

**מנהלת אפר הפחם**

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

**הוכן ע"י אינג' נתן לבנת**

**אוגוסט 2008**

**תל-אביב**

## תוכן עניינים

01.00	אפר פחם מרחף – רקע כללי.....	3
02.00	בדיקות מוקדמות .....	11
03.00	בדיקות חריצה באמצעות מתקן הגלגל הנע .....	22
04.00	קטע ניסוי בכביש מס' 40 .....	40
05.00	אישור מע"צ לשימוש באפר פחם כמלאן בתערובות אספלט .....	59
06.00	קטע ניסוי בכביש מס' 789 .....	63
07.00	סיכום ניסוי בכביש מס' 789, לאחר שנת מעקב .....	71
08.00	שיקום כביש מס' 91 באספלט בזלת/ אפר פחם .....	85
09.00	אישור מע"צ לשימוש בתערובות אספלט בזלת/ אפר פחם .....	119
10.00	רשימת מראי מקום .....	123

# 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-  $1700^{\circ}\text{C}$  –  $1300^{\circ}\text{C}$ ) 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).

## א. מבוא כללי

פחם כמחצב הנכרה מקליפת כדור הארץ מכיל את כל היסודות הטבעיים הקיימים בסלעים ובקרקעות, בכללם מתכות כבדות, סיליקה ויסודות רדיואקטיביים שנקלטו בו במהלך תקופות גיאולוגיות ממושכות ואשר מקורם בחומרים האורגניים (צמחים ובעלי חיים) מהם נוצר הפחם ובמשקעים מינרליים שהצטברו בזמן היווצרות מרבצי הפחם. בשריפת הפחם בתחנת הכח מתרכזים היסודות בתוצרי השריפה – בחלקם בגזי הפליטה ובעיקרם באפר.

שימושי אפר פחם נפוצים בעולם בתחומים רבים, בעיקר כחומר גלם בבנייה וכחומר מילוי בתשתיות. ניצול אפר הפחם כמחליף חומרי גלם טבעיים תורם לסביבה. הן בעקיפין: בצמצום כרייה הפוגעת בסביבה, בכלל זה של חומרי גלם המצויים במחסור בארץ; בהפחתת פליטת מזהמים לאוויר, בעיקר CO<sub>2</sub>, הכרוכה הן בכרייה עצמה והן בתהליכים תעשייתיים העושים שימוש בחומרים המוחלפים ע"י האפר, בעיקר במלט ובבטון; וכן בעצם ההימנעות מסילוקו כפסולת; והן ישירות: בנטרול וקיבוע של פסולות מסוכנות; בהפחתת שפיעת רדון במוצרי בנייה ובתשתיות ועוד.

אפר הפחם אינו מוגדר כפסולת מסוכנת Hazardous waste בכל המדינות המפותחות והארגונים הסביבתיים בעולם, אלא כתוצר לואי Industrial by-product שמתאים לשמש כמשאב המחליף חומרי גלם טבעיים. בישראל מוגדר האפר כ"חומר בר השבה הטעון בקרה סביבתית בשימושו" וכל כמות האפר מנוצלת בצורה מועילה בכפוף לתנאים סביבתיים, כברוב המדינות בעולם.

## רקע כללי

### 1. מהו אפר פחם?

בשריפת פחם בדוודים של תחנות כוח (בטמפרטורה של כ- 1700°C – 1300) נוצרים מספר תוצרי לוואי (CCB – Coal Combustion Byproduct או CCP – Coal Combustion Products) 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 שהם: ביטומיני, תת-ביטומיני, אנתרציט וליגניט. 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, לרבות יסודות קורט ושאריות של תרכובות פחממניות שמקורן בחלקיקי פחם שלא נשרפו. 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, קלציום, מגנזיום, אשלגן, נתרן וטיטניום, כאשר המרכיבים העיקריים בהם הם ארבעת הראשונים.

### 2. מהם 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). חלק מחלקיקי האפר המרחף הם סנוספרות (cenosphere – כדורים חלולים) המהווים עד 5% מכלל האפר שמשקלם המרחבי קל במיוחד: 0.4 עד 0.6 גרם לסמ"ק בלבד (להלן – משקל האפר).

גודל (קוטר) חלקיקי **האפר המרחף** קטן בדרך כלל מ-100 מיקרון; ממוצע הגודל בסביבות 20 מיקרון; כ-20% מעל 45 מיקרון (גודל קריטי כאשר האפר משמש כמוסף לבטון); כ-30% מתחת ל-10 מיקרון (גודל משמעותי ביישומים בהם משמש האפר כמלאן). צורת החלקיקים בדרך כלל כדורית, אך גם מעוגלים לא סימטריים, זוויתיים וכו', כתלות בפחם עצמו, בהרכב המינרלוגי ובתנאי הבעירה. שטח הפנים מצוי בדרך כלל בתחום 1 – 3 מ"ר לגרם. משקלו הסגולי של אפר מרחף משתנה בהתאם למקור הפחם והרכבו המינרלוגי, בתחום 1.8 – 2.4 גרם לסמ"ק בארץ. עקב צורת חלקיקי האפר המרחף צפיפותם המרחבית הנדמית (bulk density) תלויה מאד במידת ההידוק שלהם והיא בתחום 1.6 – 0.4 גרם לסמ"ק. האפר המרחף דומה לאבקה קמחית. צבע האפר נע מאפור בהיר עד אפור כהה כתלות במרכיביו. גוון בהיר מושפע מתכולת הסייד וגוון כהה מושפע מאחוז הפחם הבלתי שרוף וריכוז הברזל. האפר המרחף מכיל 60 – 80% של תחמוצות אלומינו-סיליקטיות בצורה אמורפית (זכוכיתית) וכמויות קטנות של מרכיבים גבישיים כגון, קוורץ, מוליט, מגנטיט והמטיט.

חלקיקי **אפר התחתית** נקבוביים ופריכים ומתאפיינים בעיקר בסדר גודל של מילימטרים (בד"כ עד 10 מ"מ) הנע בין גודל של חצץ לגודל של חול דק. החלקיקים נראים כחצץ עדין גרוס או חול גס בצבע המשתנה מאפור כהה לחום כהה (תלוי בסוג הפחם הנשרף ותכולת התחמוצות השונות). משקלו הסגולי של האפר גבוה יחסית (בתחום 2.1 – 2.4 גרם לסמ"ק בארץ). בגלל צורת החלקיקים-גסים ומזוותים- צפיפותם המרחבית קטנה בהרבה מהמשקל הסגולי והיא בתחום 0.8 – 1.5 גרם לסמ"ק. שטח הפנים של אפר תחתית נמוך מזה של אפר מרחף ועומד על כ-0.4 מ"ר לגרם. ניתן להתייחס לאפר תחתית ומרחף כאל חומר אחד מבחינת האופיון הכימי, שכן הרכבם הכימי דומה מאד והם נבדלים בעיקר במבנה. ההבדל העיקרי בכימיה שלהם הוא בכך שריכוז יסודות הקורט הנדיפים גדול יותר באפר המרחף.

### 3. איך נוצר אפר הפחם?

האפר הוא השארית המוצקה הנותרת משריפת הפחם. ניתן לחלק את התהליך שהפחם עובר בתחנת הכוח לשלושה שלבים: הכנת הפחם לשריפה, תהליך השריפה עצמו והטיפול בתוצרי השריפה. לכל אחד מהם השפעה על האפר ואיכותו.

ההכנה הראשונית היא טחינת הפחם. הפחם מוזן למערכת טחינה המורכבת ממטחנות. אויר ראשוני משמש לייבוש הפחם תוך כדי טחינתו, ולשינוע הפחם הטחון דרך צינורות אל הדוודים. פחות מ-2% מגרגרי הפחם הטחון הם בגודל מעל 300 מיקרון, ו-70% – 75% מהם מתחת לגודל 75 מיקרון. תחנה טיפוסית בהספק 500 MW מכילה 6 מטחנות המייצרות כ-200 טון פחם טחון לשעה בעומס מלא.

תכונות הפחם העיקריות המשפיעות על טחינתו: דירוג הגודל של גרגרי הפחם, מבנה מינרלוגי, רטיבות, ריכוז נדיפים ותכונות מכניות (קושי).

אבקת הפחם הטחון מוזרקת דרך המבערים לדוד עם זרם אוויר ראשוני חם, שם הוא מתערבב עם יתרת האוויר הדרוש (אוויר משני) כדי לאפשר הצתה מהירה, ונשרף. חלוקה מרחבית של המבערים על פני קירות הדוד מבטיחה את כמות האוויר ואת פיזורו בחלל הדוד הנדרשים להתלקחות מהירה ולבעירה מושלמת. ישנם מבערים הממוקמים בצורה טנגנציאלית במקביל לדפנות הדוד ויוצרים מערבולת להבה טורבולנטית, ואחרים בצורה אופקית משולי הדוד למרכזו. שריפת הפחם נעשית בטמפ' שבין  $1300 - 1700^{\circ}\text{C}$ , התלויה בדירוג הפחם.

משך הבעירה הממוצע של גרגר פחם יחיד בדוד הוא בסדר גודל של 0.25 שניה, ומשך שהייתו הממוצע באזור השריפה הוא 2 – 5 שניות.

בשריפת הפחם נוצר כאמור אפר פחם – מרחף ותחתית. חלקיקי אפר התחתית נוצרים מהתלכדות של חלקיקי אפר לחלקיקים כבדים יחסית שלא עוברים הרחפה ושוקעים בבריכת מים בתחתית דוד השריפה, שם הם עוברים קירור מיידי הגורם להשתמרות המבנה הנקבובי של האפר. האפר המרחף שרוי בטמפ' של  $1000 - 1500^{\circ}\text{C}$ , הגורמת להתכתו. החלקיקים המותכים קלים ונסחפים באוויר עם גזי הפליטה ועוברים קירור מהיר בדרכם אל מחוץ לדוד. בתנאים אלו הזמן להתגבשות אינו מספיק, והחומר שנוצר בדרך כלל הוא חלקיקים כדוריים זכוכיתיים (אמורפיים) עם דפנות חלקות, בניגוד לחלקיקים הגסים והמזוותים של אפר התחתית.

ביציאתם מהדוד אל הארובה עוברים גזי הפליטה דרך משקעים אלקטרוסטטיים (ESP - Electrostatic Precipitators) המיועדים ללכוד את האפר, שם יורדת הטמפ' ל-  $130 - 180^{\circ}\text{C}$ .

במשקעים האלקטרוסטטיים מוצבים לוחות הטעונים במתח גבוה (15 אלף וולט). חלקיקי האפר המרחף המוסעים עם גזי הפליטה והנושאים מטען שלילי נצמדים ללוחות עם המטען חיובי המנוגד למטענם. בצורה זו כ- 99.75% מממוצע מן האפר המרחף מסולק מגזי הפליטה, ומועבר מה- ESP דרך מערכת צינורות יניקה (פניאומטית), לאחסון בממגורות (סילוסים) בתוך תחנת הכוח. החלקיקים הנותרים מהאפר המרחף - כמות המשתנה בהתאם לסוג ESP, מס' הלוחות, סוג הפחם וכו' - ממשיכים עם גזי הפליטה ונפלטים לסביבה, כאשר בתחנות כוח בהן מותקן (Flue Gas) FGD (Desulphurization) המטפל בגזי הפליטה (מפחית פליטת תחמוצות גופרית לאוויר), נקלט עוד חלק מחלקיקי האפר הנותרים ביציאה מה- ESP, לפני פליטתם לסביבה.



Designation: D 242 – 04

## Standard Specification for Mineral Filler For Bituminous Paving Mixtures<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 242; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

### 1. Scope

1.1 This specification covers mineral filler added as a separate ingredient for use in bituminous paving mixtures.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. Inch-pound units, shown in parentheses, are for information only.

1.3 The text of this standard references notes and footnotes which provide explanatory material. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of the standard.

### 2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*<sup>2</sup>

**C 50** Practice for Sampling, Preparation, Packaging, and Marking of Lime and Limestone Products

**C 183** Practice for Sampling and the Amount of Testing of Hydraulic Cement

**C 311** Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete

**D 546** Test Method for Sieve Analysis of Mineral Filler for Bituminous Paving Materials

**D 4318** Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils

### 3. General Description

3.1 Mineral filler shall consist of finely divided mineral matter such as rock dust, slag dust, hydrated lime, hydraulic cement, fly ash, loess, or other suitable mineral matter. At the time of use, it shall be sufficiently dry to flow freely and essentially free from agglomerations.

### 4. Physical Requirements

4.1 Mineral filler shall be graded within the following limits:

Sieve	Percent Passing (by Mass)
1.18 mm (No. 16)	100
600-μm (No. 30)	97 to 100
300-μm (No. 50)	95 to 100
75-μm (No. 200)	70 to 100

4.2 Mineral Filler prepared from rock dust, slag dust, loess, and similar materials shall be essentially free from organic impurities and have a plasticity index not greater than 4.

NOTE 1—Plasticity index limits are not appropriate for hydrated lime and hydraulic cement.

### 5. Methods of Sampling and Testing

5.1 Sample the mineral filler according to Practice **C 50**, **C 183**, or Test Methods **C 311**, whichever is most appropriate for the material being sampled, except as noted in 5.1.1.

5.1.1 Obtain samples at random intervals not to exceed each 300 tons of material as delivered.

5.2 The minimum size of field samples shall be 5.0 kg. Reduce the field sample to a minimum size of 2.5 kg for testing.

5.3 Determine the grading of the material by Test Method **D 546**.

5.4 Determine the plasticity index by Test Method **D 4318**.

<sup>1</sup> This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee D04 on Road and Paving Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D04.50 on Aggregate Specifications.

