושעה
- (6) ערך רמת ההתנגדות להחלקה μ - ערך מדוד
- (7) עומק המרקם (MPD)
- (8) טמפרטורת האוויר
- (9) טמפרטורת פני המיסעה
- (10) עובי קרום מים
- (11) מהירות הנסיעה במדידה
- (12) קואורדינטות (X,Y) של נקודות ההתחלה של כל סגמנט-נתיב-משנה באורך 10 מ'
- (13) הערך המדוד של ההתנגדות להחלקה. יש לדווח את הערך הגולמי ללא תיקונים / המרות / נרמול בכל אחד מסבבי המדידה .
- (14) ערך התנגדות להחלקה מנורמל לטמפרטורה מיסעה סטנדרטית של 21 מעלות צלסיוס (בהתאם להנחיות בסעיף הבא).
- (15) מפה / תנוחה של איזור המדידה כולל סימון החתכים שבהם בוצעה המדידה.

התנגדות להחלקה בכבישים

- הגורמים המשפיעים על ערכי ההתנגדות להחלקה
 - א. מרקם שכבת האספלט – סוגי תערובות
 - ב. סוג האגרנט ליישום
- אופן מדידת ההתנגדות להחלקה בכבישים
- אופן מדידת ההתנגדות להחלקה בכבישים
- תאור המכשיר ואופן המדידה
- הקריטריונים המפרטיים להתנגדות
- הערות ליישום מדידות ההתנגדות החלקה
- סיכום

הקריטריון המפרטי להתנגדות להחלקה

טבלה 51.04.08.07 : דרישות התנגדות להחלקה

סוגי תערובת	MU ₁₀₀ ערך מינימלי דרוש לסגמנט- נתיב
תערובות עם אגרגט בזלת או גרניט	0.55
תערובות דו- מינרליות ("זברה")	0.48
תערובות דלומיטיות	מדידה לצורכי דיווח ואיסוף נתונים בלבד

