

שימוש במלאן אפר פחם בתערובת אספלטית "S1 בזלתית סיכום ניסוי – שנת מעקב



ספטמבר 2006

הוכן על ידי:

יונה - ייעוץ וניהול הנדסי בע"מ

רח' שמשון 37, חיפה 34678
טל. 04-8246959 - פקס 04-8340459
email: yona@yonaltd.com



- Pavements
- Soils
- Materials



- דרכים
- קרקע
- חומרי סלילה



תאריך: 25/09/2006

מספרנו: 06/747

לכבוד

אינג' שמעון נסיכי

מעצ – החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ

אדון נכבד,

הנדון: שימוש במלאן אפר פחם בתערובת "S1 בזלתית, סיכום ניסוי – שנת מעקב

הרינו מתכבדים להגיש בזאת דו"ח סיכום של מצב המיסעה בכביש 789, שנה לאחר סלילתה בתערובת " S1 בזלתית עם חול בזלתי ומלאן מאפר פחם מרחף.

הניסוי נעשה על ידי מחצבות כנרת במהלך חודש אוגוסט 2005 והתערובת יושמה בין ק"מ 11-12 של הכביש (789).

המעקב נערך לקטע ניסוי ולקטע בקרה, ומתייחס לתכונות הבאות:

1. נזקים,
2. גליות,
3. חריצה,
4. עובי וצפיפות שכבת אספלט.

על פי ממצאי המעקב עולה כי תכונות המיסעה עם האספלט המכיל אגרגט דק בזלתי ואפר פחם מרחף אינן נופלות מתכונות המיסעה הקונבנציונאלית עם אגרגט דק ומלאן גירי/דולומיטי.

לוטה: דו"ח סיכום ניסוי – שנת מעקב.

בכבוד רב,

יונה – ייעוץ וניהול הנדסי בע"מ

יהודה זיס

העתק: אינג' לאריסה ליאחובצקי, מעצ – החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ.

אינג' ארקדי נמצוב, מעצ – החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ.

אינג' עומרי לולב – מנהלת אפר הפחם.

אינג' נתן לבנת – יועץ למנהלת אפר הפחם.

מר גור סלע – מנכ"ל מחצבות כנרת.



תוכן עניינים

1.....	מבוא	.1
1.....	רקע הנדסי.....	.2
1.....	מטרה	.3
2.....	התערובת האספלטית הטרייה	.4
3.....	השכבה האספלטית	.5
9.....	סיכום, מסקנות והמלצות	.6