Current edition approved Dec. 1, 2004. Published December 2004. Originally approved in 1926. Last previous edition approved in 2000 as D 242 – 95 (2000)<sup>1</sup>.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

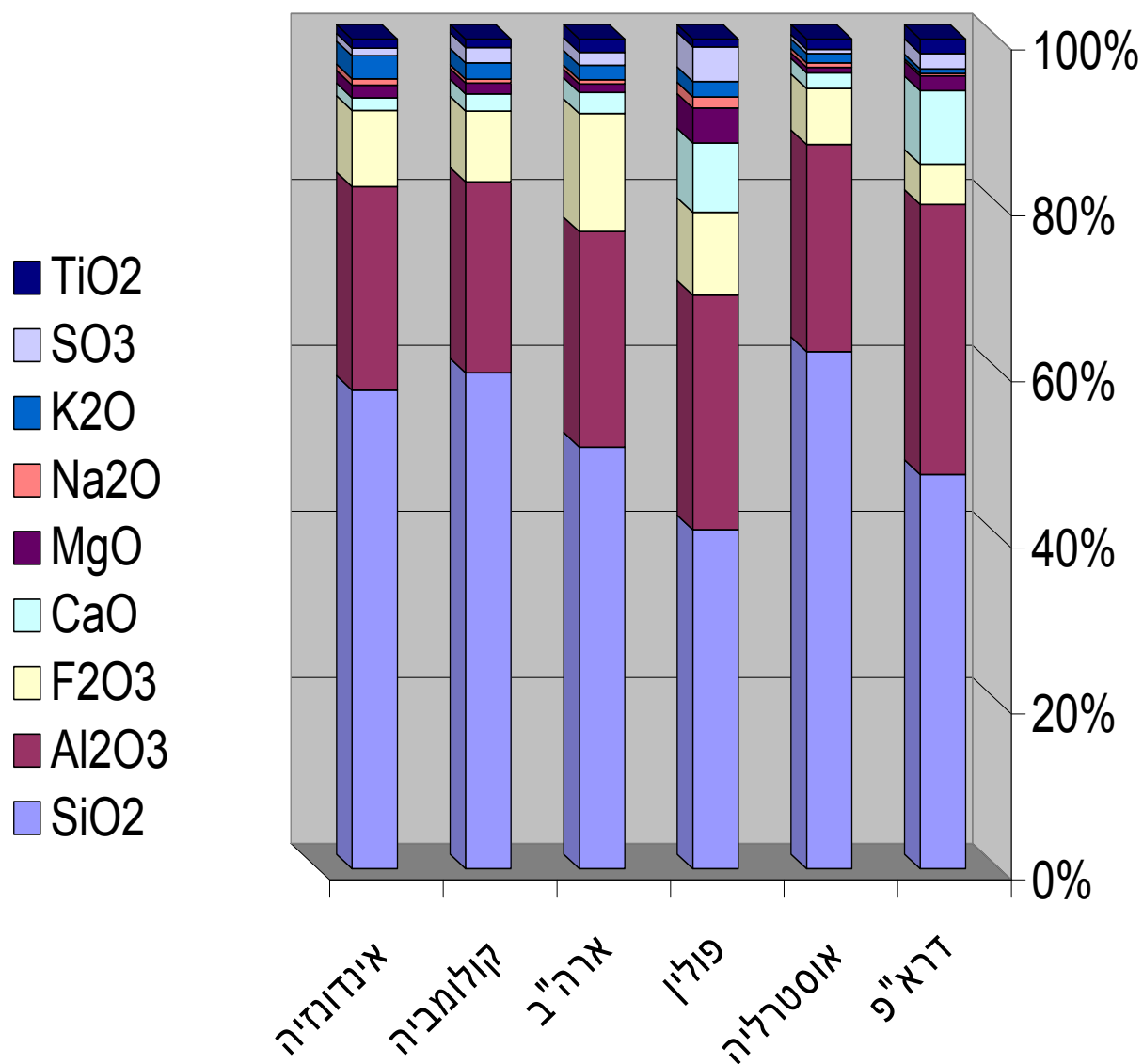
*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9595 (phone), 610-832-9555 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*

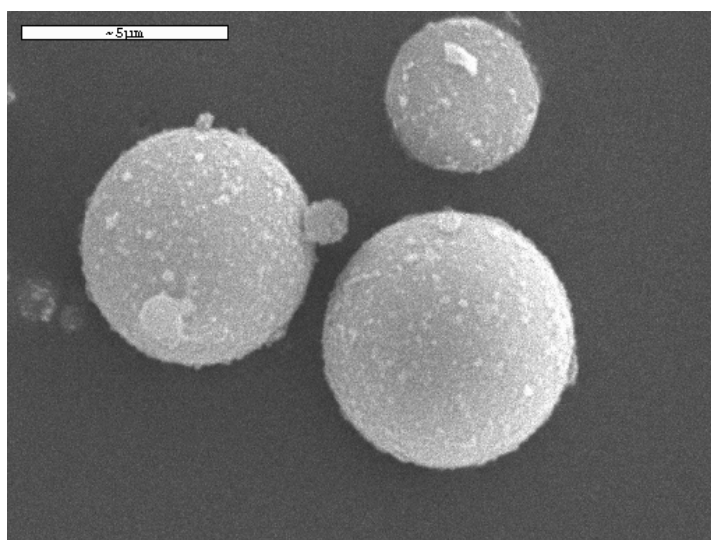


## ג. הרכב כימי של אפרי פחם שונים



ד. מבט מיקרוסקופי של מלאנים

אפר פחם



אבן גיר



## 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' 27-202 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 דולומיט.
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 גיר דולומיט 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 מלאן הדולומיט 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.

אינג' נתן לבנת  
רחוב דינור 7  
הרצליה - 46351  
טל. 09-9505041  
נייד: 050-308392  
פקס. 09-9506828

## א. נייר עבודה מס' 1

04/07/01

לכבוד

חברת החשמל לישראל בע"מ

היחידה לייזום עסקי - לידי ד"ר משה קרן

ת.ד. 8810

חיפה 31086

א.נ.,

הנדון: שרותי ייעוץ לבדיקת האפרשות לשימוש באפר פחם

מרחף בתערובות אספלט

סימוכין: הארכת הסכם מספר 245 מ-19/11/2000

1. בהמשך לדו"ח הטכני מה-28/2/01 בוצעו במכון התקנים בבאר שבע, 3 מערכות בדיקות מרשל נוספות. תערובות מס' 1, מס' 2 ומס' 3 הן התערובות שנבדקו כעת (דו"ח בדיקת מכון התקנים מס' בש/8111505632), ותערובות מס' 10 ומס' 11 הן התערובות שנבדקו לפני כן (דו"ח בדיקת מכון התקנים מס' בש/8111501342).

להלן הרכבי תערובות האספלט הנ"ל מבחינת כמות אפר הפחם, כמות המלאן המינרלי וסוג הביטומן

סוג הביטומן	כמות אפר פחם	כמות מלאן מינרלי	
תערובת מס' 10	-	8.5%	AC-40 בתוספת סיבים מייצבים
תערובת מס' 11	8.5%	-	AC-40 בתוספת סיבים מייצבים
תערובת מס' 1	5%	3.5%	AC-40 בתוספת סיבים מייצבים
תערובת מס' 2	5%	3.5%	ביטומן משופר מסוג PMP
תערובת מס' 3	8.5%	-	ביטומן משופר מסוג PMP

מאחר ובתערובות האספלט "המתקדמות" (מינוח מפרטי מע"צ) הביטומן המשופר תופס מקום חשוב ביותר, השתמשנו ב-2 מתוך 3 בדיקות המרשל האחרונות, בביטומן זה.

2. קו הדרוג של שתי תערובות האספלט מסוג SMA (בבדיקה הנוכחית ובבדיקה הקודמת) הוא כדלקמן:

נפח מס'	3/8"	5/16"	3/16"	10#	200#
% עובר	100	93	25	20	8.5

3. מקור האגרגטים בשני הניסויים הנ"ל היה:

אגרגט גס: בזלת תוצרת מחצבת פוריה שניטל ממפעל האספלט "שפיר" שבעמק האלה.

חול מחצבה: גיר דולומיטי תוצרת חברת כחל שניטל ממפעל האספלט פטיש.

אפר פחם: ניטל מהמיצבור של חברת החשמל באשקלון. תכולת הרטיבות של אפר הפחם: 23.8%.

4. שעור התנקזות "שלנברג"

להלן תוצאות בדיקות שעור ההתנקזות "שלנברג" שכזכור דרישת מפרט מע"צ היא מכסימום 0.3%.

תכולת ביטומן	תערובת מס' 10	תערובת מס' 11	תערובת מס' 1	תערובת מס' 2	תערובת מס' 3
	8.5% מלאן מינרלי	8.5% אפר פחם	5.0% אפר פחם 3.5% מלאן מינרלי	5.0% אפר פחם 3.5% מלאן מינרלי	8.5% אפר פחם
	AC-40	AC-40	AC BMP 40	PMP	PMP
5.7%	0.15%	0.14%	0.07%	0.04%	0.03%
6.0%	0.29%	0.21%	0.05%	0.07%	0.03%
6.3%	0.29%	0.18%	0.09%	0.05%	0.03%

5. התנגדות להחלקה (Skid Resistance)

להלן תוצאות בדיקות ההתנגדות להחלקה (Skid Resistance) אשר בוצעו במטוטלת בריטית (British Pendulum) לפי התקן האמריקאי ASTM-E-303.

תערובת מס' 10	תערובת מס' 11	תערובת מס' 1	תערובת מס' 2	תערובת מס' 3
PBN 70	BPN 83	BPN 77	BPN 88	BPN 81

## 6. מסקנות והמלצות

6.1 תוספת של כ-5% אפר פחם מרחף מקטין הבאופן משמעותי את שיעור ההתנגדות "שלנברג" של תערובת האספלט מסוג SMA. הקטנה זו של שיעור ההתנגדות "שלנברג" היא משמעותית במיוחד כשקשרן התערובת היא ביטומן משופר (Mod.Bitumen) ראה סעיף 4 דלעיל.

מאחר וכבר בעתיד הקרוב צפוי שימוש הולך וגדל בתערובות אספלט "מתקדמות" בכלל ובכאלה שבהן הקשרן הוא ביטומן משופר בפרט, הקטנת שיעור התנגדות הביטומן מהאגרנט היא חשובה ביותר.

6.2 תוספת של כ-5% אפר פחם מרחף מעלה באופן משמעותי את ההתנגדות להחלקה (Skid Resistance) של פני שכבת האספלט, בין אם הקשרן הוא ביטומן תקני מסוג AC-40 ובין אם הוא ביטומן משופר. ראה סעיף 5 דלעיל.

כזכור המידגמים נדקו ב"מטוטלת בריטית" (British Pendulum) לפי התקן האמריקאי ASTM-E-303, שהיא השיטה המקובלת במע"צ לבדיקת ההתנגדות להחלקה (Skid Resistance), של מיסעות אספלט.

6.3 הנני ממליץ לקיים פגישה עם איג"י שמעון נסיכי, ראש אגף בכיר לחומרים ומחקר של מע"צ ולהציג בפניו את תוצאות הבדיקות הנ"ל. באותה פגישה נציע בין היתר לבצע "בדיקת חריצה באמצעות גלגל נע" על תערובות אספלט מהסוגים שנבדקו על ידנו.

בדיקה זו מתבצעת במכון התקנים ירושלים ומשמשת היום את מע"צ להוכחת יכולתן של תערובות אספלט לעמוד בפני תופעת החריצה בצורה השוואתית, דהיינו תערובות קונבנציונלית מול תערובת המכילה אפר פחם מרחף.

בכבוד רב,

נתן לבנת



## אינג' נתן לבנת

רח' החשמונאים 11 הרצליה 46811 טל': 09-9505041 נייד: 050-308392 פקס: 09-9506828

### ב. נייר עבודה מס' 2

לכבוד

חברת החשמל לישראל בע"מ

היחידה לייזום עסקי

לידי ד"ר משה קרן

ת.ד. 8810

חיפה 31086

א.נ.,

הנדון: שרותי ייעוץ לבדיקת האפשרות לשימוש באפר פחם מרחף בתערובות אספלט

סימוכין: הזמנתכם מס' 146-2001 מיום 2.9.2001

בהמשך לדו"ח הטכני מה-4.7.01 (שיקרא להבא נייר עבודה מס' 1) הוחלט לתכנן 6 תערובות אספלט, לצורך בדיקת ההתנגדות להחלקה (במעבדה), כפונקציה של הרכב התערובות.

להלן תאור הרכב תערובות האספלט שנבדקו:

#### 1. תערובות אספלט מסוג S, שכבה נושאת עליונה 3/4"-, המוגדרת כתא"מ 19 במפרט הטכני של מע"צ

שם התערובות	סוג האגרגט #4+	סוג האגרגט #4-	סוג המלאן
A	גירי דולומיטי	גירי דולומיטי	אפר פחם
*B	גירי דולומיטי	גירי דולומיטי	גירי דולומיטי
C	בזלת	גירי דולומיטי	גירי דולומיטי

#### 2. תערובות אספלט מסוג SMA, שכבה נושאת עליונה 3/4"-, המוגדרת כתאמ"א 9.5 במפרט הטכני של מע"צ

שם התערובות	סוג האגרגט #4+	סוג האגרגט #4-	סוג המלאן
D	גירי דולומיטי	גירי דולומיטי	אפר פחם
*E	גירי דולומיטי	גירי דולומיטי	גירי דולומיטי
F	בזלת	גירי דולומיטי	גירי דולומיטי

\* תערובות B ו-E הוכנו לצורכי השוואה/התייחסות (Reference).

3. קוי הדרוג במערכת המרשל של תערובות האספלט הנ"ל היו כדלקמן (ראה דו"ח מכון התקנים סניף באר שבע מס' בש/8111515713):

0.075	0.18	0.425	2.00	4.75	8.00	9.50	12.50	19.00	גודל נפה (מ"מ)
7	10	13	23	37		70	86	100	תא"מ 19 (אחוז עובר)
8.5			20	25	93	100			תאמ"א 9.5 (אחוז עובר)

4. המדגמים הוכנו במכון התקנים, סניף ירושלים, במתקן ההידוק של תערובות אספלט המשמש לבדיקת ה"גלגל הנע".

5. ההתנגדות להחלקה (Skid Resistance) של 6 תערובות האספלט הנ"ל נבדקה במעבדה המרכזית של מע"צ תוך שימוש במטוטלת בריטית (British Pendulum) - לפי התקן האמריקאי ASTM-E-303. יתרונו של מכשיר זה הוא ביכולתו לבצע בדיקות בקנה מידה מעבדתי ובהיותו כלי תחליפי להגדרת רמת החיספוס של המיקרוטקסטורה (Microtexture).

חסרונו של המכשיר הוא במתן תוצאה בנקודה נתונה. שינוי במיקום הנקודה במספר מילימטרים, יכול לשנות את התוצאה באופן משמעותי.

6. להלן תוצאות בדיקת ההתנגדות להחלקה של 6 תערובות האספלט שהוזכרו לעיל.

**תוצאות בדיקות ההתנגדות להחלקה של התערובות מסוג תא"מ 19**

תאריך הבדיקה	צד המדגם	תערובת A	תערובת B	תערובת C
16.12.01	A	82 BPN	77 BPN	73.5 BPN
24.12.01	A	52 BPN	59 BPN	61.4 BPN
24.12.01	B	84.5 BPN	78 BPN	82 BPN
16.1.02	A	58 BPN	58 BPN	58 BPN
16.1.02	B	58 BPN	52 BPN	53.5 BPN



**תוצאות בדיקות ההתנגדות להחלקה של התערובות מסוג תאמ"א 9.5**

תאריך הבדיקה	צד המדגם	תערובת D	תערובת E*	תערובת F
16.12.01	A	79 BPN	81 BPN	74 BPN
24.12.01	A	51 BPN	54 BPN	60.5 BPN
24.12.01	B	79.5 BPN	73 BPN	80 BPN
16.1.02	A	50 BPN	52 BPN	53 BPN
16.1.02	B	53 BPN	48 BPN	51.5 BPN

**7. מסקנות והמלצות**

7.1 בהקשר של ערכי התנגדות להחלקה מתייחסים בדרך כלל לשתי רמות של המירקם האספלט:

- מירקם מיקרוסקופי - החיספוס הנמדד של פני האגרגטים הבודדים המרכיבים את פני המיסעה. הכוונה במקרה זה הינה לחיספוס ברמה של מקרונים בודדים עד למאות מיקרונים. ערכי החיכוך המתקבלים ברמה המיקרוסקופית הינם בדרך כלל פונקציה של סוג האגרגטים המרכיב את שכבת האספלט העליונה, ההרכב המינרולוגי שלהם, מידת הליטוש שלהם ועוד.

