

מנהלת אפר הפחם

**שימוש באפר פחם מרחף
כמלאן בתערובות אספלט/
בזלת**

תקציר

הוכן ע"י אינג' נתן לבנת

נובמבר 2008

תל-אביב

תוכן עניינים

3.....	אפר פחם מרחף – רקע כללי	01.00
4.....	בדיקות מוקדמות	02.00
5.....	בדיקות חריצה באמצעות מתקן הגלגל הנע	03.00
6.....	קטע ניסוי בכביש מס' 40	04.00
8.....	אישור מע"צ לשימוש באפר פחם כמלאן בתערובות אספלט	05.00
9.....	קטע ניסוי בכביש מס' 789	06.00
11.....	סיכום ניסוי בכביש מס' 789, לאחר שנת מעקב	07.00
13.....	שיקום כביש מס' 91 באספלט בזלת/ אפר פחם	08.00
15.....	אישור מע"צ לשימוש בתערובות אספלט בזלת/ אפר פחם	09.00

01.00 אפר פחם מרחף – רקע כללי

בפרק זה:

(א) מבוא כללי.

(ב) תקן אמריקאי מס' D242-04

Standard Specification for Mineral Filler for Bituminous Paving Mixtures.

(ג) הרכב כימי של אפרי פחם שונים.

(ד) מבט מיקרוסקופי של מלאנים.

תקציר פרק 01.00

1. מהו אפר פחם?

בשריפת פחם בדוודים של תחנות כוח (בטמפרטורה של כ- 1300°C – 1700°C) נוצרים מספר תוצרי לוואי שריכוזם כ- 4% – 15% מכמות הפחם הנשרף. העיקריים שבתוצרים אלה הם אפר פחם וגזי פליטה. אפר פחם הוא שם קיבוצי לתוצרי השריפה המוצקים של פחם על סוגיו השונים. האפר מהווה את השארית הלא שרופה של הפחם והיא נגזרת משאריות אנאורגניות (מינרלים) של סלע שמהוות חלק בלתי נפרד מן הפחם. הרכבו הבסיסי של האפר הוא תערובת של חומרים אנאורגניים מינרליים שלא עברו שריפה. ההרכב הכימי של האפר תלוי בסוג האפר, בסוג הפחם, מקורו ויעילות תהליך השריפה. מעל 90% של האפר על סוגיו השונים מורכב מתחמוצות סיליקה, אלומיניום, ברזל וקלציום.

2. סוגי האפר השונים

הפחם הנשרף בתחנות הכח בישראל מכיל 4% – 15% אפר, מותנה במקור הפחם. בין מקורות הפחם המיובא לישראל הפחמים הדרום אפריקניים, האוסטרליים והרוסיים מאופיינים בשיעור גבוה יחסית של אפר ואילו בפחמים הקולומביאניים והאינדונזיים שיעור האפר נמוך יחסית. 88% – 90% מכמות האפר שמתקבלת משרפת הפחם בתחנות הכוח מן הסוג הקיים בארץ הם אפר מרחף (fly ash), 10% – 12% הם אפר תחתית (bottom ash).

02.00 בדיקות מוקדמות

בפרק זה:

- א) נייר עבודה מס' 1, מיום 04.07.01.
- ב) נייר עבודה מס' 2 (ללא תאריך).
- ג) הערות לניירות העבודה מס' 1 ו-2.
- א. כל בדיקות ההתנגדות להחלקה בוצעו באמצעות מטוטלת בריטית (British Pendulum) לפי התקן האמריקאי ASTM E-303.
- ב. כל המדגמים לצורך בדיקת ההתנגדות להחלקה הוכנו בעזרת הציוד של מתקן "הגלגל הנע", המתואר בפרק 3 בהמשך.
- ד) מסמך מע"צ מס' s4842 מיום 25 מרץ, 2002.
- ה) מכתב חברת החשמל לישראל מס' 202-27 מיום 8 אפריל, 2002.