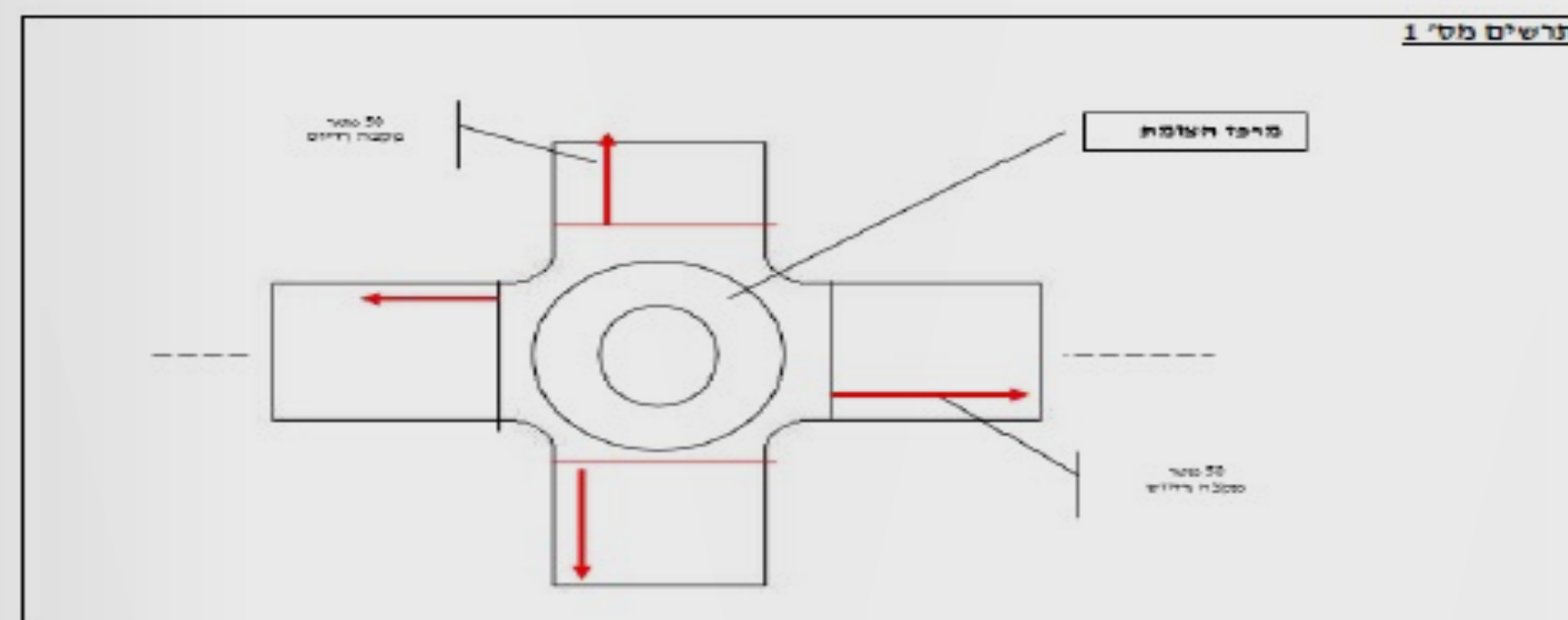
הקריטריון המפרטי לעומק המרקם

טבלה 51.04.08.09: דרישות לעומק מרקם

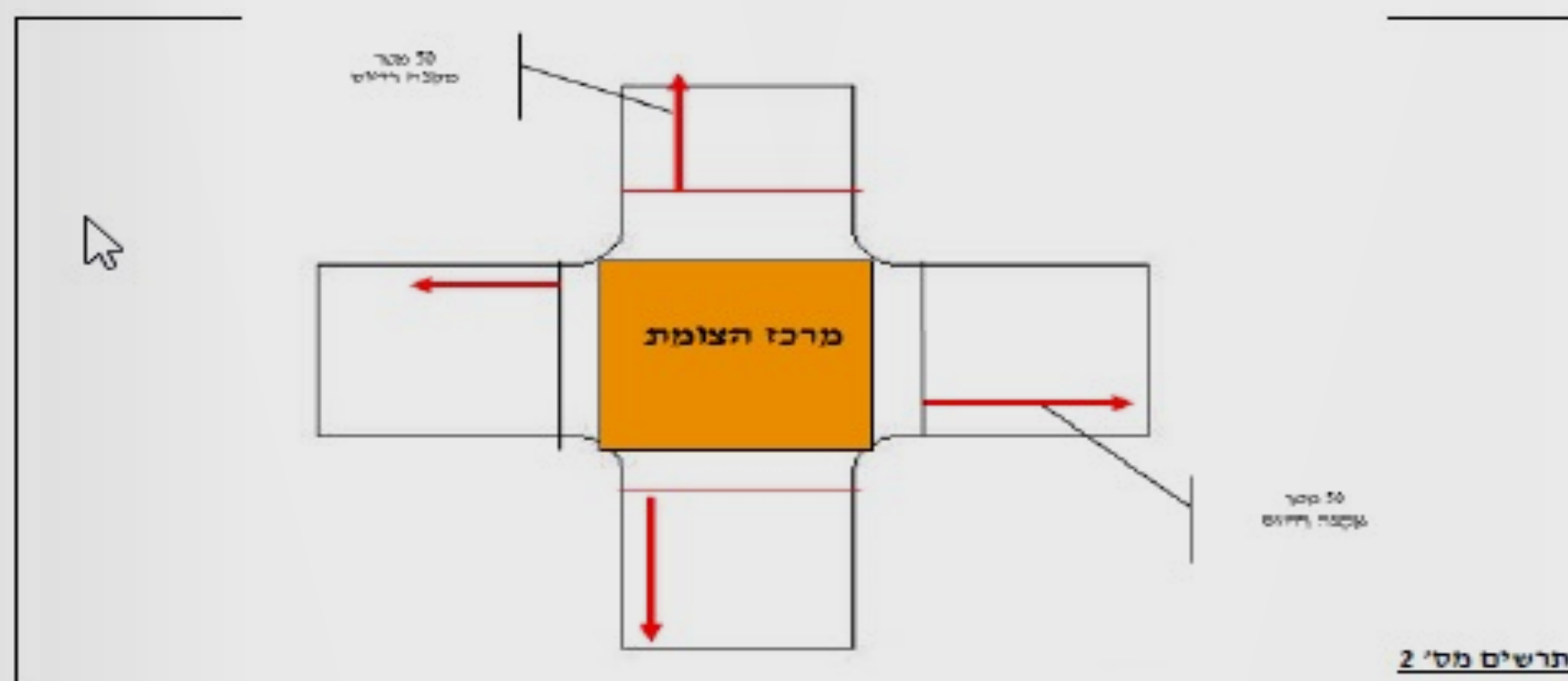
סוגי תערובת (אגרגט גס בזלת, גרניט ודו מינרלי)	ערך מינימלי דרוש [מ"מ] MPD ₁₀₀
תא"מ 19 מ"מ, תא"מ 25 מ"מ, תא"מ 19 מ"מ, תא"מ 25 מ"מ, תאמ"א 9.5 מ"מ	0.7
תאמ"א 19 מ"מ, תאמ"א 12.5 מ"מ	0.95