- מירקם מאקרוסקופי - החיספוס הנמדד בקנה מידה גדול יותר והמתייחס להרכב התערובת האספלטית מבחינת גודל ודרוג אגרגטים וכן לזוויתות האגרגטים. רמת ההתייחסות והמדידה במקרה זה נעה בין חלקי מילימטרים למספר מילימטרים.

המירקום המיקרוסקופי של פני המיסעה הינו התורם העיקרי להתנגדות המיסעה להחלקה ברטוב במהירויות נמוכות. המירקם המאקרוסקופי לעומת זאת תורם לערכי ההתנגדות להחלקה, כאשר מהירות ההחלקה של הצמיג על פני המיסעה גבוהה יותר.

הנחתנו הבסיסית היא שהחלפת המלאן הגיר-דולומיטי באפר פחם מרחף, משנה את המירקם המיקרוסקופי של פני המיסעה בכיוון של העלאת ערך ההתנגדות להחלקה.

7.2 התערובת מסוג A המתוארת בסעיף 6 דלעיל והמורכבת מאגרנט גירי-דולומיטי (+4# וגם -4#) ומלאן מאפר פחם - שווה לפחות - ולעתים אף טובה יותר, מבחינת ערכי ההתנגדות להחלקה, מהתערובת מסוג C (הסטנדרטית של מ.ע.צ) העשויה אגרנט בזלת (+4#) אגרנט גירי-דולומיטי (-4#) ומלאן גירי דולומיטי.

כנ"ל התערובת מסוג D (תאמ"א 9.5) לעומת התערובת מסוג F.

במילים אחרות ניתן יהיה לבדוק את האפשרות של ייצור תערובות אספלט מסוג תא"מ 19 ותאמ"א 9.5 ע"י שימוש באגרנטים גיריים דולומיטיים מסוימים ואפר פחם - ללא שימוש באגרנט בזלת.

7.3 הח"מ ממליץ לפנות לאיג"י שמעון נסיכי, מנהל בכיר לאגף לחומרים ומחקר של מע"צ, במטרה שיאפשר לסלול קטע נסיוני בו ישולבו התערובות שהוזכרו בנייר עבודה זה וגם אלו שהוזכרו בנייר עבודה מס' 1.

אשמח אם תשתף גם אותי בפגישה זו.

בכבוד רב,

נתן לבנת



משרד התחבורה  
מחלקת עבודות ציבוריות  
משרד ראשי  
אגף לחומרים ומחקר

י"ב ניסן, תשס"ב  
25 מרץ 2002  
סימוכין: s4842  
תיק: 161

ד. מסמך מע"צ מס' s4842

**סיכום דיון בנושא:**

**שימוש במלאן אפר פחם מרחף לשיפור מקדם החיכוך של תערובות אספלטיות**

1. הדיון נערך באגף לחומרים ומחקר ב- 18.3.02.

2. בדיון השתתפו:

מטעם חברת חשמל- ד"ר משה קרן  
יועץ חברת חשמל- אינג' נתן ליבנת  
מטעם מע"צ- אינג' שמעון נסיכו- מנהל האגף לחומרים ומחקר

3. רקע

א. חב' חשמל מעוניינת לקדם את השימוש במלאן אפר פחם מרחף בתערובות אספלטיות מתקדמות (בעיקר מסוג S ו-SMA) כתחליף למלאן הרגיל העשוי גיר דולומיטי.

ב. במחקר הכנה שבצעה חב' חשמל הוכנו במת"י ירושלים מדגמים בצורת רבע מעגל במכשיר הידוק מיוחד. מדגמים אלו כללו מספר ואריאציות של תערובות SMA, S ואספלט שקט עם מלאן אפר פחם ומלאן דולומיטי רגיל. מדגמים אלו נבדקו לתכונות החיכוך שלהם במטוטלת בריטית בתקופת חשיפה טבעית לאוויר וגשם של כחודש ימים. דו"ח בנושא מצורף כנספח למסמך זה.

ג. עמדת חב' חשמל הינה עפ"י הניתוח שבדו"ח, נראה לכאורה שהשימוש במלאן אפר פחם תורם לשיפור מקדם החיכוך בתערובות האספלטיות השונות. לפיכך יש מקום לגשת לביצוע קטע ניסוי מלא שבו יבחן הנושא בתנאי שטח אמיתיים.

ד. נציג מע"צ הסביר בישיבה את הסתייגויותיו ממסקנה זו על בסיס המחקר המוגבל שנערך. יחד עם זאת אין לאגף לחומרים ומחקר התנגדות לגשת לביצוע קטע ניסויני תוך שימוש במלאן אפר פחם שבו תבחן, הלכה למעשה, בתנאי אמת, ההשערה שהשימוש במלאן אפר פחם מרחף תורם לשיפור מקדם החיכוך בתערובות אספלטיות.

4. החלטות

בדיון התקבלו ההחלטות הבאות:

א. האגף לחומרים ומחקר איננו מתנגד לביצוע סלילה ניסיונית של קטע ניסוי של תערובת אספלטית תוך שימוש במלאן אפר פחם מרחף.

ב. לפי בקשת חב' חשמל מדובר בשלב ראשון בסלילה של תערובת S רגילה (עם אגרגט בולתי) תוך החלפת מלאן הדולומיט הרגיל באפר פחם.

אם תוצאות הניסוי הזה תהיינה חיוביות, תבחן האפשרות בהמשך, לבצע ניסוי שבו יוחלף גם האגרנט הגס הבזלתי באגרנט דולומיטי בנוסף להחלפת המלאן.

ג. היקף הניסוי הרצוי כ- 500 מ"א נתיב עם התערובת הניסיונית מול היקף זהה (למחות) של תערובת בקרה רגילה.

ד. ביצוע הניסוי מחייב עבודה מסודרת בשלבים הבאים :

- כתיבת תוכנית ניסוי (כולל פירוט השערות יסוד ומתודולוגיות המחקר הניסויי).
- תכנון התערובת (ניסיונית ורגילה) - בתכנון התערובת תובא בחשבון השפעת הספיגות הגבוהה של הבזלת על תכולת הביטומן האופטימלית.
- כתיבת מפרט מיוחד לביצוע ייצור ופיזור התערובת ובמקביל מסמך הנחיות למפקח.
- ליווי ופיקוח על ייצור ויישום התערובת.
- סיכום הניסוי בדו"ח מסודר.

ה. חב' חשמל צריכה להתקשר עם גורם מקצועי שמקובל על האגף לחומרים ומחקר לביצוע העבודה שתוארה בסעיף הקודם.

ו. לאחר ביצוע הניסוי עפ"י המתכונת שתוארה בסעיף 3 לעיל, ייקח על עצמו האגף לחומרים ומחקר אחריות למעקב על הקטע ולהסקת מסקנות. עפ"י ההערכה הראשונית דרושה לפחות שנת מעקב אחת (קיץ וחורף) להסקת מסקנות ראשוניות.

ז. כל תהליך הניסוי צריך להתבצע בהסכמת הקבלן ומהנדס מחוז מע"צ שבתחומו יסלל הקטע הניסיוני, כחלק ממכרז סלילה רגיל.

ח. כעקרון, השאיפה היא שמחיר התערובת הניסיונית (בניסוי) יהא זהה למחירה של התערובת הרגילה (כלומר, העבודה לא תוגדר כ"סעיף חריגי").

ט. הניסוי יתוכנן ככל האפשר, כך שהמשתנה היחיד בו יהיה סוג המלאן.

י. חב' חשמל צריכה לתת תשובה לאגף לחומרים ומחקר האם היא אכן מעוניינת לבצע את הניסוי עפ"י הנאמר בסיכום זה.

רשם : שמעון נסיכי

לוט : דו"ח טכני שהוכן ע"י אינג' נתן לבנת (4 עמודים)

תפוצה : אינג' עמי לקס- מנכ"ל מע"צ

אינג' יוסי קופ- משנה למנכ"ל להנדסה ותכנון

אינג' לריסה ליאחובצקי- כאן

משתתפי הדיון

ה. מכתב חברת החשמל לישראל מס' 27-202

טל' 04-8548457, 415  
פקס 04-8548529  
E-mail: mkeren@iee.co.il



חברת החשמל  
לשכת המנהל הכללי

תאריך: 8 אפריל, 2002  
כיון ניסן, תשס"ב  
מספר: 27-2002

לכבוד  
איג' שמעון נסיכי  
מנהל האגף לחומרים ומחקר  
מע"צ

פקס מס' 03-6820746

שלום רב,

סיכום הדיון בנושא "שימוש במלאן אפר פחם מרחף לשיפור מקדם חיכוך של תערובות אספלטיות", שהופץ על ידך ביום 25.3.02, מקובל על חברת החשמל ובכוננתו לבצע את הניסוי עפ"י חלוקת העבודה עמכם כמפורט בסיכום הנ"ל.

אבקש את פנייתך כנדון למהנדס מחוז המרכז במע"צ שבתחומו ייסלל הקטע הניסיוני. כפי שהודענו לך בפגישה, הקבלן שיבצע את העבודה יהיה שפיר הנדסה בע"מ.

בברכה,

  
ד"ר משה קרן

העתק:  
מר גרשון פטרון  
איג' נתן לבנת

# 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 מהאגרגטים של מפעל עמק האלה השייך לחברת שפיר בע"מ. הבדיקה הייתה השוואתית בין תערובת "S" 1" רגילה לבין אותה תערובת כאשר הוחלף בה המלאן הדולומיטי 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.



**פרטי ההזמנה**

שם המזמין: חברת החשמל לישראל בע"מ (היחידה לייזום עסקי)

מעונו: ת.ד. 8810, חיפה 31086

תאריך ההזמנה: 07.10.02

הדוגמה נבחרה על ידי בא כח: מתי

נתקבלה במכון בתאריך: 06.10.02-29.09

**דין וחשבון על בדיקה של**

2 תערובות אספלטיות "1 ממפעל 'עמק האלה' (חב' שפיר בע"מ):  
תערובת רגילה ותערובת עם תוספת אפר פחם

**מהות הבדיקה**

קביעת התנגדות תערובות אספלטיות נגד העמסה דינמית מחזורית

תעודה זו מכילה 17 דפים  
ואין להשתמש בה אלא במלואה

תוצאות הבדיקות מובאות בדף מספר 2 - 17

ד"ר דוד שטקלברג  
ראש ענף קרקע ודרכים

אלקס סלוצקי  
מהנדס-בודק

ירושלים, 21.11.02  
ח-1853310

רח' יד חרוצים 7, אזור התעשייה תלמית, ת"ד 10258 ירושלים, טל' 6732485, 02-6734367 פקס' 02-6724810  
בדיקות בטון: טל' 6714951, 02-6734357  
www.sii.org.il

### בדיקת חריצה באמצעות גלגל נע

#### תוכן העניינים:

1. מבוא .....	3
2. מתקן גלגל נע .....	4
3. מדגמי ניסוי והכנתם .....	8
4. מהלך הניסוי תערובות אספלטיות באמצעות שימוש בגלגל נע .....	13
5. ניתוח התוצאות .....	16
6. מסקנות .....	17



## 1. מבוא

בדו"ח הנוכחי מוצגות תוצאות העבודה שבוצעה בהתאם להזמנת חברת החשמל לישראל בע"מ מס' 2002-152 מתאריך 07.10.02 "ביצוע בדיקות השוואתיות באמצעות מתקן גלגל נע עם ובלי אפר פחם". העבודה בוצעה על בסיס תערובת אספלט במפעל "עמק האלה" (חברת שפיר בע"מ).

יש לציין כי מתקן הגלגל הנע, ציוד ניסוי ייחודי, הינו מודיפיקציה (משופרת בהרבה) של ציוד בו משתמשים בהתאם לסטנדרט:

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".

העבודה בוצעה במעבדת האספלטים של מכון התקנים הישראלי, סניף ירושלים, על יד המהנדס אלכס סלוצקי והטכנאי ולדימיר חייט.

### 1.1 מטרת העבודה:

קביעת ההשפעה של תוספת אפר פחם כתחליף למלאן בתערובות אספלטיות על שינוי והתהוות החריצה בפעולת גלגל נע.

## 2. מתקן גלגל-נע

2.1 לצורך ניסוי התנהגות שכבות אספלט בכבישים תחת עומסי רכבים נעים, במכון התקנים הישראלי (ירושלים) נבנה מתקן מיוחד (ציור מס' 1). המתקן הינו "מסלול ריצה" (1) טבעתי סגור על גבי מדגם האספלט הנבדק. במסלול זה נעים גלגולים נעולים בגומי (2) בקוטר 200 מ"מ וברוחב 54 מ"מ כשהמרחק הצירי ביניהם 550 מ"מ, במהירות קבועה בת 3.8 קמ"ש. בנוסף מצויד המתקן במכשיר למדידת שיעור חריצת האספלט ולו חיישן (3). הודות למשקולות (4) הנתונות להחלפה אפשר לשנות את העומסים על החומר הנבדק בתחום של 4.0-9.0 ק"ג/סמ"ר. המתקן כולו נתון בתוך תנור המצויד בתרמוסטט (5), המאפשר לערוך את הניסויים במשרע שבין טמפרטורת החדר ועד  $60 + C$ .

2.2 יצוין כי במהלך ביצוע הפרוייקט הנוכחי נעשה לראשונה שימוש במתקן בעל 4 (!) גלגלי הינע (ציור מס' 2): בעבודות דומות שבוצעו בעבר (ראה דו"חות מס': 27111415111 ו- 8011417221) נעשה שימוש במתקן בעל 2 גלגלים בלבד.

2.3 החיישן (ציור מס' 3) מורכב מגשר מתכתי גמיש (1) בקצהו גלגל מגע קטן (2) הנע מאחרי גלגלי העמסה (3) ובמסלולם. על גבי הגשר הנ"ל (1) מודבק טנזומטר (Strain) (4) וממנו משוך קו חשמל למערכת אוטומטית-"SYSTEM 500"- למדידת עומק החריצה (המערכת מתוצרת: MEASUREMENTS GROUP VISHAY Ltd מערכת זו מאפשרת לבצע מדידה רצופה, לרישום כל הנתונים, תוך כדי עבודת המתקן, ועיבודם הממוחשב במלואם.



### ציור 1 מתקן ה"גלגל הנע" (מראה כללי)

1- מדגם (סביבת) בדיקה, 2- גלגלים נעים, 3- חיישן למדידת  
החריצה, 4- משקולת העמסה, 5- תנור מבודד, 6- מערכת הרסה.