תקציר פרק 02.00

רקע

1. חברת החשמל מעוניינת לקדם את השימוש באפר פחם מרחף בתערובות אספלט מתקדמות (בעיקר מסוג S ו-SMA) כתחליף למלאן הרגיל העשוי גיר דולומיטי.
2. במחקר הכנה שבצעה חב' החשמל הוכנו במת"י ירושלים מדגמים בצורת רבע מעגל במכשיר הידוק מיוחד. מדגמים אלו כללו מספר וריאציות של תערובות S, SMA ואספלט שקט עם מלאן אפר פחם ומלאן גירי דולומיטי רגיל. מדגמים אלו נבדקו לתכונות החיכוך שלהם בתקופת חשיפה טבעית לאוויר וגשם של כחודש ימים.
3. עמדת חברת החשמל הינה עפ"י הניתוח שבדו"ח, שלכאורה, השימוש במלאן אפר פחם תורם לשיפור מקדם החיכוך בתערובות האספלטיות השונות. לפיכך, יש מקום לגשת לביצוע קטע ניסוי מלא שבו יבחן הנושא בתנאי שטח אמיתיים.

החלטות

1. האגף לחומרים ומחקר של מע"צ איננו מתנגד לביצוע סלילה ניסיונית של קטע ניסוי של תערובת אספלטית תוך שימוש במלאן אפר פחם מרחף.
2. לפי בקשת חברת החשמל מדובר בשלב ראשון בסלילה של תערובת S רגילה (עם אגרגט בזלתי) תוך החלפת המלאן הגירי דולומיטי הרגיל באפר פחם.
3. כעקרון, השאיפה היא שמחיר התערובת הניסיונית (בניסוי) יהא זהה למחירה של התערובת הרגילה (כלומר, העבודה לא תוגדר כ"סעיף חריג").
4. הניסוי יתוכנן, ככל האפשר, כך שהמשתנה היחיד בו יהיה סוג המלאן.

03.00 בדיקות חריצה באמצעות מתקן הגלגל הנע

תקציר פרק 03.00

1. מיתקן הגלגל הנע, שנבנה בזמנו ע"י מכון התקנים – סניף ירושלים, הינו מודיפיקציה של הציוד המשמש ל-

BS 598: 1996 "Sampling and Examination of bituminous mixture for roads and other paved areas"

Part 110 : "Methods of test for determination of wheel-tracking rate"

ציוד זה אינו בשימוש היום.

2. הבדיקות נערכו במכון התקנים הישראלי סניף ירושלים. בדיקה מס' 8211154882

3. תערובת האספלט בה השתמשו בבדיקה הנ"ל הייתה מסוג "S" 1" שהוכנה מהאגרטים של מפעל עמק האלה השייך לחברת שפיר בע"מ. הבדיקה הייתה השוואתית בין תערובת "S" 1" רגילה לבין אותה תערובת כאשר הוחלף בה המלאן הגירי דולומיטי באפר פחם מרחף.