שימוש במלאן אפר פחם בתערובת אספלטיית "S1 בזלתית

סיכום ניסוי – שנת מעקב

- 1. מבוא**
- 1.1 מעצ ביצעה במהלך חודש אוגוסט 2005 עבודות קרצוף וריבוד בכביש 789 בין ק"מ 8.5 לק"מ 14.2.
- 1.2 העבודה בוצעה באמצעות הקבלן הראשי מרדכי בנימין בע"מ וקבלן המשנה מחצבות כנרת.
- 1.3 השכבה העליונה נסללה עם תערובת "S1 שיוצרה מאגרנט גס בזלתי ממחצבות כנרת ומאגרנט דק גיר/דולומיטי ממחצבת ציפורית.
- 1.4 בין ק"מ 10.98 לק"מ 12.05 בוצע קטע ניסוי שבו הוחלף החול והמלאן הגיר/דולומיטי בחול בזלתי ובמלאן מאפר פחם מרחף.
- 1.5 הפיקוח הצמוד על הייצור והסלילה וכן הכנת מסמך זה, בוצעו על ידי חברת יונה יעוץ וניהול הנדסי בע"מ (להלן: "יונה בע"מ").
- 1.6 שנה לאחר ביצוע הסלילה נבדקות התכונות הבאות של פני המיסעה:
- (א) סקר נזקים חזותי,
- (ב) גליות,
- (ג) חריצה,
- (ד) עובי וצפיפות.
- 1.7 הבדיקה נעשתה על חלק מקטע הניסוי וקטע בקרה צמוד אליו, כלהלן:
- 1.7.1 קטע ניסוי – בין ק"מ 11.550 לק"מ 12.050.
- 1.7.2 קטע הבקרה – בין ק"מ 12.050 לק"מ 12.550.
- 2. רקע הנדסי**
- מזה שנים רבות סללה מע"צ שכבות אספלטייות עליונות עם אגרנט גס בזלתי לצורך הגברת מקדם ההתנגדות להחלקה ברטוב של המיסעה האספלטיית. אולם, האגרנט הדק ששימש לייצור התערובות היה קרבונטי (גיר/דולומיטי), הודות לאפינויות הטובה בין אגרנט זה לביטומן. תערובת אספלטיית בהרכב של אגרנט גס בזלתי ודקים בזלתיים הפגינה קיים קצר עקב הדחיייה החשמלית בין האגרנט לביטומן. החלפת החולות תרמה להארכת הקיים מאחר ושטח הפנים הספציפי של החול גדול יחסית לאגרנט הגס, ולכן משפיע יותר על קיים השכבה.
- 3. מטרה**
- 3.1 ניסוי זה הינו תוצר של זהות אינטרסים בין מחצבות כנרת המייצרת אגרנט בזלתי, ושל מנהלת אפר הפחם, המחפשת יישומים מגוונים לעודפי אפר הפחם המרחף הנוצר בתהליך שריפת הפחם.
- 3.2 למחצבות כנרת אינטרס כלכלי של שימוש בחול הנוצר בתהליך הייצור של האגרנט הבזלתי במחצבה. החלפת החול הבזלתי בגיר/דולומיטי מייקרת את עלות הייצור של התערובת האספלטיית עקב תוספת התשלום בגין האגרנט הגיר/דולומיטי, בתוספת רווח, וההובלה.
- 3.3 למנהלת אפר הפחם אינטרס של הפיכת פסולת למשאב בעל שימוש מועיל.



3.4 הניסוי יוגדר כמוצלח באם יוכח שהרכב המוצע של התערובת החלופית אינו פוגע בתכונות התערובת והשכבה האספלטית.

3.5 הצלחת הניסוי תפרוץ דרך שתתיר שימוש בחול בזלתי ובמלאן מאפר פחם מרחף לייצור תערובות אספלטיות איכותיות, בהתאם לאינטרסים אלו של יצרני חול בזלתי ומנהלת אפר הפחם.

4. התערובת האספלטית הטריה

4.1 מתכון הייצור של התערובת הטריה

טבלה מספר 1 מציגה את מתכון הייצור של התערובת הטריה, עם מלאן גיר/דולומיטי ועם מלאן מאפר פחם מרחף.

טבלה מספר 1: נוסחאות תערובות מתוכננות

תכולת ביטומן אופטימלית (%)	דירוג, אחוז עובר נפה									
	#200	#80	#40	#20	#10	#4	3/8"	1/2"	3/4"	1"
4.2	5.5	7	10	13	23	37	68	86	93	100

4.2 הוספת מלאן מאפר פחם

(א) בתהליך ייצור רגיל המלאן הגיר/דולומיטי נשאב מהחול הגיר/דולומיטי במהלך חימום האגרגטים.

(ב) המלאן נאגר בשתי ממגורות (סילוסים) ייעודיים (גס ודק) ומשם מוזן בשקילה לתערובת.

(ג) בהליך הניסיוני הוסף אפר הפחם המרחף בשני שלבים:

1. המלאן הבזלתי המצוי בחול הבזלתי נשאב ומובא אל אחד הסילוסים ללא הוספתו לתערובת.

2. אפר הפחם הוזן ממיכלית ייעודית אל הסילו השני והוסף לתערובת לאחר שקילה.

(ד) השיטה הנ"ל של הוספת המלאן הבטיחה שלא יוסף לתערובת מלאן ממקור בזלתי או גירי.

(ה) אפר הפחם היה במצב יבש ושפיד. טבלה מספר 2 מציגה את דירוג אפר הפחם.

טבלה מספר 2: דירוג אפר הפחם

#200	#80	#40	#20	נפה
76	85	94	100	% עובר

(ו) לתערובת האספלטית הוזנה כמות של 6.5% ממשקל התערובת הכולל ובדיקת ניפוי הצביעה על תכולת מלאן (עובר נפה מספר 200) של 4.9%.