ציר 2: מערכת בחינת תערובות אטפליטיות במתקן "הגלגל הניע" עם ארבעה גלגלים, ומדידת עומק החריצה במתקן.

1- גלגלים נעים, 2- משקולות העמסה, 3- חיישן למדידת החריצה, 4- STRAINGAGE





ציור מספר 3: חיישן מדידת החריצה (בהגדלה)

1- פלטה אלסטית, 2- גלגל חנע, 3- strainage 4- גלגל נע.

### 3. מדגמי הניסוי והכנתם

בתקופת ספטמבר- אוקטובר 2002 בהתאם לתוכנית עבודה המפורטת בהזמנת חברת החשמל לישראל בע"מ, במפעל אספלט "עמק האלה" (חבי' שפיר בע"מ) הוכנו 2 מדגמים עגולים של תערובת אספלטית "S-1" על בסיס בטומן AC-40, כאשר כל אחד ממדגמים אלו הורכב מארבעה רכיבים ("פלחים") (ראה ציור 5,6).

ההבדל בין שני המדגמים שנבדקו בעבודה זו בא לידי ביטוי בשוני הבא:

- מדגם מס' 1 הוכן מתערובת אספלטית "S-1" רגילה.
- מדגם מס' 2 הוכן מתערובת אספלטית "S-1" כאשר בה במקום המלאן (חומר דק) היה בשימוש באפר- פחם (חומר שיורי מתחנת כוח של חברת החשמל).
- פרטים טכניים מפורטים על התערובות הנבדקות ראה פירוט בטבלה מס' 1. התכונות נתקבלו בהסתמכות על בדיקות עצמאיות של מפעל "עמק האלה" מתאריך 07.07.02

#### טבלה מס' 1

קו דירוג ותכונות של תערובת אספלטית "S-1" ללא ועם תוספת אפר פחם

צפיפות		תכולת ביטומן (%)	עובר דרך נפה מס' (%):									
תיאורטית (ק"ג/מ"ק)	ממשית (ק"ג/מ"ק)		200#	80#	40#	20#	10#	4#	3/8"	1/2"	3/4"	1"
ללא אפר פחם		4.2	6.0	8	11	14	24	34	74	87	94	100
2482	2324											
עם אפר פחם												
2453	2301											

מדגמי הניסוי הוכנו בשיטה שפותחה ע"י מת"י (ירושלים). לבחינות שימשו 4 "פלחי מדגמים" אשר הרכיבו מדגם הניסוי העגול והשלם במתקן "הגלגל הנע". כל "פלח" הוכן כיחידה נפרדת תוך שימוש באגרטים המדורגים על פי הדרישות המפורטות במפרט הטכני.

טמפרטורת הערבוב של התערובות היו:  $175 \pm 155^{\circ}\text{C}$ . כל המדגמים הודקו בטמפרטורת  $145 \pm 5^{\circ}\text{C}$  על פי דרישות מפרט מע"צ לבטומנים מסוג AC-40 (פרק 34).



1  
2  
3  
4

ציר 4: מתקן הידוק מדגמי תערוכת אספלט ('פלחית') לבדיקה.

1- פטיש קונגו ("cang") 2- מחזיק הפטיש, 3- ראש הידוק, 4- תבנית





ציור 5 : מדגם אספלט ("פלחים" בתבניות הידוק), לפני בדיקה



2

ציור 6: מדגם אספלט מורכב במתקן ה- "גלגל הנע" לפני בדיקה

- 1- "פלחי" אספלט מורכבים במתקן ה- "הגלגל הנע", לפני התחלת הניסוי
- 2 – חיישן למדידת עומק החריצה.



מערכת הידוק מדגמי הניסוי מוצגת בציור 4 התערובת המחוממת במשך 8 דקות מהודקת בתבניות מיוחדות (4), באמצעות "בטיש" הידוק חשמלי ("Cango") (1) במשקל 31.6 ק"ג, מצויד במשטח הידוק (3) במשקל 19.8 ק"ג. בטיש ההידוק ("Cango") (1) מחובר באופן קשיח ע"י מוט (2) לתבנית (4). יש לציין שבכל פעם מהודקת כמות מסויימת (עפ"י משקל) של תערובת אספלטית בהתאם לעובי השכבה הנדרשת.

בציור 5 ניתן להבחין בפלחי המדגמים המהודקים לבחינה. מדגמים אלה מרכיבים במדגם הניסוי, העגול והשלם (ראה ציור 6) נבדקו במקביל להכנת מדגמי הניסוי בדקו בתכונות של תערובות שהוכנו במתקן "הגלגל הנע", גם בשיטת מרשל. תכונות אלה מפורטות בטבלה מס' 3.

יש לציין שבכל פעם מהודקת כמות מסויימת (על פי משקל) של תערובת אספלטית בהתאם לעובי השכבה הנדרשת על מנת לקבל ערך צפיפות ממשית של "פלחי" הבדיקה הכי קרוב לצפיפות שנתקבלה בשיטת "מרשל".

בציור מס' 5 ניתן לראות "פלחי" המדגמים המהודקים לבחינת מדגמים אלה מרכיבים במדגם הניסוי העגול והשלם (ציור מס' 6)

במקביל להכנת מדגמי הניסוי בודקו בתכונות של התערובת גם בשיטה קונבנציונלית- שיטת "מרשל" תכונות אלה מפורטות בטבלה מס' 3.

**טבלה מס' 3**

**תכונות של תערובות אספלטייות הנבדקות**

תוצאות בדיקות		תוצאות בדיקות מרשל שבוצעו במפעל "עמק האלה"																	
מרגמי בחילה		צפיפות ממשית (ק"ג/מ"ק)	VMA (%)	אחוז חלל (%)	צפיפות תיאורטית (ק"ג/מ"ק)	צפיפות ממשית (ק"ג/מ"ק)	עובר ב- % דרך נפה מס'										תכולת ביטומן (%)	תערובת	
שיעור הידוק (%)							200#	80#	40#	20#	10#	4#	3/8"	1/2"	3/4"	1"			
96.4		2270	16.0	5.8	2501	2355	6.6	9	11	15	24	39	69	83	93	100	4.4	S-1" (רגילה)	
97.0		2233	16.8	6.2	2453	2301	6.8	8	9	13	21	32	69	83	92	100	4.1	S-1" (עם תוספת אפר-פחם)	

#### 4. מהלך בחינת תערובות אספלטיות באמצעות שימוש בגלגל נע

4.1 ביצוע בחינת התערובות האספלטיות נבדקו בתנאים שווים:

- טמפרטורה זהה של  $45^{\circ}\text{C}$ ;

- לחץ על פני השטח מדגמי האספלט הנבדק - 4.5 ק"ג לסמ"ר.

מדידות עומק חריצה בוצעו באמצעות המערכת "SISTEM-5000". המערכת מאפשרת מדידות למדוד ולרשום את הנתונים הנבדקים, באופן רצוף ולאחר עיבוד ממוחשב, להציג אותם בצורה גרפית.

תהליך ביצוע בדיקה בשיטת ה"גלגל נע" הינה מדידת העומק החריצה (4) כתלות במספר מעברי הגלגלים הנעים (N). ניתוח עקומה המתקבלת במהלך הניסוי  $h=f(N)$  מאפשר להגדיר באופן חד-משמעי 3 שלבי התהוות בחריצה (ראה ציור 7):

- שלב הידוק נוסף.

- שלב התפתחות ליניארית של החריצה.

- שלב התפרקות.

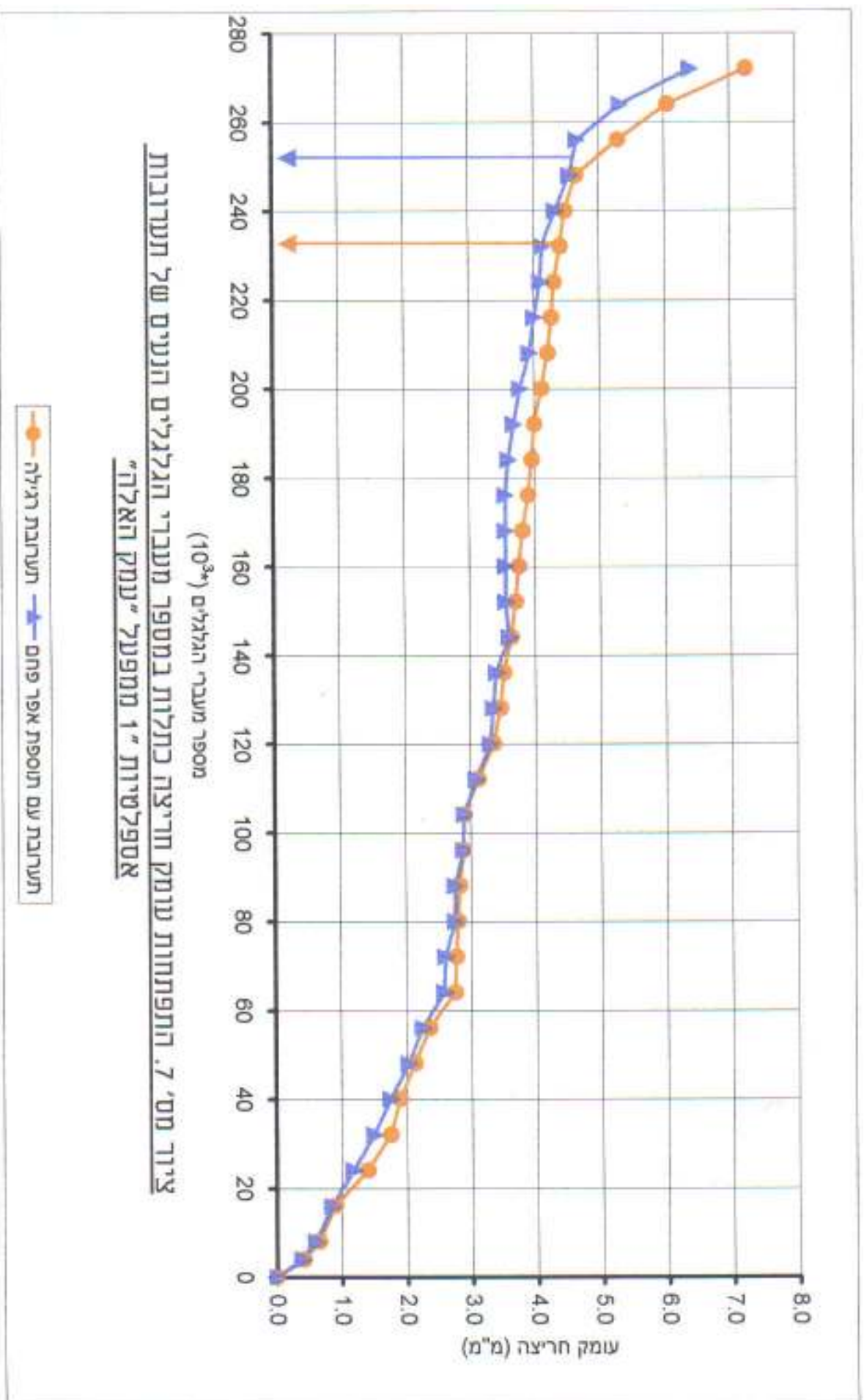
המעבר משלב חריצה לשלב התפרקות מוגדר ע"י "נקודת השבירה".

תוצאות מדידת החריצה מובאות בטבלה מס' 2 וציור מס' 7.

בתום סיום מבחן הגלגל הנע הוצאו הרכיבים מתוך התבנית, ובוצעו בדיקות השוואתיות של האספלטים הנבדקים בהתאם לשיטה שפותחה בסניף מת"י ירושלים.

**תוצאות בדיקות חריצה של תערובות אספלטיות שונות**

עומק חריצה (מ"מ)		מספר מעברי הגלגלים הנעים (*10 <sup>0</sup> )
תערובת 1"		
עם אפר פחם	רגילה	
0.00	0.00	0
0.39	0.41	4
0.60	0.65	8
0.85	0.90	16
1.18	1.40	24
1.50	1.75	32
1.75	1.90	40
2.03	2.13	48
2.25	2.35	56
2.58	2.75	64
2.60	2.77	72
2.75	2.80	80
2.75	2.83	88
2.88	2.88	96
2.90	2.90	104
3.08	3.12	112
3.30	3.36	120
3.35	3.46	128
3.40	3.52	136
3.60	3.63	144
3.55	3.70	152
3.55	3.75	160
3.55	3.81	168
3.55	3.90	176
3.60	3.96	184
3.68	4.00	192
3.78	4.11	200
3.93	4.21	208
4.00	4.27	216
4.10	4.31	224
4.13	4.40	232
4.33	4.48	240
4.55	4.65	248
4.98	5.29	256
5.33	6.05	264
6.40	7.25	272



5. ניתוח התוצאות :

מתוצאות שנתקבלו במהלך הבחינות, ניתן לראות ששימוש באפר פחם כתחליף למלאן בתערובת אספלטית "S 1 שנבדקת, תורם לשיפור מסויים בהתנגדותה כנגד פעילות הגלגלים הנעים.

במיוחד, בנקודת ההתפרקות שהתערובות: תערובת "S 1 רגילה התקבלה ההתפרקות לאחר מספר של 232000 מעברי הגלגלים הנעים; לעומת תערובת מקבילה עם אפר פחם שהתפרקה ב- 256000 מעברי גלגל (הפרש מתקבל 9.4%).

עומק החריצה שנבדקו בנקודת ההתפרקות (232000 מעברים) הינן :

- לתערובת "S-1 רגילה - 4.40 מ"מ.