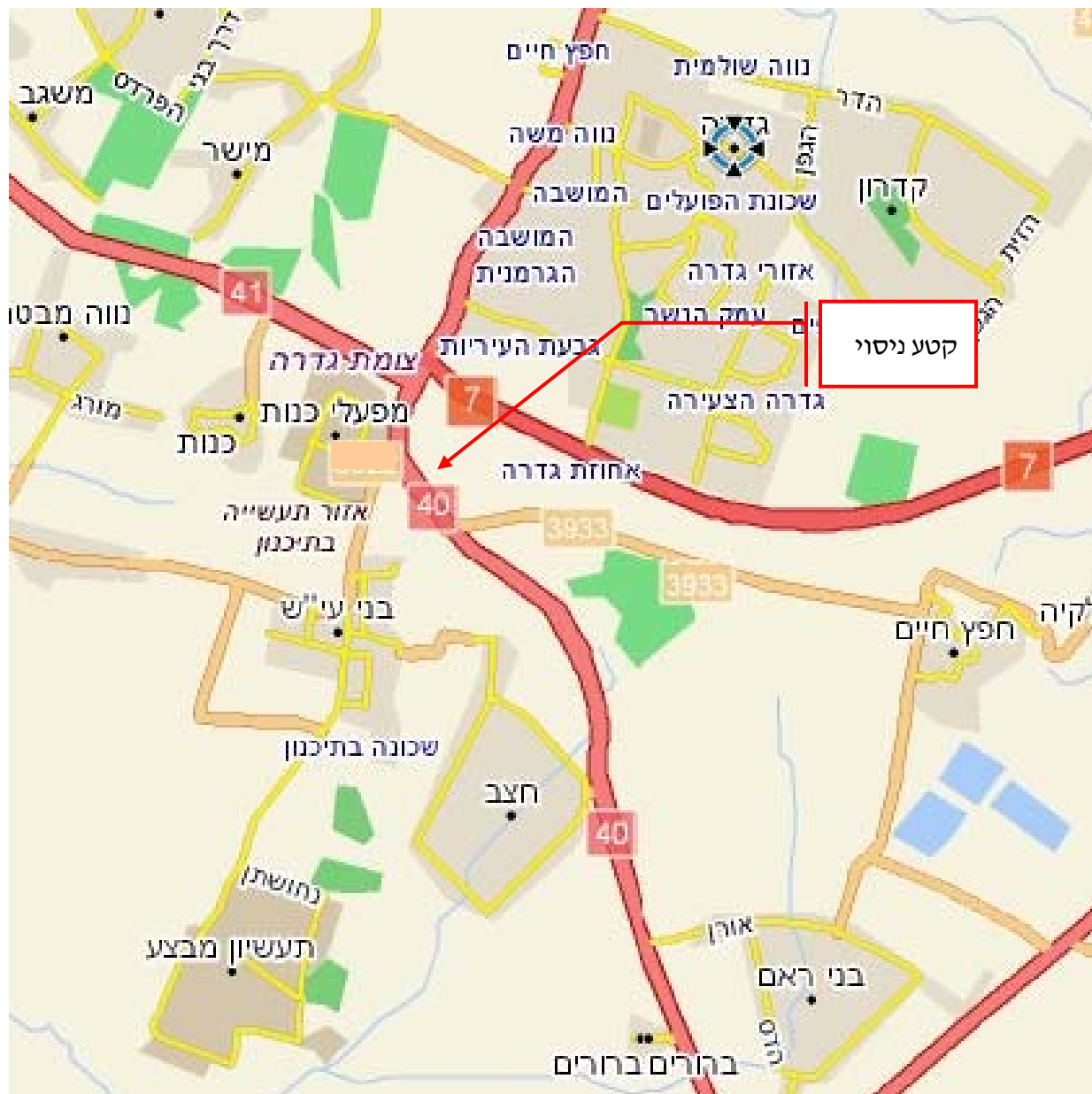
4. תוצאות:

א. עומק החריצה שנמדד בנקודת ההרס של התערובת "S" 1" הרגילה לאחר 232,000 מעברים היה 4.40 מ"מ.

ב. עומק החריצה שנמדד בנקודת ההרס של התערובת "S" 1" עם מלאן אפר פחם לאחר 232,000 מעברים היה 4.13 מ"מ.

5. מסקנה: החלפת המלאן הדולומיטי באפר פחם מרחף, שיפרה את התנהגות התערובת "S" 1" בבחינת מעבר הגלגלים הנעים עליה.

04.00 קטע ניסוי בכביש מס' 40



תקציר פרק 04.00

רקע כללי

1. מתוך מספר ניסויים מוקדמים שנערכו בשנת 2001 התבררה התנהגות משופרת של תערובות אספלטיות שהכילו אפר פחם מרחף בכל הנוגע להתנגדות להחלקה. בתערובות אספלטיות שיוצרו עם תוספת של אפר פחם מרחף התקבלו במרבית המקרים ערכים גבוהים יותר בבדיקות חיכוך (בשיטת המטוטלת הבריטית, ASTM E-303) מאשר בתערובות אספלטיות ללא תוספת אפר פחם מרחף.
2. מהות הניסוי מתבססת על החלפת מרבית המלאן (חומר שגדלו קטן מ- 0.074 מ"מ) שבתערובת האגרנטים המשמשת לייצור האספלט באפר פחם מרחף שמקורו בתחנות הפחם של חברת החשמל. סך הכל מדובר בכ- 5% ממשקל התערובת האספלטית. מטרת הניסוי היתה לבחון בתנאי שדה את ההבדלים בהתנגדות להחלקה בין תערובת אספלט רגילה לבין תערובת אספלט הכוללת מלאן מאפר פחם מרחף
3. הניסוי בוצע עם תערובת אספלט מסוג S – 25 מ"מ. תערובת זו המכונה תערובת אספלט מבנית (תא"מ) מהווה כיום את התערובת השכיחה ביותר בשימוש מע"צ.
4. האגרנט הגס בתערובת ששימשה בניסוי היה אגרנט דולומיטי. שני קטעי בקרה שבוצעו במהלך הניסוי כללו תערובת S 25 מ"מ רגילה שבה גם המלאן הינו מסוג גירי- דולומיטי. קטע הניסוי עצמו בוצע באותה תערובת, כאשר המלאן הוחלף באפר פחם מרחף.
5. הניסוי הקיף כ- 1000 מ"א נתיב של תערובת רגילה (בשני קטעים של 500 מ"א כל אחד) וכ- 500 מ"א נתיב של תערובת "אפר פחם".