אזורים ללא קריטריון

צומת עם כינור

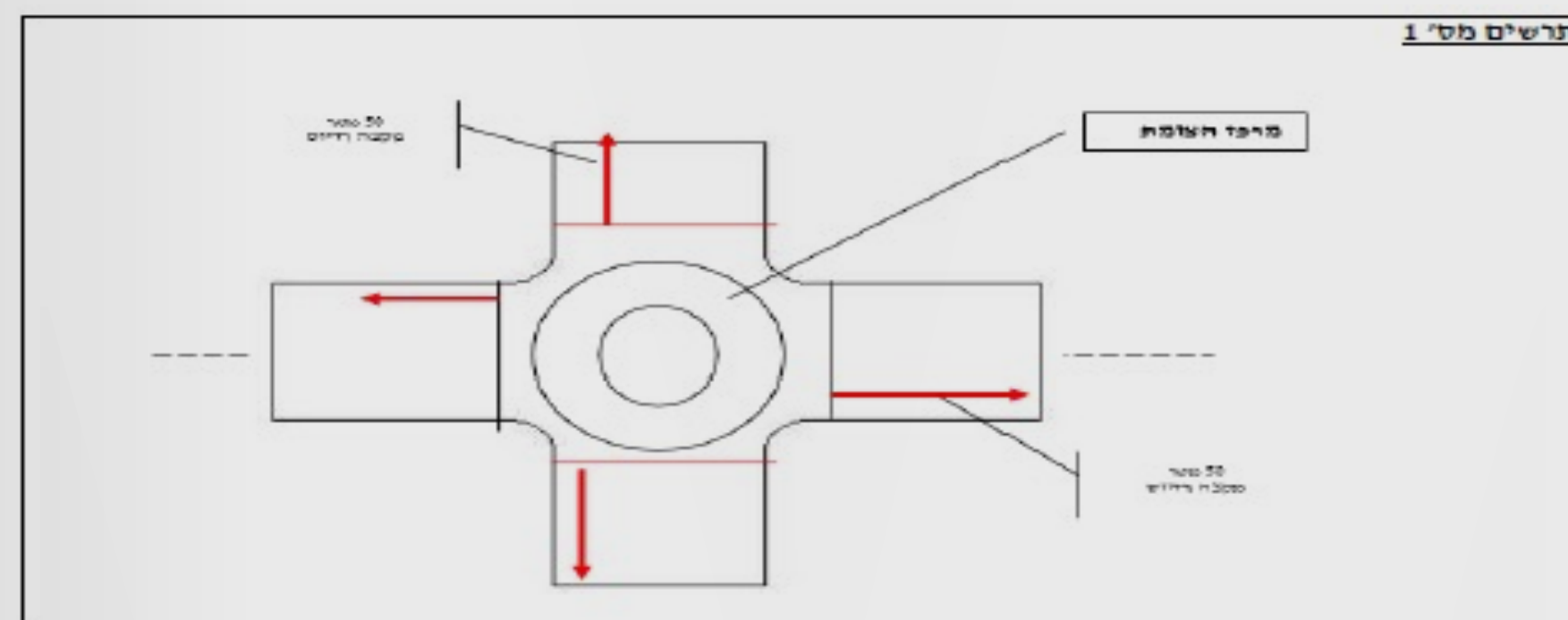


צמת עם
פנייה ימינה

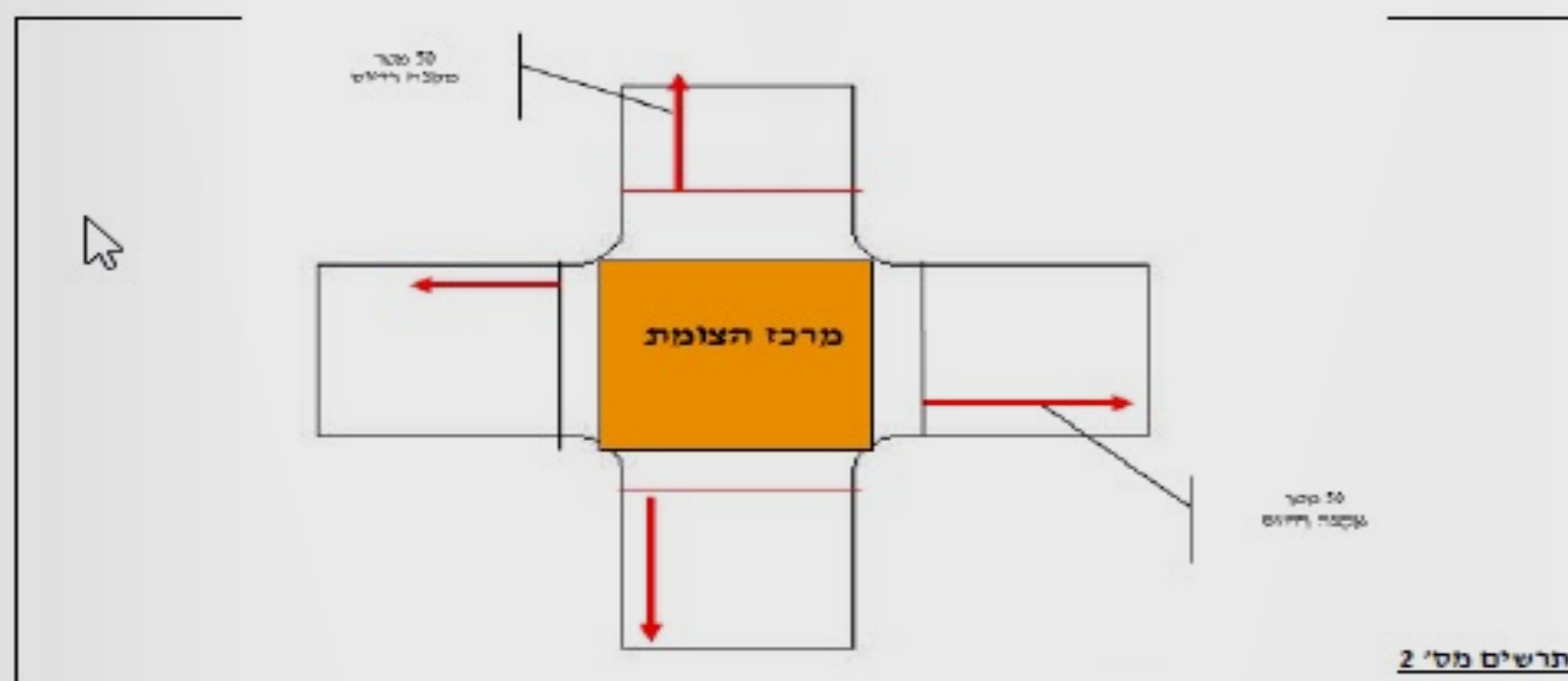


אזורים ללא קריטריון

צומת עם כינור



צמת עם
פנייה ימינה



התנגדות להחלקה בכבישים

- הגורמים המשפיעים על ערכי ההתנגדות להחלקה
 - א. מרקם שכבת האספלט – סוגי תערובות
 - ב. סוג האגרנט ליישום
- אופן מדידת ההתנגדות להחלקה בכבישים
- אופן מדידת ההתנגדות להחלקה בכבישים
- תאור המכשיר ואופן המדידה
- הקריטריונים המפרטיים להתנגדות
- הערות ליישום מדידות ההתנגדות החלקה
- סיכום