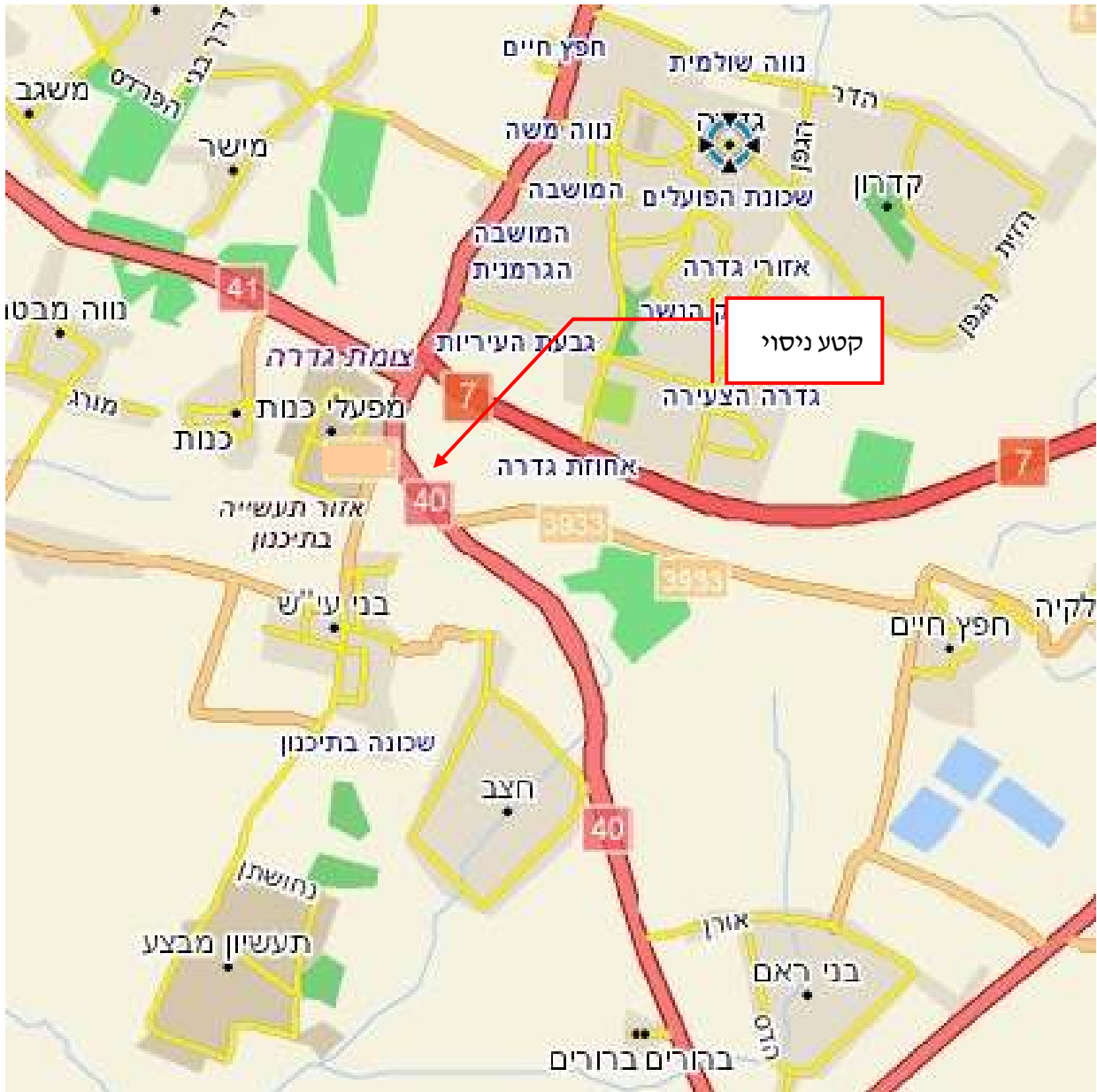
- לתערובת "S-1 עם תוספת אפר פחם - 4.13 מ"מ. (הפרש מקביל 6.1%).

6. מסקנה:

בבחינה השוואתית שבוצעה באמצעות מתקן "גלגל נע" ניתן להסיק כי שימוש באפר פחם כתחליף למלאן בתערובת אספלטית "S-1 גורם לשיפור בהתנהגות התערובת כנגד הפעלת 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 האגרגטים 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. האגרגט הגס בתערובת ששימשה בניסוי היה אגרגט 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".

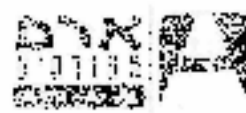
### סיכום ומסקנות

1. תהליך הייצור של התערובת בעלת מלאן מאפר פחם היה פשוט יחסית והתערובת שנוסתה נראתה כעבירה 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.

**בחינת השימוש באפר פחם מרחף כמלאן**  
**בתערובות אספלטיות לסלילת כבישים –**  
**דו"ח ניסוי**

נכתב על ידי:  
ד"ר רפאל ירון  
אינג' משה משולם

נובמבר 2002



# בחינת השימוש באפר פחם מרחף כמלאן בתערובות אספלטיות לסלילת כבישים -

## דו"ח ניסוי

### תוכן עניינים

3	1	רקע כללי
4	2	תיאור תהליך הניסוי
4	2.1	התערובות האספלטיות
4	2.2	תכנון התערובות
7	2.3	מיקום הניסוי והתערובות שבשימוש
8	2.4	תוכנית בדיקות בקרת איכות
9	2.5	הסדרי ייצור מיוחדים
9	3	תוצאות הניסוי ובדיקות הבקרה
9	3.1	פרטי תהליך העבודה
9	3.2	תוצאות מערכת בקרת האיכות התערובות האספלטיות
11	3.3	מידות חיכוך באמצעות גורסמטר
13	3.4	מידות חיכוך באמצעות מטוטלת בריטית
15	3.5	סיכום וניתוח תוצאות מדידות החיכוך
16	4	סיכום, מסקנות ביניים והמלצות להמשך פעולה

חברת החשמל משקיעה מזה שנים משאבים באיתור שימושים שונים לאפר הפחם המתקבל בתהליך הייצור בתחנות החשמל הפחמיות. המסמך הנוכחי נוגע לאחד מיישומים נסיוניים אלו ומתייחס לאפשרות היספת אפר פחם מרחף לתערובות אספלטיות המשמשות לצרכי סלילה.

מתוך מספר נסויים 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.

תוצאות מוקדמות אלו הביאו את חברת החשמל להערכה שיש מקום להשקיע בחקירה עמוקה יותר בנושא זה. הצלחת נושא זה תאפשר לחברת החשמל לאתר עוד יישום אפשרי של אפר הפחם ובעיקר עשויה לאפשר שיפור בבטיחות התנועה והקטנת הסיכון לתאונות החלקה מסוגים שונים.

בהמשך לפניית חברת החשמל, נאותה מע"צ לחשותף במהלך ניסוי שדה בנושא, כאשר חברת שפיר - הנדסה אזרחית וימית הסכימה לשתף פעולה בייצור ובסלילת התערובות הנדרשות לקטעי הניסוי.

מהות הניסוי מתבססת על החלפת מרבית כמות המלאן (חומר שגודלו קטן מ- 0.074 מ"מ) שבתערובת האגרגטים 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.

איננו נתן ליבנת ניהל את הפרויקט בעבור חברת החשמל, כאשר חברת ארם מהנדסים נבחרה ללוות מקצועית את מהלך הניסוי, החל מתהליך הייצור במפעל האספלט, הסלילה בשטח הנבחר והמעקב אחר ביצועי קטע הניסוי.

## 2 תיאור תחליף הניסוי

### 2.1 התערובות האספלטיות

הניסוי בוצע עם תערובת אספלטית מסוג S – 25 מ"מ. תערובת זו המכונה תערובת אספלט מבנית (תא"מ) מבוצעת על פי הנורש בפרק 34 במפרט הכללי של מע"צ ומהווה כיום את התערובת השכיחה ביותר בשימוש במע"צ.

האגרגט הגס בתערובת ששימשה בניסוי היה אגרגט דלומיטי. שני קטעי בקרה שבוצעו במהלך הניסוי כללו תערובת S 25 מ"מ רגילה שבה גם המלאן (אגרגטים שגודלם קטן מ- 0.074 מ"מ) הינו מסוג גירי-דלומיטי. קטע הניסוי עצמו בוצע באותה תערובת, כאשר המלאן שבתערובת האגרגטים הוחלף באפר פחם מרחף.

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".

### 2.2 תכנון התערובות

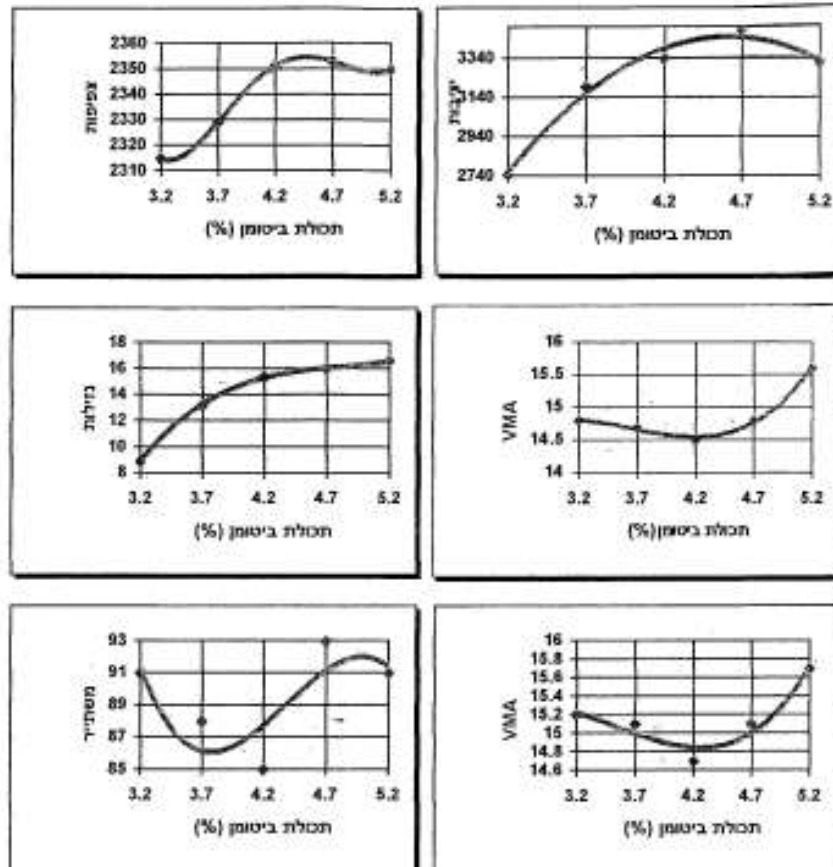
התערובת ששימשה לצורך ביצוע הניסוי הינה תערובת S 1 אינץ' רגילה, כאשר בקטע הניסוי הוחלף מרבית המלאן באפר פחם מרחף. טבלה מס' 2.1 מפרטת את דרגת התערובת המקורית. האגרגט הגס בתערובת הינו אגרגט דלומיטי ותכולת הביטומן האופטימלית היא 4.2%, כאשר הביטומן הינו מסוג AC-40.

סוג תערובת	נפה מס'	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#10	#20	#40	#80	#200	תכולת ביטומן אופטימלית (%)
תערובת S 1 אינץ'	% עובר	100	94	87	74	34	24	14	11	8	6	4.2

טבלה מס' 2.1: פרטי התערובת האספלטית בקטע הניסוי ובקטע הבקרה

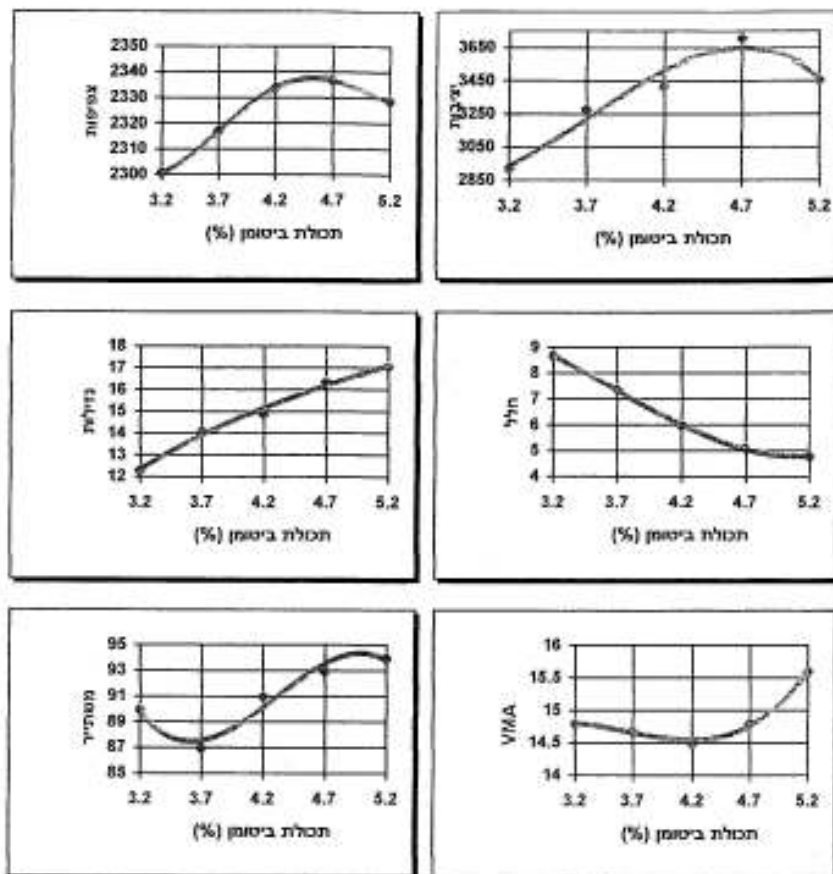
במקביל למערכת מרשל קיימת (ראה ציור מס' 2.1) שבוצעה בתערובת הרגילה, ביצע מופעל עמק האלה מערכת מרשל מקבילה בתערובת שבה הוחלף המלאן באפר פחם מרחף. כפי שגראה בציור מס' 2.2, תכולת הביטומן האופטימלית שהתקבלה וזה לזו שהתקבלה בתערובת הרגילה.

כמתוך עיון במערכות המרשל נראה שערכי היציבות במערכות שבוצעה עם אפר מחס גבוהה במקצת מזו שבתערובת הרגילה. לעומת זאת התקבלו ערכי צמיפות תערובת נמוכים יותר בתערובת אפר הפחם, ככל הנראה כתוצאה מהמשקל הסגולי הנמוך יותר של אפר הפחם המרחף ביחס למלאן הדלומיטי.



ציור מס' 2.1: מערכת מרשל, תערובת "S-1", אגרגט וחול מחצבה דולומיט-גיר שפיר, מלאן – דולומיט-גיר, ביטומן AC-40, 75 הקשות.





ציור מס' 2.2: מערכת מרשל, תערובת "S-1", אגרגט וחול מחצבה דולומיט-גיר שפיר, מלאן – אפר  
פחם מרחף, ביטומן AC-40, 75 הקשות.

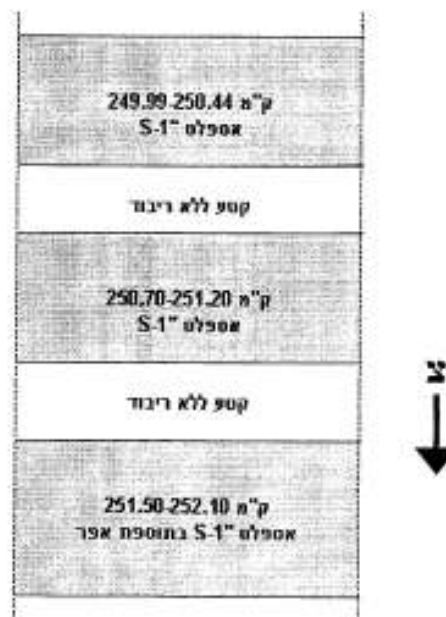
בשלב זה רצוי היה לבצע שינוי מסוים בנוסחת התערובת החדשה, שינוי שיכלול הקטנה מסוימת של האחוז המשקלי של עובר נפה 200, בגלל מגבלות של לחץ זמן, התלות במתקני הבדיקה של חברת שפיר וכן מתוך רצון להמנע ככל האפשר מהקטנת כמות האפר המשולבת בתערובת, לא בוצע השינוי ותהליך הניסוי נמשך על פי המתוכנן.