סיכום ומסקנות

1. תהליך הייצור של התערובת בעלת מלאן מאפר פחם היה פשוט יחסית והתערובת שנוסחה נראתה כעבידה ונוחה לסלילה. תוצאות הבדיקות שנערכו, הן בתערובת הניסוי והן בתערובות שבוצעו בקטעי הבקרה היו טובות בעיקרן, ללא הבדל משמעותי בין התערובות.
2. תכונות תערובת הניסוי והתנהגותה בעת הסלילה ואחריה (במגבלות תקופת המעקב הקצרה) נראות טובות ונאותות.
3. בנושא החיכוך נתקבלו שתי תוצאות שונות לכאורה. מצד אחד, ערכי החיכוך שהתקבלו במטוטלת הבריטית היו טובים במידה מסוימת בקטע הניסוי מאשר בקטעי הבקרה. ערכי החיכוך בכל הקטעים היו נמוכים יחסית, על גבול הנדרש לפי הקריטריונים הקיימים בנושא זה במע"צ. במצב זה, תוספת של מספר יחידות חיכוך (על ידי תוספת אפר הפחם) משפרת במידה לא זניחה את מידת יכולתה של המיסעה לתפקד.
4. לעומת האמור, במדידות חיכוך במכשיר ה- ROAR של הטכניון, התקבלו תוצאות חיכוך נמוכות יותר בקטע הניסוי מאשר בקטעי הבקרה

05.00 אישור מע"צ לשימוש באפר פחם כמלאן בתערובות אספלט

בפרק זה:

(א) מכתב מע"צ מס' S6670-16 מיום 9.3.2004 .

(ב) שני עמודים מתוך התקן הישראלי ת"י 362, חלק 1 (מרס 2003) "תערובות אספלט חמות: הרכב ותכנון".