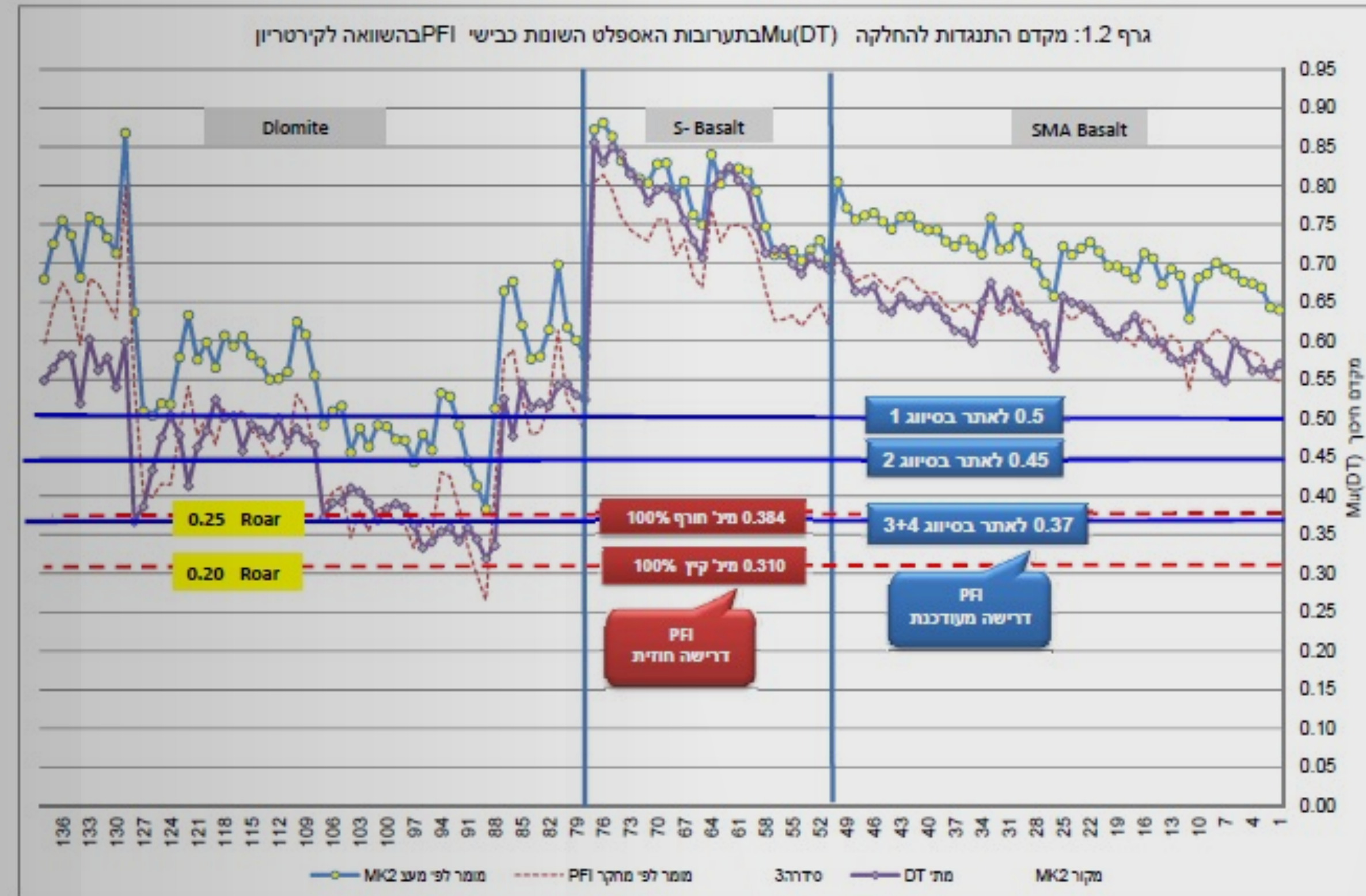
הערות ליישום המדידה

טבלה 51.04.08.08: קריטקיונים לזיהוי "תופעת נסיעה"