קווי הדירוג ותכולת הביטומן האופטימלית של התערובות שהשתתפו בניסוי נקבעו על כן מתוך מערכות המרשל שפורטו לעיל.

### 2.3 מיקום הניסוי והתערובות שבשימוש.

הקבלן המבצע היה שמיר הנדסה אזרחית וימית בע"מ, שנאות לשתף פעולה בתהליך הניסוי. חברת שמיר ביצעה את ייצור התערובות וכן את תהליך הסלילה בשטח. הכביש שבו בוצע הניסוי היה כביש מס' 40, שהינו אחד הכבישים העמוסים בארץ (כ- 60 אלף כלי רכב ליממה, נפח דומה לזה שכביש מס' 1 בקטע שבין מחלף לוד ועד מחלף לטרון). קטע הניסוי ושני קטעי הבקרה בוצעו באותו לילה בכביש מס' 40 בין צומת חצור לצומת ראם במסלול התנועה מצפון לדרום. מיקום קטעי הניסוי והבקרה (ראה ציור מס' 2.3) היה:

1. בין ק"מ 250.44 לק"מ 249.99 – תא"מ 1" (מלאן אפר פחם).
2. בין ק"מ 251.20 לק"מ 250.70 – תא"מ 1".
3. בין ק"מ 252.10 לק"מ 251.50 – תא"מ 1".



ציור מס' 2.3: תאור מתווה הניסוי בכביש מס' 40.

#### 2.4 תוכנית בדיקות בקרת איכות

בקרת האיכות של התערובת כללה בקרה רגילה עפ"י הנחיות פרק 34, ונעשתה ע"י מעבדן המפעל, מעבדן מבדקת סיסטם 9000 בע"מ ותחת פיקוח של חברת ט.נ.מ.

כמו כן, נדגמו ע"י מעבדני מו"י דוגמאות אספלט, לצורך ניסוי גלגל נע מעבדתי.

דוגמא אחת נדגמה בתאריך 29/9/02, בעת ייצור התערובת הרגילה. דוגמא שנייה נדגמה בתאריך 6/10/02 בעת ייצור תערובת אפר הפחם. 2 המדגמים הודקו במפעל שפיר, בהתייחס לצפיפות מרשל מעבדתי שנמסר למת"י מבעוד מועד.

טבלה מס' 2.2 מרכזים פרטי הבדיקות שנעשו במסגרת בקרת האיכות, כנדרש בעבור כל סוג תערובת.

הבדיקה	המבצע	מועד הבדיקה	ציוד הבדיקה	מיקום הבדיקה
צפיפות יציבות מרשל	מפעל	במהלך הייצור	מעבדת מפעל	מפעל שפיר
צפיפות תאורטית סכסימלית	מפעל	במהלך הייצור	לפי ASTM-D-2041	מפעל שפיר
מישוריות	ט.נ.מ	לאחר סיום הסלילה	סרגל 3.60 מ'	קטע ניסוי + קטעי בקרה
עובי, צפיפות	מל"צ באמצעות מעבדה	לאחר סיום הסלילה	ציוד קידוח + ציוד מעבדה	קטע ניסוי + קטעי בקרה
מקדם חיכוך	מל"צ/טכניון	לאחר סיום הסלילה	ROAR של חברת נורסטור	קטע ניסוי + קטעי בקרה
מקדם חיכוך	אדם מהנדסים	לאחר סיום הסלילה	מסוטלת בריטית	קטע ניסוי + קטעי בקרה

טבלה מס' 2.2: סוגי הבדיקות שבוצעו תוך כדי הייצור והסלילה ולאחר תהליך הסלילה של קטע הניסוי וקטעי הבקרה.

## 2.5 הסדרי ייצור מיוחדים

במסגרת ההכנה לניסוי קלט המפעל כמות נדרשת של אפר פחם. אפר הפחם הוטען לתא מיוחד המיועד לאחסון תוספים מסוגים שונים. מפעל עמק האלה של חברת שפיר הינו מפעל חדש הכולל יכולת גבוהה מאד של הזנת מרכיבים רבים (כדוגמת סיבי צלולוזה, סיד, צמנט או אפר פחם) לתערובת האספלטית, תוך שליטה מלאה ומבוקרת מחשב. המוספים השונים מאוחסנים לצורך כך בתאים יעודיים. לצורך הניסוי הותקנו כל ההסדרים הנדרשים להזנת אפר הפחם היבש ממשאיות שהובילו את החומר למפעל.

בתהליך הייצור הרגיל כולל מרכיב החול שנכנס לתערובת כמות מסוימת של מלאן שלא משאב במהלך תהליך החימום של האגרגטים. כדי להבטיח שאיבה מוגברת של המלאן הדולומיטי-מרי ערך המפעל ניסוי מוקדם כדי לוודא את יכולת השאיבה. תול המחצבה לאחר השאיבה נבדק (ניסוי דרך נפה #200) כך שכמות המלאן לאחר השאיבה הגיעה לערכים הקרובים לאפס (לא קיימים נתונים מדויקים בנושא זה).

כדי לבחון את אופי התערובת, טרם האספקה לאתר, יוצרה אצוות ייצור של תערובת ניסיון בכמות של כ- 8 טון. התערובת יוצרה ופוזרה ברחבת המפעל, ביום 3/10/02.

## 3 תוצאות הניסוי ובדיקות הבקרה

### 3.1 פריטי תהליך העבודה

קטעי הבקרה נסללו בלילות של ה- 29.9.02 וה- 1.10.02. קטע הניסוי בוצע כשבוע לאחר מכן, בלילה של ה- 6.10.02. הייצור נעשה במפעל עמק האלה של חברת שפיר. באופן כללי ניתן לציין שחתערובת שכללה את אפר הפחם "התנהגה" טוב הן במהלך הייצור והן במהלך הסלילה וההידוק. לא נראו שום בעיות בנושא עבירות התערובת או בנושאים אחרים ותהליך הסלילה בוצע באופן רגיל, בדומה לסלילה בתערובות רגילות.

### 3.2 תוצאות מערכת בקרת האיכות התערובות האספלטיות

כאמור בוצעו תהליכים רגילים של בקרת איכות בתערובות האספלטיות ששימשו לצורך סלילת קטע הניסוי וקטעי הבקרה. תהליכי הבקרה בוצעו הן במפעל, תוך תהליך הייצור והן לאחר מכן, עם תום הסלילה.

תוצאות בדיקות הבקרה, כמו שנעשו על ידי מבדקת סיסטם 9000 בע"מ, הועברו בצורה מרוכזת על ידי איגוד גרגורי וליקוביץ (מנהל בקרת האיכות של מפעל האספלט עמק האלה של שפיר) וכן ממשרדו של מר חיים אליאס, ממונה בקרת איכות, מע"צ מחוז ת"א והמרכז.

טבלה מס' 3.1 מרכזת את תוצאות הבדיקות של בקרת איכות התערובות. מתוך הטבלה נראה כי הן התערובות הרגילות והן התערובות עם אפר הפחם נתנו תוצאות טובות. כל התערובות עמדו בדרישות הדרוג (ראה ציור מס' 3.1) ושאר דרישות המפרט (פרק מס' 34 במפרט מע"צ), למעט חריגות לצפיפות מקסימלית של 2350 ק"ג למ"ק. הצפיפות המקסימלית בתערובות הרגילות היתה קרובה למינימום הנדרש, אולם לעיתים חדרה בעד 10 ק"ג למ"ק כלפי מטה. לעומת זאת הצפיפות המקסימלית שהתקבלה בתערובות עם אפר הפחם היתה בסביבות 2310 ק"ג למ"ק. חלק משמעותי מעובדה זו יכול להיות כתוצאה מהמשקל הסגולי הנמוך יותר של אפר הפחם ביחס למשקל הסגולי של מלאן דולומיטי גירי.

דרגות הצפיפות של התערובות, הן בקטע הניסוי והן בקטעי הבקרה, עמדו בדרישות המפרטים. יחד עם זאת ניתן לראות שבקטע הניסוי רמות ההידוק הגיעו ל- 98.6%, ביחס ל- 96.5% בקטעי הבקרה. הצפיפות הממוצעת בפועל בקטע הניסוי עלתה על הצפיפות בפועל בקטעי הבקרה, למרות שהצפיפות המקסימלית בתערובות הרגילות היתה גבוהה יותר מזו שבתערובות עם אפר הפחם.

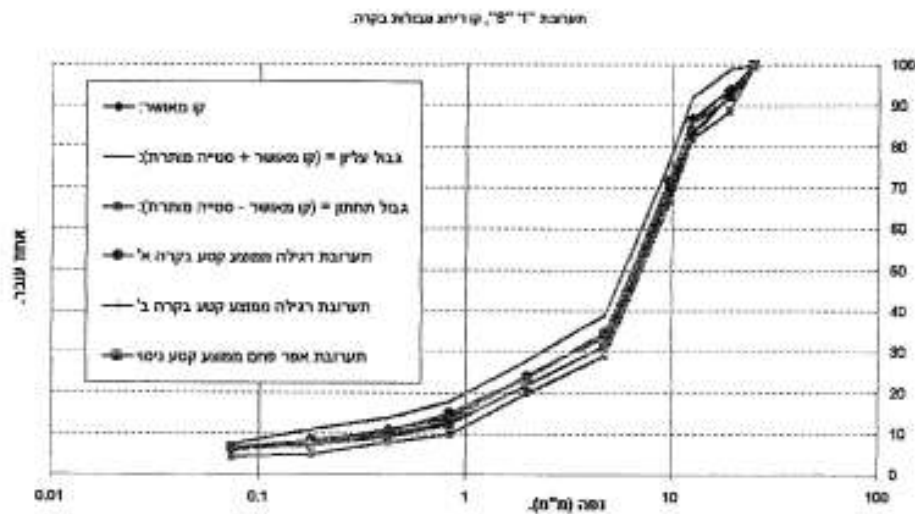
אחוז המלאן שהתקבל בתערובות אפר הפחם הגיע ל- 6.7% (ביחס ל- 6% על פי הדרוג הנדרש). ערכים אלו נמצאים במסגרת הסטיות המותרות. אחוז הביטומן שהתקבל היה נמוך במידת מה מתכולת הביטומן המתוכננת (4.1% ביחס ל- 4.2%), בעוד שבתערובות הרגילות התקבלו תכולות ביטומן גבוהות במידת מה מנוסחת התערובות (4.35% בממוצע).

דרגה כיוון (%)	צפיפות מקסימלית (ק"ג/מ"ק)	צפיפות ממוצעת (ק"ג/מ"ק)	צפיפות מקסימלית (ק"ג/מ"ק)	צפיפות ממוצעת (ק"ג/מ"ק)	VMA (%)	אחוז חול (%)	אחוז ביטומן (%)	דירוג											הערות
								100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	
100						7.5	4.5	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	הערות
								8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	הערות
95								8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	הערות
95.7	2264	2355	90	3406	16	5.8	4.4	6.6	8.5	10.6	15	24	39	69	83	93	100	1	הערות
								6.5	8.4	10.7	15	24	39	69	83	93	100	2	הערות
								6.6	8.5	10.7	15	24	35	71	83	93	100		הערות
95.4	2265	2357	88	3108	14.7	6.6	4.1	5.3	7.3	9.9	12	23	32	73	88	90	100	3	הערות
								6.7	8	10	14	26	35	73	88	94	100	4	הערות
								6.7	7.7	10.0	13	25	34	73	86	92	100		הערות
98.8	2278	2370	81	2756	15.4	6.2	4.1	6.8	7.5	8.3	13	21	32	69	83	92	100	5	הערות
								6.5	7.3	8.2	13	23	31	70	84	93	100	6	הערות
								6.7	7.4	9.3	13	22	32	70	84	93	100		הערות



### טבלה מס' 3.1: פרוט תוצאות בקרת איכות על תערובות אספלטיות במפעל ובאתר

בתערובות הרגילות התקבלו יציבויות גבוהות יותר מאשר בתערובת "אפר הפחם", אולם כל התערובות עמדו הרבה מעל לדרישה המינימלית של 2000 ליבראות.



ציור מס' 3.1: דרוג האגרסיבים בתערובות הרגילות ובתערובת אפר הפחם

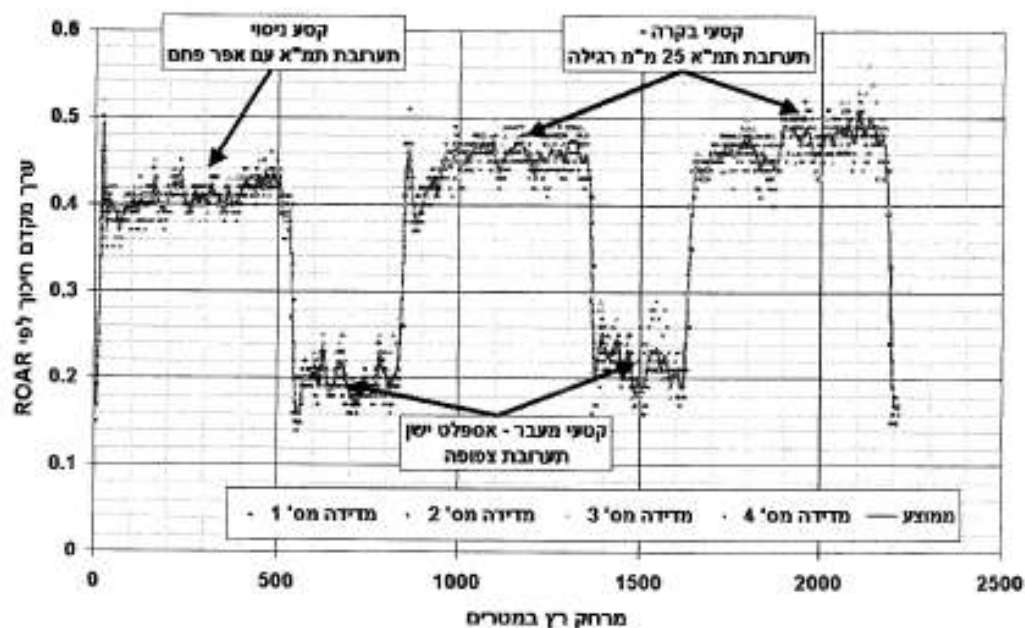
### 3.3 מדידות חיכוך באמצעות טורסומטר

מכשיר ה-ROAR השייך למוסד הטכניון למחקר ופיתוח ביצע, על פי הזמנת מע"צ, מדידות חיכוך בקטע הניסוי ובשני קטעי הבקרה. המדידות נעשו בתאריך 17.10.02, כעשרה ימים לאחר תום הסלילה של קטע הניסוי. מדידות החיכוך בוצעו על ידי 4 מעברים חוזרים של מכשיר המדידה קטע באורך כולל של כ-2.2 ק"מ. קטע זה כלל את קטע הניסוי, שני קטעי הבקרה וכן שני קטעי מעבר הסלולים בתערובת אספלטית צפופה רגילה. מדידות החיכוך בוצעו במהירות נסיעה של 75 קמ"ש ובאחוז החלקה קבוע של 86%.