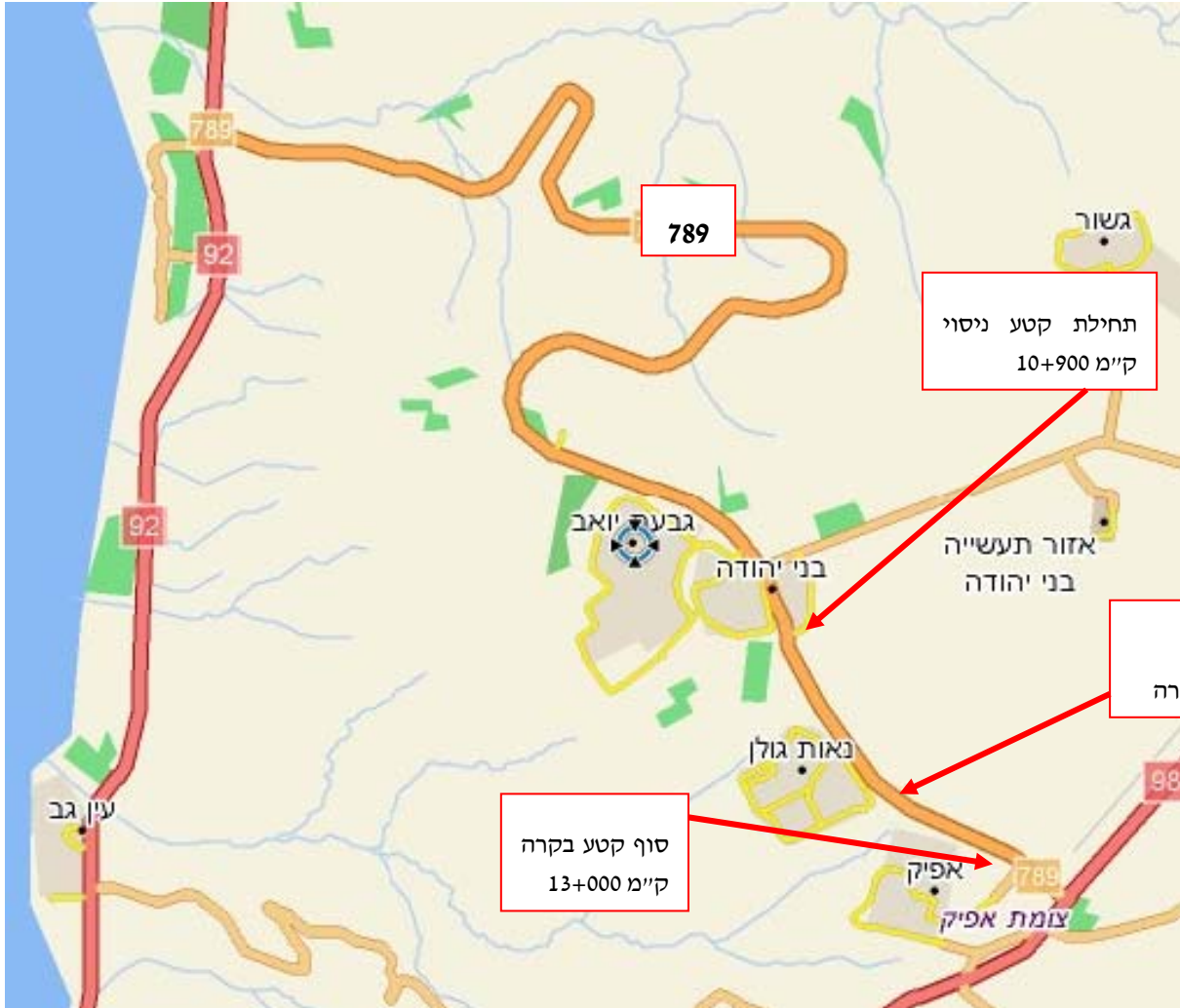
תקציר פרק 05.00

תקן ישראלי ת"י 362, חלק 1 (מרס 2003):

מוספים מינרליים ממקורות תעשייתיים

מוספים מינרליים ממקור תעשייתי כגון: צמנט פורטלנד, מימת סיד (סיד הידרתי) או **אפר פחם מרחף**, המוספים לתערובות אספלט לפי דרישת המזמין, יתאימו לתקנים הישראליים החלים עליהם, לפי העניין.

06.00 קטע ניסוי בכביש מס' 789



תקציר פרק 06.00

רקע

1. מע"צ ביצעה במהלך חודש אוגוסט 2005 עבודות קרצוף וריבוד בכביש 789 בין ק"מ 8.5 לק"מ 14.2.
2. העבודה בוצעה באמצעות הקבלן הראשי מרדכי בנימין וקבלן המשנה מחצבות כנרת.
3. השכבה העליונה נסללה עם תערובת "S1 שיוצרה מאגרנט גס בזלתי ממחצבות כנרת ומאגרנט דק גירי/דולומיטי ממחצבת ציפורית.
4. בין ק"מ 10.98 לק"מ 12.05 בוצע קטע ניסוי שבו הוחלף החול והמלאן הגירי/דולומיטי בחול בזלתי ובמלאן מאפר פחם מרחף.

המטרה

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.
2. למחצבות כנרת אינטרס כלכלי של שימוש בחול הנוצר בתהליך הייצור של האגרנט הבזלתי במחצבה. החלפת החול הבזלתי בגירי/דולומיטי מייקרת את עלות הייצור של התערובת האספלטיית עקב תוספת התשלום בגין האגרנט הגירי/דולומיטי, בתוספת רווח, וההובלה.
3. למנהלת אפר הפחם אינטרס של הפיכת פסולת למשאב בעל שימוש מועיל.
4. הניסוי יוגדר כמוצלח באם יוכח שההרכב המוצע של התערובת החלופית אינו פוגע בתכונות התערובת והשכבה האספלטיית.
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.