קריטריון לקביעת "תופעת נסיעה"	טווח מהירות מותר [קמ"ש]	מהירות קבועה כפי שנקבעה לקטע הכביש הנמדד [קמ"ש]
3 דיווחים (10 מטר) לסגמנט או יותר בהם ישנה חריגה מטווח מהירות [2]	60-80	75
3 דיווחים (10 מטר) לסגמנט או יותר בהם ישנה חריגה מטווח מהירות [2]	40-60	50

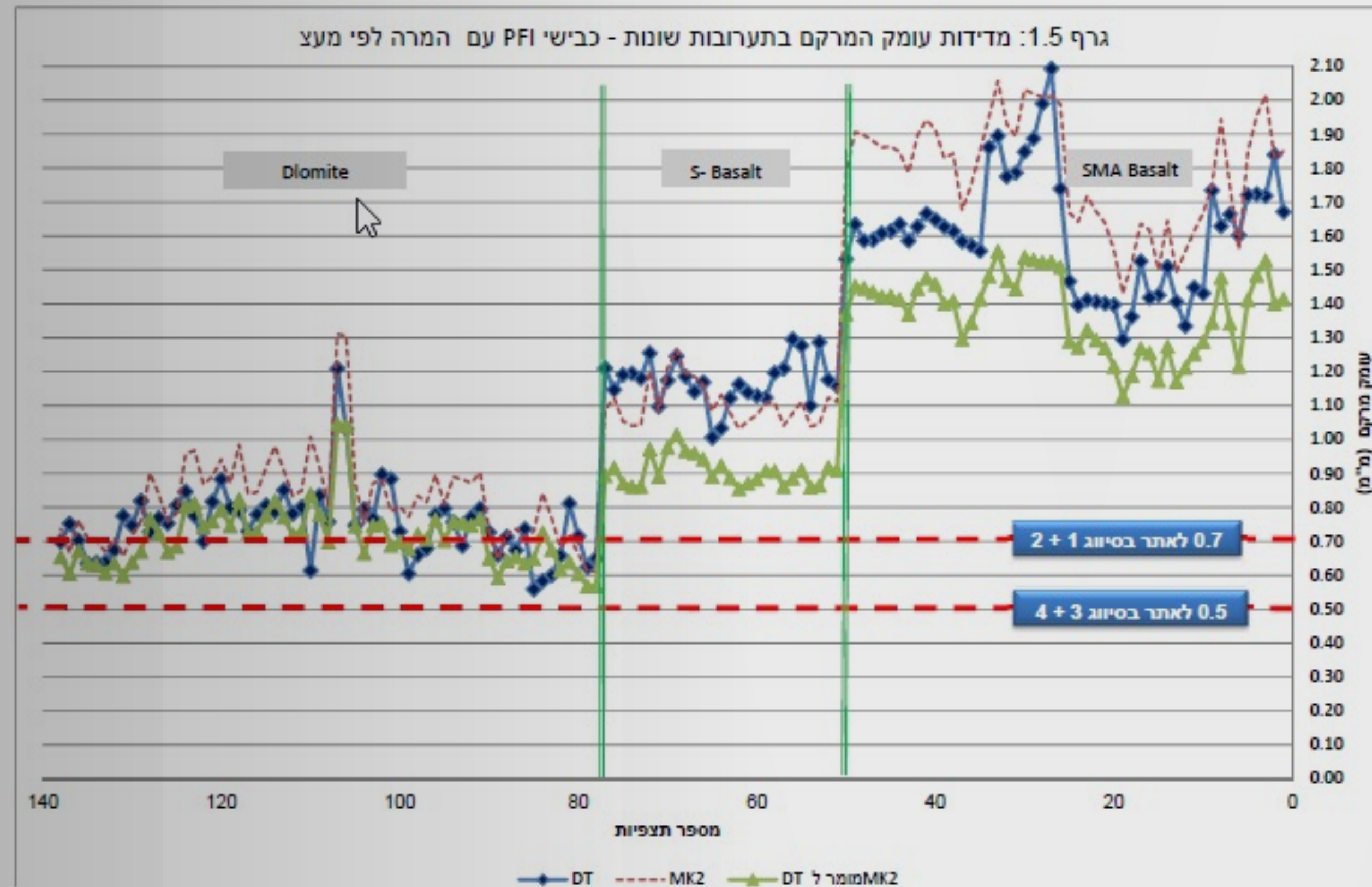
תופעת הנסיעה

הערות ליישום המדידה



הפרש בין טכנולוגיות

הערות ליישום המדידה



הפרש בין טכנולוגיות

הערות ליישום המדידה

טבלה 2.3 – ריכוז תוצאות בדיקות ההדירות בקטעי הבקרה – ניתוח ממוצעים ל-100 מטר

תאריך	מס' קטע בקרה	כמות מדגמים	Mu Average	Mu STD	Average CV %	Confidence Interval (percentile 90)*	Estimated Error %	Precision Delta (Bias)**	Precision Delta %
02/04/2014	1	36	0.612	0.021	3.4%	0.025	4.0%	0.011	1.8%
	2	20	0.623	0.023	3.7%	0.025	4.1%	0.009	1.4%
	3	128	0.625	0.022	3.5%	0.026	4.0%	0.010	1.6%
	4	76	0.677	0.025	3.7%	0.031	4.5%	0.013	1.9%
25/06/2014	1	30	0.549	0.020	3.7%	0.035	6.0%	0.009	1.7%
	2	21	0.540	0.014	2.7%	0.025	3.3%	0.006	1.2%
	3	96	0.581	0.017	3.0%	0.027	4.6%	0.007	1.2%
	4	69	0.613	0.021	3.5%	0.025	4.2%	0.009	1.4%