ציור מס' 3.2 מתאר את פיזור התוצאות שהתקבלו במהלך הבדיקה. מתוך התוצאות ניתן לראות בברור את ההבדל הגדול בין רמות החיכוך הנמדדות בקטעי המעבר, הסלולים בתערובת אספלטית צפופה ישנה לבין רמות החיכוך המתקבלות בקטעים החדשים הסלולים בתערובת מסוג S (תערובת אספלט מיבנית - תמ"א). בעוד שבתערובת האספלטית הצפופה התקבלו ערכים



ממוצעים של כ-0.2, ערכים נמוכים מאד, הרי בקטעים הסלולים בתערוכות S, התקבלו ערכים הגבוהים מ-0.4. משמעות תוצאה זו הינה הכפלה ויותר של מקדם החיכוך.



ציור מס' 3.2: תאור תוצאות מדידות חיכוך באמצעות מכשיר ROAR בקטע הניסוי, בקטעי הבקרה ובקטעי מעבר בכביש 40

בהשוואת התוצאות המתקבלות בקטע הניסוי (אפר פחם) מול תוצאות קטעי הבקרה (מלאן דולומיטי גיר רגיל), התקבלו ערכי חיכוך נמוכים יותר בקטע האפר מאשר בקטעי הבקרה. טבלה מס' 3.2 כוללת ערכים ממוצעים של התנגדות להחלקה בכל אחד מהקטעים, כולל סטיות התקן ומקדמי השונות בכל קטע. סטיות התקן הנמוכות המתקבלות לאורך כל אחד מהקטעים מדגישות את המשמעות הסטטיסטית של ההבדל בין הערכים הממוצעים שהתקבלו. במבחן סטטיסטי שנעשה בין סדרות התוצאות, התקבל שהסיכוי שאין הבדל סטטיסטי בין האוכלוסיות שואף לאפס.

כביש 40			
מקדם שונות	סטיית תקן	ערך ממוצע	
3.63	0.015	0.41	קטע ניסוי - תערובת תא"מ - 1 אינץ' עם אפר פחם
7.32	0.015	0.20	קטע אספלט ישן
4.76	0.021	0.45	קטע בקיה - תערובת תא"מ - 1 אינץ' רגילה
8.36	0.018	0.22	קטע אספלט ישן
3.58	0.017	0.47	קטע בקיה - תערובת תא"מ - 1 אינץ' רגילה

טבלה מס' 3.2: תוצאות ממוצעות וסטיות תקן של ערכי חיכוך שהתקבלו במדידות בקטעי דרך שונים בכביש מס' 40.

#### 3.4 מדידות חיכוך באמצעות מטוטלת בריטית.

בנוסף למדידות החיכוך באמצעות מכשיר ה- ROAR בוצעו מדידות חיכוך בעזרת מכשיר המטוטלת הבריטית. מכשיר זה מודד בעיקר את ההתנגדות להחלקה של המיסעה ברמת המיקרוסקסטורה, ללא התייחסות לנושא עומק המיוקס. כיון שכך, מכשיר זה נותן תמונה טובה של התנגדות פני האגרגט להחלקה, ללא התייחסות ליכולת פני הכביש לנקו את המים מפני הממשק שבין הצמיג למיסעה.

מדידות החיכוך נעשו על ידי חברת ארם מהנדסים (על פי ASTM-E-303) בתאריך 31/10/02 בלילה, כאשר ריכוז תוצאות המדידות מופיע בטבלה מס' 3.3.

חלק	נתיב ימני				סוג תערובת
	מסלע צהוב - 50 ס"מ	מסלע צהוב - 80 ס"מ	מסלע נתיב	נתיב שמאלי	
דולומיט תא"מ 25 ת"ח	33	52	53	48	251.150
	44	44	44	42	251.000
	53	53	47	50	250.850
	43	50	40	47	תמוצת
דולומיט תא"מ 25 ת"ח עם אפר פחם	55	45	52	55	250.300
	51	47	51	52	250.200
	55	50	45	49	250.100
	54	47	49	52	תמוצת

טבלה מס' 3.3: ריכוז תוצאות מדידות חיכוך באמצעות מכשיר מטוטלת בריטית בקטע ניסיון ובקטעי הבקרה.

מתוך התוצאות נראה שערכי החיכוך שהתקבלו בתערובת עם אפר הפחם גבוהים במרבית המקרים מאלו המתקבלים בתערובת הרגילה. מעבר לאמור, נראה שיציבות התוצאות המתקבלות בתערובת עם האפר גבוהה יותר מזו שבקטעי הבקרה.

הסבר אפשרי לערכים הגבוהים יותר וכן ליציבות הגבוהה יותר של התוצאות הנמדדות בתערובת עם אפר הפחם יכול להיות נעוץ בהתנגדות להחלקה של הקרומים הביטומניים המצפים את האגרגטים. מתוך הספרות ידועה התופעה שבחקופה הראשונה של חיי המיסעה מתקבלים ערכי חיכוך נמוכים יותר. הסיבה לתופעה זו הינה קרומי הביטומן המצפים את האגרגטים בחלק העליון של המיסעה ומספקים רמות נמוכות יותר של חיכוך מאשר האגרגטים עצמם. לאחר מספר חודשים מתקלף קרום זה, האגרגטים הגסים מתגלים וערכי החיכוך משתפרים. במקרה הנוכחי מחזקות התוצאות את ההנחה הראשונית שתוספת האפר למסטיק האספלטי משפרת את ההתנגדות להחלקה של הקרום הביטומני.

חשוב לציין שערכי החיכוך שהתקבלו, הן בקטע הנסיון והן בקטע הבקרה נמוכים יחסית ומשקפים את התופעה של ערכי חיכוך נמוכים בתקופת החיים הראשונה של המיסעה. טבלה מס' 3.4 מפרטת את ערכי החיכוך הנדרשים כיום על ידי מע"צ במדידות חיכוך באמצעות מכשיר המטוטלת הבריטית. לפי המפורט בטבלה, ערכי החיכוך שהתקבלו בקטעי הניסוי בעבור כביש מסוג B הינם גבוליים. במקרה זה יש חשיבות גדולה יותר לתוספת התנגדות להחלקה, גם אם מדובר בתוספת של מספר יחידות חיכוך בלבד.

סימון סוג האתר	סוג הכביש / האתר	ערך רצוי לטיפול	ערך מצדיק טיפול
A	אחרים "בעייתיים":	55	50
	1. כביש בשיפוע אורכי מעל 5%		
	2. בקטעים שאורכם מעל 100 מטר		
B	3. עקומים ברדיוס קטן מ- 2000 מטר	50	45
	צמתים מרומוזים		
C	כבישים מהירים וראשיים	40	35
	כבישים אחרים		

טבלה מס' 3.4: ערכים קריטריוניים מקובלים במע"צ להתנגדות להחלקה של כבישים

### 3.5 סיכום וניתוח תוצאות מדידות החיכוך

בנושא החיכוך התקבלו אם כן 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 וניחה את מידת יכולתה של המיסעה לתפקד.

לעומת האמור, במדידות חיכוך במכשיר ה- ROAR של הטכניון התקבלו תוצאות חיכוך נמוכות יותר בקטע הניסוי מאשר בקטעי הבקרה. בשלב זה לא קיימים עדיין במע"צ קריטריונים נדרשים לערכי חיכוך במדידות ROAR ולכן לא ניתן להשוות את התוצאות ביחס לרמות קריטריוניות נדרשות.

מתברר אם כן מצב שבו לפי בדיקות המטוטלת יש עדיפות לקטע הניסוי, בעוד שעל פי בדיקות מכשיר ה- ROAR, המצב הפוך. ניתוח מצב זה דורש התעמקות בשיטת הבדיקה של שני המכשירים. מכשיר המטוטלת הבריטית בוחן את ההתנגדות להחלקה של המיסעה במהירות נמוכה יחסית. בדיקה בשיטה זו נותנת מידע לגבי ההתנגדות להחלקה של פני האגרגט (או שכבת הביטומן המצפה את האגרגט) המרכיב את פני המיסעה. לעומת זאת, מכשיר ה- ROAR בודק את ההתנגדות להחלקה במהירויות החלקה גבוהות מאוד, מהירויות המחקות את המתרחש בעת בלימת חרום. במצב זה יש חשיבות גדולה ליכולת ניקוז המים מפני המיסעה, הבאה לידי ביטוי בעומק המירקם של המיסעה. מתוך ניתוח לאחור של הנתונים והתוצאות יש להערכתנו אפשרות סבירה מאוד שעומק המירקם הגס המתקבל בתערובת הניסוי, נמוך יותר במידת מה מזה שבתערובות קטעי הבקרה.

הסיבה האפשרית לעומק המירקם הנמוך יותר יכולה להיות במשקל הסגולי הנמוך יותר של אפר הפחם. החלפת אחוז משקלי קבוע של מלאן דולומיטי במלאן אפר פחם גרמה לכך שמבחינה נפחית התקבלה כמות גבוהה יותר של מלאן בתערובת. מצב זה גורם ליצירת תערובת שאחוז החלל שבה נמוך במידת מה מזה שבתערובת הרגילה ומכאן לעומק מירקם נמוך יותר. הקטנת האחוז המשקלי של אפר הפחם המוחדר לתערובת עשויה היתה להביא לתוצאה נפחית דומה לזו שבתערובת הרגילה ולשפר את עומק המירקם של התערובת. במקרה זה היה מושגת גם עלייה בעובי הקרום הביטומני הממוצע בתערובת.

במסגרת מגבלות לוחות הזמנים הדחוקים והעבודה מול חברת שפיר, לא התאפשר תהליך מורכב יותר של תכנון ושיפור תערוכות הניסוי. בניסויים הבאים מומלץ לבצע מערכת מסודרת של בדיקות מוקדמות וניתוח נפחי של מרכיבי התערוכות על מנת לאפשר שיפור נוסף בתערוכות האספלטית המתקבלת.

#### 4 סיכום, מסקנות ביניים והמלצות להמשך פעולה

הניסוי הנוכחי מהווה שלב נוסף בפעולותיה של חברת החשמל לאיתור יישומים יעילים לאפר הפחם המופק על ידי תחנות החשמל הפחמיות. במסגרת הניסוי נעשה ניסיון ליישם תערוכת אספלט שבה הוחלפה מרבית כמות המלאן באפר פחם מרחף, כתערוכת נושא עליונה בכביש מס' 40. כביש זה הינו אחד הכבישים הבינוניים העמוסים בארץ (כ- 60 אלף כלי רכב ביום).

תהליך הייצור של התערוכות בעלת מלאן מאפר פחם היה פשוט יחסית והתערוכות שנוסחה נראתה כעבירה נוחה לסלילה. תוצאות הבדיקות שנערכו, הן בתערוכות הניסוי והן בתערוכות שבוצעו בקטעי הבקרה היו טובות בעיקרן, ללא הבדל משמעותי בין התערוכות.

המשקל הסגולי הנמוך יותר של אפר הפחם הביא לייצור תערוכות שבה הצפיפות המכסימלית נמוכה יחסית. לנושא זה אין שום השפעה על עצם תפקוד התערוכות. דרגות הצפיפות שהתקבלו בשדה גבוהות יותר בתערוכות הניסוי מאשר בתערוכות קטעי הבקרה, נקודה שניתן אולי לייחס אותה לעבירות טובה יותר של תערוכות הניסוי. לעומת זאת יציבות המדרגים בתערוכות עם אפר הפחם הייתה נמוכה מזו שבתערוכות הרגילות.

מתוך תוצאות הניסוי ומניתוח התכונות השונות של התערוכות וקטעי הניסוי והבקרה, ניתן להסיק את מסקנות הביניים הבאות:

- א. נראה שניתן לייצר ולסלול בהצלחה תערוכות אספלטיות שבהן מוחלף מרבית המלאן הדולומיטי במלאן מאפר פחם מרחף.
- ב. תכונות התערוכות והתנהגותן בעת הסלילה ואחריה (במגבלות תקופת המעקב הקצרה) נראות טובות ונאותות.
- ג. תוצאות מדידות החיכוך באמצעות מטוטלת בריטית מחזקות את ההערכה הראשונית שערכי החיכוך המתקבלים בתערוכות הניסוי טובים יותר מאשר בתערוכות הרגילות. ככל הנראה השיפור יבוא לידי ביטוי בעיקר בתקופת השדות



הראשונה של התערובות, כאשר יש עדיין צימוי ביטומני של האגרגטים בחלק העליון של המיסעה.

ד. תוצאות מדידות החיכוך באמצעות ה- ROAR הראו ערכי חיכוך נמוכים יותר בתערובת הניסוי, ככל הנראה כתוצאה מעומק מירקם נמוך יותר בתערובת זו מאשר בתערובות הבקרה.

ה. בניסויי המסך מוסלץ לבצע תערובות שתקחנה בחשבון את המשקל הסגולי הנמוך יותר של אפר הפחם. באופן זה ניתן יהיה להשיג תערובות בעלות עומק מירקם משופר. יש סיבה טובה להנחה שבתערובות אלו תתקבל התנגדות משופרת להחלקה, גם בבדיקות במכשיר ה- ROAR.

ו. לגבי קטע הניסוי וקטעי הבקרה בכביש מס' 40 יש להמשיך במעקב אחר תפקוד ההתנגדות להחלקה, על מנת לקבל מידע לגבי תפקוד אותם קטעים לאורך זמן. הצלחת קטע הניסוי גם בבחינה על ציר הזמן עשויה לסלול את הדרך לאישור שימוש אינטנסיבי יותר בתערובות אלו.



## 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):

2.5 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.



משרד התחבורה  
מחלקת עבודות ציבוריות  
משרד ראשי  
אגף לחומרים ומחקר

ט"ז אדר תשס"ד  
09 מרץ 2004  
שם מסמך: S6670-16

א. מכתב מע"צ מס' S6670-16

דיון א' : שימוש במלאן אפר פחם בתערובות אספלט

משתתפים:

ד"ר משה קרן	- חברת חשמל
אינג' נתן ליבנת	- יועץ
מר גרשון פטרון	- היחידה ליחשום עסקי, חב' חשמל
מר עומרי לולב	- מנהלת אפר פחם
אינג' שמעון נסיכי	- אגף לחומרים ומחקר
אינג' לריסה ליאחובצקי	- אגף לחומרים ומחקר

1. אין התנגדות לשימוש באפר פחם כמלאן בתערובות אספלטיות. הנושא מוכר ומקובל בעולם ומוכר גם בת"י 362 חלק א' בסעיף 2.5 שצילמו מצ"ב.
2. אם חב' החשמל מעוניינת להכניס לשימוש מלאן אפר פחם בתערובות אספלט, עליה ליוזם התקשרות בנושא עם יצרן תערובות אספלט.
3. בהמשך לנאמר בסעיף הקודם תהליך השימוש באפר פחם בתערובות אספלטיות ילווה ע"י האגף לחומרים ומחקר. כמינימום יידרש תכנון מרשל נפרד לתערובת החדשה (הכוללת אפר פחם), וכן מעקב תקופתי על קטעים שישללו תוך שימוש במלאן זה.