סיכום, ומסקנות

1. מטרת הניסוי הייתה לבחון באם ניתן לאשר ייצור אספלט בהרכב של אגרנטים דקים בזלתיים ומלאן מאפר פחם מרחף, במקום ההרכב המסורתי של אגרנטים דקים ומלאן גיריים/דולומיטיים.
2. התערובת יוצרה במפעל האספלט של מחצבות כנרת ונסללה בין ק"מ 11-12 של כביש 789, במהלך חודש אוגוסט 2005.
3. החלפת החומרים לא פגעה בקיים התערובת האספלטיית במבחן השריה במים.
4. נצפו תכונות דומות של חוזק-דפורמציה ויחסי משקל-נפח של שני סוגי התערובות השונות.
5. תהליך הייצור של התערובת הניסיונית היה פשוט ולא חייב שינויים מהותיים במפעל ובתהליך.
6. הפיזור, ההידוק, המרקם, הצפיפות ונוחות הנסיעה של השכבה האספלטיית בשני סוגי התערובות היה דומה.
7. מקדם ההתנגדות להחלקה של השכבה האספלטיית בשני סוגי התערובות היה דומה, עם יתרון קל לתערובת הניסיונית, כנראה עקב החלפת החול הגירי/ דולומיטי בחול בזלתי.

07.00 סיכום ניסוי בכביש מס' 789, לאחר
שנת מעקב



תקציר פרק 07.00

רקע

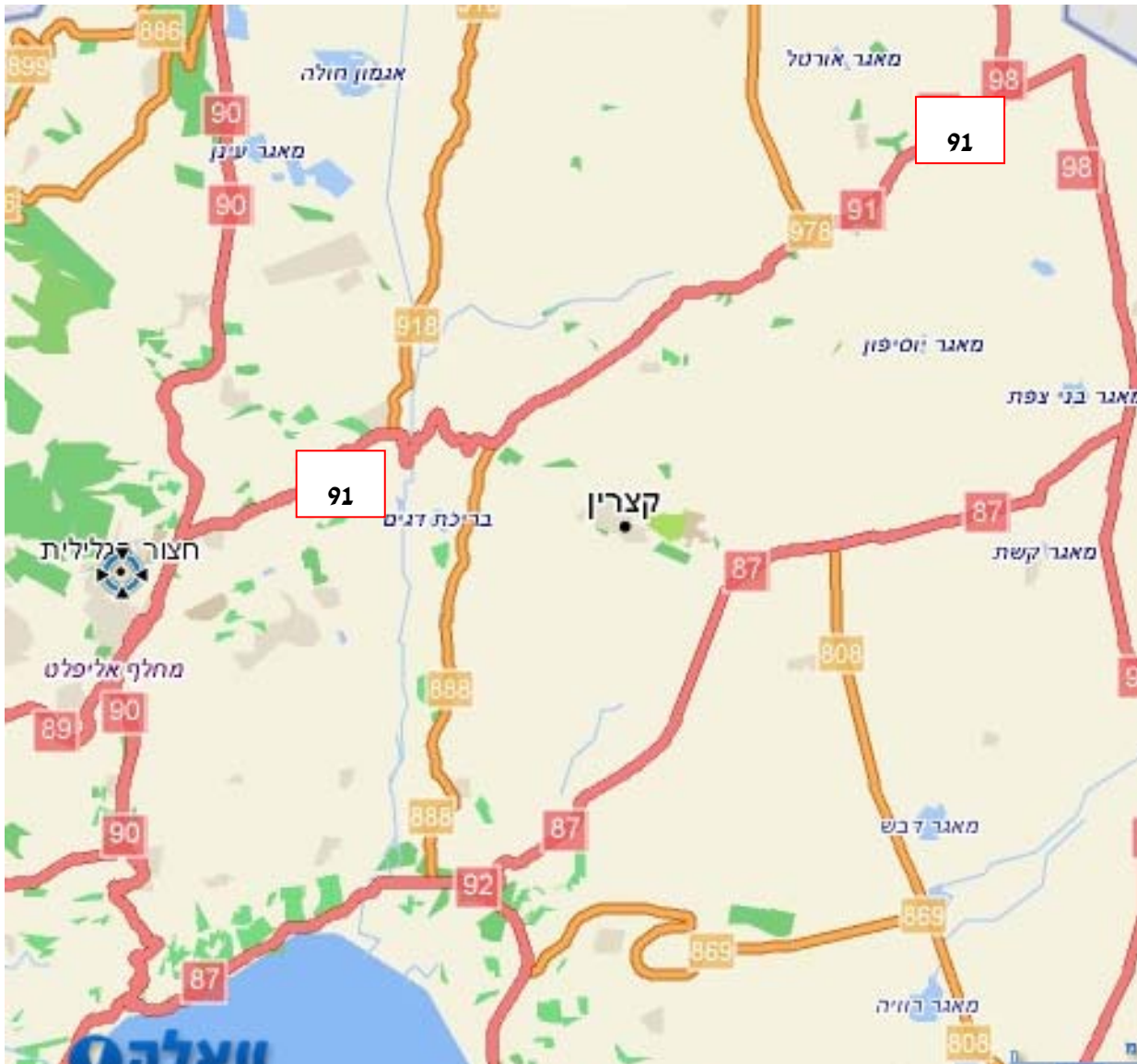
שנה לאחר ביצוע קטע הניסוי וקטע הבקרה בכביש מספר 789 נבדקו התכונות הבאות של פני המיסעה:

- א. סקר נזקים חזותי,
- ב. גליות,
- ג. חריצה,
- ד. עובי וצפיפות.