4.3 התערובות הטרייות

מניתוח ממצאי בדיקות בקרת האיכות ניתן לציין את הנקודות העיקריות הבאות:

4.3.1 כל הבדיקות בשתי סוגי התערובות עמדו בדרישות המפרט.

- 4.3.2 ניתוח סטטיסטי של ממצאי בדיקות בקרת האיכות שנעשו במהלך הייצור מצביע על כך שהצפיפות, היציבות, הנזילות, החוזק המשותייר ואחוז החלל בשתי התערובות שייכות לאותה קבוצה ואין ביניהן הבדל מובהק.
- 4.3.3 הניתוח הסטטיסטי הני"ל מצביע על הבדל מובהק בערך VMA, כנראה עקב הצפיפות הגבוהה יותר של החול הבזלתי משל החול הגירי/דולומיטי.
- 4.3.4 בתאריך 30/08/05 בוצעה בדיקה השוואתית של חוזק משתייר לתקופה של 24, 72 ו-114 שעות השריה בשתי התערובות בטמפרטורה של 60°C. על פי מבחן בודד זה החוזק המשותייר של התערובת "הקונבנציונאלית" גבוה יותר לאחר 24 שעות אולם קצב ההידרדרות איטי יותר בתערובת הניסיונית.

5. השכבה האספלטית

5.1 תכונות השכבה האספלטית הטריה

מהתרשמות ויזואלית ומניתוח ממצאי הבדיקות של השכבה האספלטית ניתן לציין את הנקודות העיקריות הבאות:

- 5.1.1 מרקם פני השטח, הפיזור וההידוק נראים אחידים בשני סוגי התערובות.
- 5.1.2 האזור הצמוד לשכבת הניסוי ולקטע הניסוי עצמו מפגינים ערכי גליות נחותים משאר הקטע, אולם הדבר נובע כנראה מגיאומטריית המיסעה ולא מהשכבה האספלטית.
- 5.1.3 ההתנגדות להחלקה נמדדה על פי נהלי מעצ (מכשיר ROAR, 75 קמ"ש, 86% החלקה) בקטע של שני ק"מ. ק"מ אחד לכל סוג תערובת לצורך השוואת תכונה זו בתערובות השונות. אולם, מקטע באורך של 250 מ' בתערובת הניסיונית לא שוקלל בניתוח מאחר והוא נמצא בעקומה אופקית העלולה להשפיע על ערך המדידה. ניתוח הממצאים מצביע על המסקנות הבאות:
- א) ערך מקדם החיכוך של תערובת הניסוי היה 0.36.
- ב) ערך מקדם החיכוך של התערובת ה"רגילה" היה 0.34.
- ג) על פי המבחן הסטטיסטי יש בין הקטעים שוני מובהק.
- ד) שתי התערובות גבוליות ביחס לדרישת מעצ למקדם של 0.35 בשכבה חדשה.

5.2 תכונות השכבה האספלטית לאחר שנת מעקב

- 5.2.1 סקר נזקים חזותי
- בשני הקטעים מוערך ערך PCI בתחום 90-95 ולא נצפו נזקים הקשורים לתערובת האספלטית. בגדול נתיב הנסיעה והשול של התערובת "הרגילה" בקטע הבקרה נצפו שני אזורים בגודל של כ- 1x1 מ' עם התחלת סדקי אליגטור, כנראה, עקב חולשה מבנית, אחד מול הכניסה לבית אריזה נאות גולן, ואחד בכניסה ליישוב.
- 5.2.2 גליות
- טבלאות מספר 3 ו-4 מציגות את ערכי הגליות במדד IRI₁₀₀ בקטעים אלו, לנתיבים 3 ו-4, בהתאמה.