* Confidence Interval of the 3 Observation at 90 percentile (percentile 90) *

** ממוצע סטיות התקן של הפרש המוחלט בין המדגם הבודד לתוצאה הממוצעת

דיון
המדידה

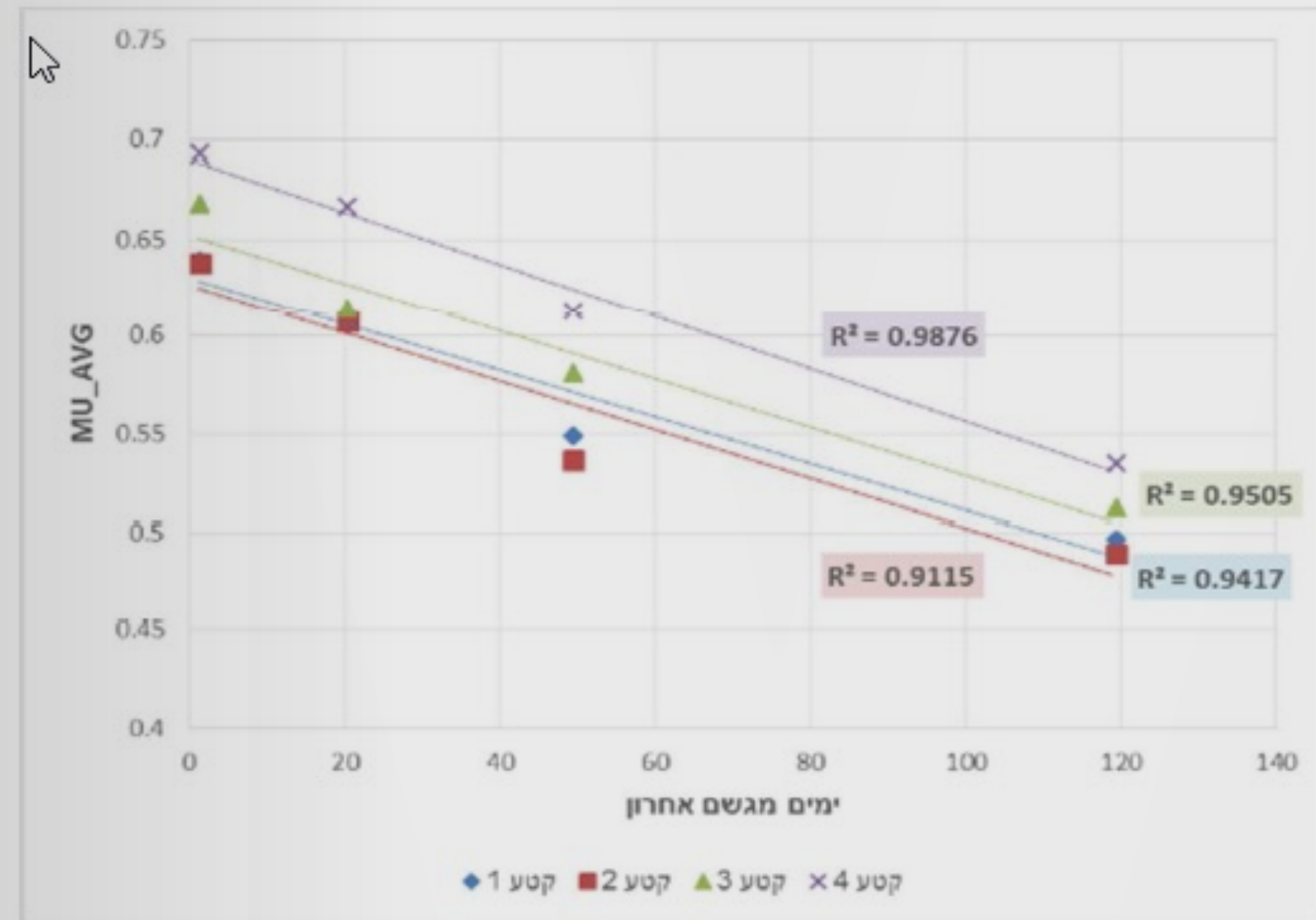
הערות ליישום המדידה

השפעת
עונות
השנה



הערות ליישום המדידה

המרחק מאירוע גשם



איור 2.10 הקשר בין ערכי MU ממוצע לכל קטע בקרה בנפרד ביחס למס' ימים מגשם אחרון

התנגדות להחלקה בכבישים

- הגורמים המשפיעים על ערכי ההתנגדות להחלקה
 - א. מרקם שכבת האספלט – סוגי תערובות
 - ב. סוג האגרנט ליישום
- אופן מדידת ההתנגדות להחלקה בכבישים
- אופן מדידת ההתנגדות להחלקה בכבישים
- תאור המכשיר ואופן המדידה
- הקריטריונים המפרטיים להתנגדות
- הערות ליישום מדידות ההתנגדות החלקה
- סיכום

הערות לסיכום

- 1.1 לערכי החיכוך של הכביש יש חשיבות ראשונה המעלה בכל הקשור לנושא הבטיחות בנסיעה
- 1.2 למינרולוגיה של האגרגט ולמרקם של תערובות האספלט יש את ההשפעה המכרעת על מקדם החיכוך בכבישים
- 1.3 ההערכה הראשונית נעשית כבר בשלב המעבדה עם קביעת ערך ה-PSV של אגרגט הבזלת
- 1.4 החיכוך ועומק המרקם במיסעות נמדד באמצעות מערכות מדידה רכובות ומכילות, אשר עוברות הסמכה ע"י נתיבי ישראל. קיימות שתי טכנולוגיות מאושרות DT +

הערות לסיכום

המשך

- 1.5 הקריטריונים המפרטיים מחולקים לפי סוגי התערובות המיושמות
הן לנושא החיכוך והן לנושא עומק המרקם
- 1.6 הטכנולוגיות השונות מודדות את אותה התכונה אך התוצאות לא תמיד זהות
- 1.7 יש שגיאה בדיוק מדידה שצריך לקחת בחשבון לעת קבלת החלטות
- 1.8 קיימת השפעה של עונות השנה על ערכי המדידה וכן יש השפעה על
המרחק מאירועי גשם.
- 1.9 לקבלת התוצאה המשקפת ביותר את תכונות המיסעה,
עדיף לבצע מייד לאחר אירוע גשם.

תודיה!

M•GEOKOM | 2025
הנדסה