סיכום ומסקנות

1. על פי בדיקות המעקב שבוצעו עולה כי תכונות המיסעה עם האספלט המכיל חול (אגרגט דק) בזלתי ואפר פחם מרחף, אינן נופלות מתכונות המיסעה הקונבנציונלית עם אספלט המכיל חול (אגרגט דק) ומלאן גירי/ דולומיטי.
2. מקדם ההתנדדות להחלקה לא נבדק בשלב זה, בגלל חוסר במכשיר מסוג ROAR בארץ.
3. בתאריך 02.08.07 נבדקה רמת ההתנגדות להחלקה (מקדם החיכוך) במכשיר ROAR ביוזמת מנהלת אפר הפחם. התוצאה הייתה (ראה עמוד 84) שרמת ההתנגדות להחלקה של שיכבת הניסוי אינה נופלת מרמת ההתנגדות להחלקה של שיכבת הבקרה.

08.00 שיקום כביש מס' 91 באספלט בזלת/
אפר פחם



תקציר פרק 08.00

1. כביש מס' 91, העלייה המרכזית לרמת הגולן, שוקם במסגרת פרויקט האחזקה המונעת של מע"צ בשנת 2006. השיקום כלל הרחבת הכביש הקיים וריבוד מיסעת האספלט לכל רוחבה. העבודה בוצעה ע"י הקבלן "מובילי המרכז" ומנהל הפרויקט היה חב' גיאוכום בע"מ. תערובת האספלט יוצרה ע"י קבלן המשנה "מחצבות כינרת".
2. עבודת השיקום כללה, בין היתר, ייצור ויישום תערובת אספלט מסוג "S" 25 מ"מ, בה כל האגרנטים הם בזלתיים והמלאן הוא אפר פחם. בהתאם להנחיות מע"צ תערובת זו יושמה רק כשיכבה נושאת עליונה, לכל רוחב המיסעה, ולא לעבודות הרחבת הכביש.
3. התערובת הנ"ל, בכמות כוללת של 3,743.5 טון, יוצרה ע"י מחצבות כינרת ויושמה ע"י הקבלן "מובילי המרכז" בתקומה 7.12.06 – 19.12.06.
4. תערובת האספלט תאמה את דרישות פרק 51, תת פרק 04 של המפרט הכללי לעבודות סלילה וגישור של מע"צ.

09.00 אישור מע"צ לשימוש בתערובות אספלט בזלת/ אפר פחם

מעצ - החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ



המפרט הכללי לעבודות סלילה וגישור

פרק 51: עבודות - סלילה
תת פרק 04: שכבות אספלטיות
במיסעות

עדכון : מרס 2008

מהדורה ראשונה

תקציר פרק 09.00

51.04.02.07 אגרגט ממרכיב שונה

51.04.02.07.01 בנוסף לאמור לעיל, ניתן להשתמש בתערובות אספלטיות עם אגרגט דק בזלתי ומלאן מאפר פחם מרחף, ובלבד שהתערובת, האגרגט הגס והאגרגט הדק יעמדו בכל דרישות המפרט (למעט הרכב מינרולוגי של האגרגט הדק והמלאן) ושניתן לכך אישור ענייני של מע"צ/ אגף מו"פ לכל פרויקט בנפרד.

במקרה כזה על הקבלן להבטיח כי המלאן מאפר פחם מרחף יוזן לאספלט ממיכל אחסון (SILO) ייעודי נפרד וכי המלאן הבזלתי יאגר בנפרד במיכל אחר. לא יעשה שימוש במלאן הבזלתי ליצור תערובות אספלטיות ועל הקבלן לנקוט בכל האמצעים הנדרשים כדי למנוע כניסת מלאן בזלתי לתערובת.