טבלה מספר 3: ערכי הגליות במדד IRI₁₀₀, נתיב 3

מקדם שונות (%)		סטית תקן		ממוצע		מכסימום		מינימום		ערך IRI ₁₀₀		לק"מ	מק"מ	קטע
										(מ"ק"מ)				
2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005			
18.48	14.53	0.35	0.27	1.88	1.83	2.33	2.10	1.50	1.48	1.50	1.48	11.7	11.6	ניסוי
										2.33	2.10	11.8	11.7	
										1.76	1.95	11.9	11.8	
										1.96	1.79	12.0	11.9	
21.66	12.50	0.39	0.21	1.80	1.67	2.37	1.84	1.49	1.40	1.61	1.61	12.2	12.1	מעקב
										1.49	1.40	12.3	12.2	
										2.37	1.84	12.4	12.3	
										1.76	1.84	12.5	12.4	



טבלה מספר 4: ערכי הגליות במדד IRI₁₀₀, נתיב 4

שונות		סטית תקן		ממוצע		מכסימום		מינימום		ערך IRI ₁₀₀		לק"מ	מק"מ	קטע
										(מ"ק"מ)				
2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005			
5.68	13.30	0.10	0.23	1.72	1.73	1.85	2.02	1.62	1.48	1.74	1.77	11.7	11.6	ניסוי
										1.85	2.02	11.8	11.7	
										1.70	1.63	11.9	11.8	
										1.62	1.48	12.0	11.9	
14.80	7.90	0.25	0.13	1.68	1.64	1.97	1.77	1.44	1.53	1.50	1.53	12.2	12.1	מעקב
										1.44	1.73	12.3	12.2	
										1.80	1.77	12.4	12.3	
										1.97	1.53	12.5	12.4	

5.2.3 חריצה

במקביל ובצמוד למקום הליבות (ראה סעיף 5.2.4 להלן) נמדדה החריצה באמצעות סרגל אלומיניום באורך של 1.0 מ' ובאמצעות טריז מדידה. טבלה מספר 5 מציגה במ"מ את מיקום נקודות המדידה וערכי החריצה שנמדדו. מספור הקידוחים תואם את פרוגרמת הבדיקות שבוצעה בשנת 2005 בתהליך בקרת האיכות.

טבלה מספר 5: מיקום נקודות המדידה וערכי החריצה במ"מ

קטע בקרה			קטע ניסוי			מס"ד
הערות	חריצה (מ"מ)	חתך	הערות	חריצה (מ"מ)	חתך	
	1	12.540		0	12.040	1
	0	12.515		0	11.940	2
כניסה לנאות גולן	2	12.340		2	11.890	3
	2	12.365		2	11.790	4
	0	12.215		0	11.740	5
כניסה למפעל אריזה	5	12.140		0	11.640	6
	0	12.115		0	11.590	7

5.2.4 צפיפות ושיעור הידוק

מכל אחד הקטעים (הניסוי והבקרה) ניטלו 7 מדגמים, חופפים למספור ולמקום הקטעים שניטלו מיד לאחר הסלילה. טבלאות מספר 6 ו-7 מציגות את נתוני הליבות וניתוח ממצאי בדיקות הצפיפות ושיעור ההידוק, לשנים 2005 ו-2006, בהתאמה.

5.3 חיכוך

אחת התועלות הפוטנציאליות של השימוש בחול בזלתי בתערובת האספלטית הינו הגדלת ערכי מקדם החיכוך של פני מיסעה. אי לכך נמדד ערך זה בשלב הניסוי בשנת 2005, תוך מטרה להשוות את השתנות מקדמי החיכוך על ציר הזמן בשני הקטעים הנבחנים. אולם, עקב תקלה בציוד המדידה, לא ניתן לבדוק את החיכוך עד תום שנה מסלילת הקטע וערך זה יושלם עם גמר תיקון הציוד.

**טבלה מספר 6: צפיפות ושיעור הידוק מדגמי אספלט, תוצאות 2005**

קטע בקרה				קטע ניסוי				מס"ד
שיעור הידוק (%)	צפיפות (ק"ג/מ"ק)	ק"מ	גליל מספר	שיעור הידוק (%)	צפיפות (ק"ג/מ"ק)	ק"מ	גליל מספר	
99.0	2,352	12.540	46	97.5	2,298	12.040	53	1
98.1	2,330	12.515	47	97.9	2,307	11.940	54	2
98.6	2,342	12.340	48	98.8	2,328	11.890	55	3
98.5	2,340	12.365	49	98.0	2,310	11.790	56	4
97.4	2,315	12.215	50	98.4	2,319	11.740	57	5
97.2	2,310	12.140	51	98.9	2,331	11.640	58	6
97.1	2,307	12.115	52	98.6	2,323	11.590	59	7
97.1	2,307	מינימום		97.5	2,298	מינימום		
99.0	2,352	מכסימום		98.9	2,331	מכסימום		
98.0	2,328	ממוצע		98.3	2,317	ממוצע		
0.76	17.58	סטיית תקן		0.52	12.01	סטיית תקן		
0.8	0.8	מקדם שונות (%)		0.5	0.5	מקדם שונות (%)		



טבלה מספר 7: צפיפות ושיעור הידוק מדגמי אספלט, תוצאות 2006

קטע בקרה				קטע ניסוי				מס"ד
שיעור הידוק (%)	צפיפות (ק"ג/מ"ק)	ק"מ	גליל מספר	שיעור הידוק (%)	צפיפות (ק"ג/מ"ק)	ק"מ	גליל מספר	
98.2	2,328	12.540	46	97.4	2,294	12.040	53	1
97.4	2,307	12.515	47	97.9	2,308	11.940	54	2
98.2	2,328	12.340	48	96.0	2,262	11.890	55	3
97.3	2,306	12.365	49	96.1	2,264	11.790	56	4
97.3	2,306	12.215	50	97.6	2,301	11.740	57	5
96.2	2,279	12.140	51	96.6	2,276	11.640	58	6
97.2	2,303	12.115	52	99.0	2,333	11.590	59	7
96.2	2,279	מינימום		96.0	2,262	מינימום		
98.2	2,328	מכסימום		99.0	2,333	מכסימום		
97.4	2,308	ממוצע		97.2	2,291	ממוצע		
0.68	16.71	סטיית תקן		1.08	25.68	סטיית תקן		
0.7	0.7	מקדם שונות (%)		1.1	1.1	מקדם שונות (%)		



6. סיכום, מסקנות והמלצות

- 6.1 מסמך זה מציג ממצאי מעקב אחר השתנות תכונות שכבה אספלטית עליונה (תא"מ 25 בזלתית) בקטע ניסוי שבוצע עם תערובת אספלטית המכילה אגרגט דק בזלתי ומלאן מאפר פחם מרחף, ביחס להשתנות אותן תכונות בקטע בקרה עם תערובת אספלטית "קונבנציונאלית" המכילה אגרגט דק ומלאן גיר/דולומיטי.
- 6.2 התכונות המשוות במסמך זה הינן:
- (א) נזקים,
 - (ב) גליות,
 - (ג) חריצה,
 - (ד) עובי וצפיפות.
- 6.3 המסמך מציג את התכונות הנ"ל לאחר שנת שירות אחת של השכבה האספלטית, ומשווה אותן לתכונות שנמדדו מיד לאחר הסלילה (גליות, עובי וצפיפות).
- 6.4 קטעי הניסוי והבקרה נמצאים בין ק"מ 11.55 לק"מ 12.05 ובין ק"מ 12.05 לק"מ 12.55 של כביש 789, בהתאמה.
- 6.5 תוכנית המעקב כללה גם בדיקת חיכוך לבחינת ההשערה שהשכבה האספלטית המיוצרת עם חול בזלתי תציג הידרדרות איטית יותר במקדם ההתנגדות להחלקה מהשכבה הקונבנציונאלית. בדיקה זו לא בוצעה עקב תקלה בציוד המדידה והיא תושלם עם חזרת הציוד לכשירות.
- 6.6 על פי ממצאי בדיקות המעקב שבוצעו עולה כי תכונות המיסעה עם האספלט המכיל חול בזלתי ואפר פחם מרחף אינן נופלות מתכונות המיסעה הקונבנציונאלית עם אספלט המיכל חול ומלאן גיר/דולומיטי.
- 6.7 לאור זאת, ובמידה ויוכח שמקדם ההתנגדות להחלקה של התערובת הניסיונית אינו נופל ממקדם ההתנגדות להחלקה של תערובת הבקרה, מומלץ להרחיב בהדרגה את היקף ייצור התערובות האספלטיות המכילות חול בזלתי ואפר פחם מרחף.