רשם: שמעון נסיכי

לוח: צילום שני דפים מתוך ת"י 362 חלק א'

תפוצה: משתתפי הדיון



מכון התקנים הישראלי

The Standards Institution of Israel

## תקן ישראלי - ת"י 362 חלק 1

אדר ב' התשס"ג - מרס 2003

### תערובות אספלט חמות: הרכב ותכנון

Hot asphalt mixtures: Composition and planning

תקן זה בא במקום

פרקים א, ב, ג ומוספים א-ד, ו-ז של

התקן הישראלי ת"י 362 מיוני 1991

---

**מילות מפתח:** כבישים, אספלט, תערובות, חומרי בנייה, דרגות (איכות).  
**Descriptors:** roads, asphalts, mixtures, construction materials, grades (quality).

טבלה 1 - דרישות לתכונות האגרגאט הגס לתערובות אספלט

מספר הסעיף	התכונה	הדרישה		הבדיקה לפי
		אגרגאט סוג א	אגרגאט סוג ב	
2.2.1	ספיגות של אגרגאט שמקורו סלע גיר או סלע גיר דולומיטי, במקטעים (א): 14/10, 19/14, 25/19, 40/25 (%), מקסי	2.5	3.5	ת"י 1865 חלק 2
2.2.2	ספיגות של אגרגאט שמקורו סלע גיר או סלע גיר דולומיטי, במקטע 10/5 (%), מקסי	3.0	4.0	
2.2.3	ספיגות של אגרגאט שמקורו בזלת, במקטעים: 14/10, 19/14, 25/19, 40/25 (%), מקסי	3.0	4.0	
2.2.4	ספיגות של אגרגאט שמקורו בזלת, במקטע 10/5 (%), מקסי	3.5	4.5	
2.2.5	צפיפות נדמית משוקללת של אגרגאט שמקורו סלע גיר או סלע גיר דולומיטי (ג' לסמ"ק), מיני	2.7	-	
2.2.6	צפיפות נדמית משוקללת של אגרגאט שמקורו בזלת (ג' לסמ"ק), מיני	2.8	-	
הערה לטבלה: (א) מקטע הוא כינוי האגרגאט, כמוגדר בתקן הישראלי ת"י 3.				

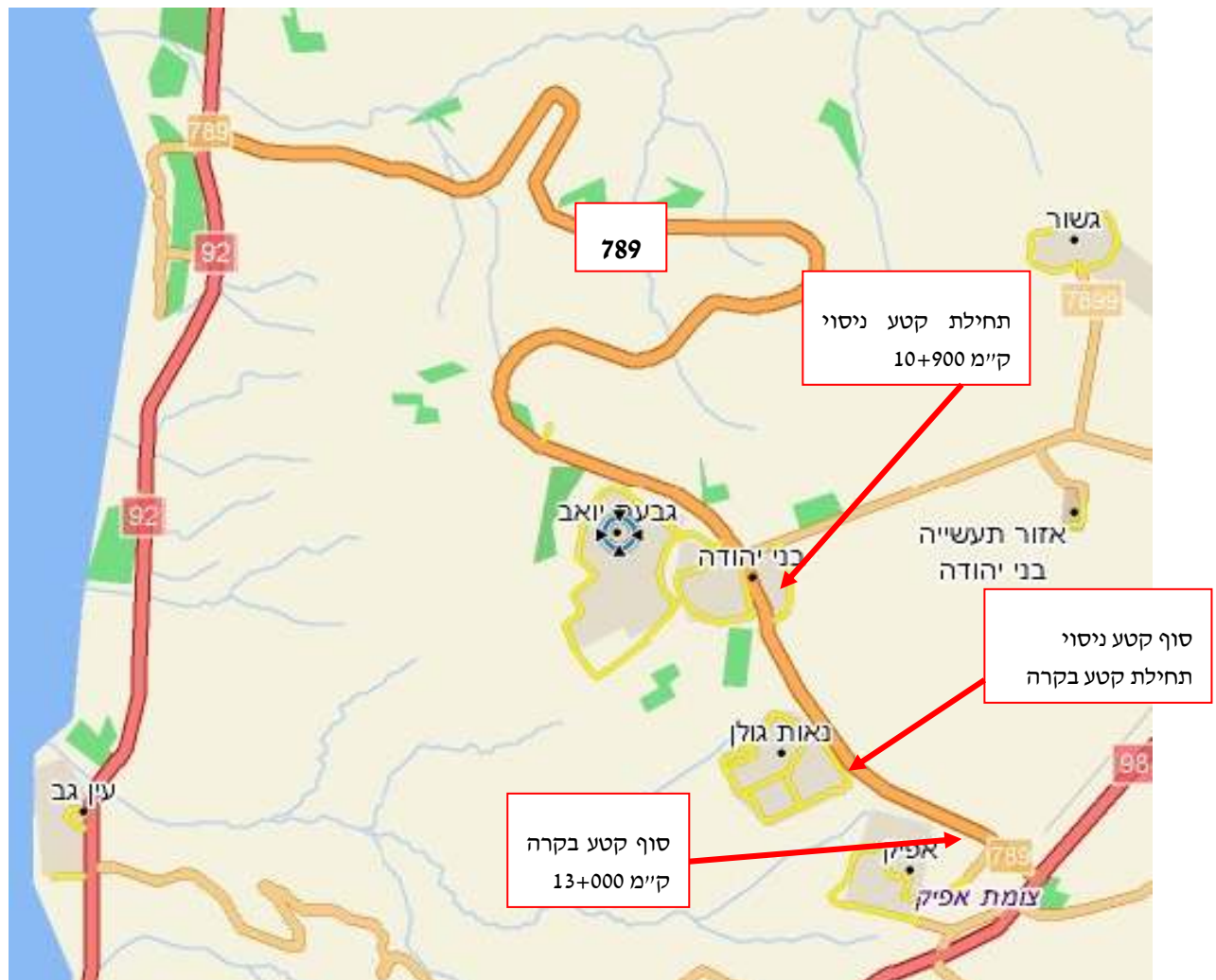
4. 2. מוספים מינרליים ממקורות טבעיים (מלאן)

המלאן המוסף לתערובות אספלט יהיה חומר המתקבל בטחינת סלע גיר או סלע גיר דולומיטי, שכולו עובר דרך נפה שכינויה 0.6, ולפחות 65% ממנו עובר דרך נפה שכינויה 0.075.

2.5 מוספים מינרליים ממקורות תעשייתיים

מוספים מינרליים ממקור תעשייתי, כגון: צמנט פורטלנד, מימת סיד (סיד הידרתי) או אפר פחם מרחף, המוספים לתערובות אספלט לפי דרישות 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 האספלטית 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 האספלטית.
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 היתה 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 האספלטית 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 האספלטית בשני סוגי התערובות היה דומה.
7. מקדם ההתנגדות להחלקה של השכבה האספלטית בשני סוגי התערובות היה דומה, עם יתרון קל לתערובת הניסיונית, כנראה עקב החלפת החול הגירי/דולומיטי בחול בזלתי.



## שימוש במלאן אפר פחם בתערובת אספלטית "S1" בזלתית סיכום ניסוי – ממצאים ראשוניים




דצמבר 2005

הוכן על ידי:

**יונה** - ייעוץ וניהול הנדסי בע"מ

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



<b>YONA</b> Engineering Consulting & Management Ltd.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pavements</li> <li>• Soils</li> <li>• Materials</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• דרכים</li> <li>• קרקע</li> <li>• חומרי סלילה</li> </ul>	<b>יונה</b> ייעוץ וניהול הנדסי בע"מ
--	---	---	--	---



תאריך: 07/12/2005  
מספרנו: 05/1072

לכבוד  
אינג' שמעון נסיכי  
**מעצ – החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ**

אדון נכבד,

### הנדון: תערובת אספלטית עם חול בזלתי ומלאן מאפר פחם מרחף – סיכום ניסוי

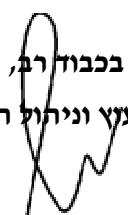
הרינו מתכבדים להגיש בזאת דו"ח סיכום של ניסוי ראשוני לייצור וסלילת תערובת אספלטית בזלתית עם אגרגט גס וחול בזלתיים ומלאן מאפר פחם מרחף, בהשוואה לתערובות הבזלתיות "הרגילות" שבהן רק האגרגט הגס הינו בזלתי והחול והמלאן הינם גיריים/דולומיטיים.

הניסוי נערך על ידי מחצבות כנרת במהלך חודש אוגוסט 2005 והתערובת יושמה בין ק"מ 11-12 של כביש 789.

על פי הממצאים הראשוניים עולה כי תכונות התערובת הניסיונית עומדות בדרישות המפרט ואינן נופלות בטיבן מהתערובת "הרגילה".

עומד לרשותך במתן הבהרות נוספות במידת הצורך.

לוטת: דו"ח סיכום ראשוני.

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' אלי גורן, 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.

רח' שמשון 37, חיפה 34678, טל.: 04-8246959, פקס: 04-8340459

e-mail: [yonah@yonaltld.com](mailto:yonah@yonaltld.com)

website: [www.yonaltld.com](http://www.yonaltld.com)

37 Shimshon St., Haifa 34678, ISRAEL, Tel. +972-4-8246959, Fax. +972-4-8340459



## שימוש במלאן אפר פחם בתערובת אספלטית "S1 בזלתית

### סיכום ניסוי – ממצאים ראשוניים

#### 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 מאגרגט גס בזלתי ממחצבות כנרת ומאגרגט דק גירי/דולומיטי ממחצבת ציפורית.
- 1.4 בין ק"מ 10.98 לק"מ 12.05 בוצע קטע ניסוי שבו הוחלף החול והמלאן הגירי/דולומיטי בחול בזלתי ובמלאן מאפר פחם מרחף.
- 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").

#### 2. רקע הנדסי

מזה שנים רבות סללה מע"צ שכבות אספלטיות עליונות עם אגרגט גס בזלתי לצורך הגברת מקדם ההתנגדות להחלקה ברטוב של המיסעה האספלטית. אולם, האגרגט הדק ששימש לייצור התערובות היה קרבוניטי (גירי/דולומיטי), הודות לאפינויות הטובה בין אגרגט זה לביטומן. תערובת אספלטית בהרכב של אגרגט גס בזלתי ודקים בזלתיים הפגינה קיים קצר עקב הדחייה החשמלית בין האגרגט לביטומן. החלפת החולות תרמה להארכת הקיים מאחר ושטח הפנים הספציפי של החול גדול יחסית לאגרגט הגס, ולכן משפיע יותר על קיים השכבה.

#### 3. מטרה

- 3.1 ניסוי זה הינו תוצר של זהות אינטרסים בין מחצבות כנרת המייצרת אגרגט 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 האגרגט הבזלתי במחצבה. החלפת החול הבזלתי בגירי/דולומיטי מייקרת את עלות הייצור של התערובת האספלטית עקב תוספת התשלום בגין האגרגט הגירי/דולומיטי, בתוספת רווח, וההובלה.
- 3.3 למנהלת אפר הפחם אינטרס של הפיכת פסולת למשאב בעל שימוש מועיל.
- 3.4 הניסוי יוגדר כמוצלח באם יוכח שההרכב 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. השערות יסוד ושיטות בדיקה

טבלה מספר 1 מציגה את השערות היסוד של הניסוי והשיטות השונות לבדיקתן.



### טבלה מספר 1: השערות יסוד ודרכי בדיקה

מס"ד	השערת יסוד	שיטת בדיקה
1	החלפת חומרים לא תפגע בקיים	השוואת חוזק משתייר של שתי התערובות לאחר תקופות השריה ארוכות
2	תכונות האספלט לא תפגענה	מערכת מרשל לבדיקת הקשר עומס-דפורמציה ויחסי משקל-נפח
3	תהליך הייצור פשוט	יצור ופיקוח צמוד
4	עבידות התערובת דומה	השוואת האחידות, הצפיפות והגליות של השכבה
5	השכבה עם חול בזלתי תפגין בטיחות טובה יותר	בדיקה השוואתית של התנגדות להחלקה ברטוב

### 5. נוסחת התערובות המתוכננות

5.1 נספח א' מציג את מערכות הבדיקות המוקדמות ("מרשל") שבוצעו לתערובות מוצקות ואישור יונה בע"מ לתערובת הניסוי.

5.2 לשתי התערובות נוסחאות מתוכננות לעבודה (J.M.F) הינן זהות. טבלה מספר 2 מציגה נוסחאות אלו.

### טבלה מספר 2: 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

### 6. תיאום הניסוי

6.1 לפני תחילת ביצוע הניסוי נערכה פגישת תיאום בין הקבלן ליונה בע"מ, בו סוכמו שיטות הביצוע. בנוסף, נדרש הקבלן לעמוד בתנאים הבאים:

- התערובת האספלטית הניסיונית תעמוד בכל דרישות האיכות המפרטיות.
- מחיר העבודה יהיה זהה למחירי החוזה.
- תקופת הבדק על איכות העבודה תוארך משנתיים לשלוש שנים.

6.2 נספח ב' מציג את מסמכי תיאום הניסוי.

### 7. תהליך הבקרה

- 7.1 ייצור ובקרת איכות – בוצעו באופן עצמי על ידי מחצבות כנרת.
- 7.2 תיאום וניהול הניסוי – בוצע על ידי אינג' יהודה זיס מחברת יונה בע"מ.
- 7.3 פיקוח צמוד במפעל האספלט – בוצע על ידי מר משה זיס מחברת יונה בע"מ.
- 7.4 פיקוח צמוד באתר הסלילה – בוצע על ידי אינג' לב מייסנר מחברת יונה בע"מ.
- 7.5 ייעוץ, ליווי הפרויקט ותיאום מטעם מנהלת אפר הפחם – בוצעו על ידי אינג' נתן לבנת.
- 7.6 תגבור בקרת האיכות מטעם הקבלן – מעבדת איזוטופ.



7.7 בדיקות הבטחת איכות מטעם הפיקוח – מבדק הצפון.

## 8. שיטת הוספת מלאן מאפר פחם

8.1 בתהליך ייצור רגיל המלאן הגירי/דולומיטי נשאב מהחול הגירי/דולומיטי במהלך חימום האגרגטים.

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

8.3 בהליך הניסיוני הוסף אפר הפחם המרחף בשני שלבים :

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

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

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

8.5 אפר הפחם היה במצב יבש ושפיד. טבלה מספר 3 מציגה את דירוג אפר הפחם.

**טבלה מספר 3: דירוג אפר הפחם**

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

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

## 9. תכונות התערובת והשכבות האספלטיות

נספח ג' מציג את תכונות התערובות המיוצרות והשכבות האספלטיות מתערובות אלו. נספח ד' מציג ניתוח סטטיסטי במבחן ANOVA לבחינת זהות הפרמטרים.

### 9.1 התערובות האספלטיות

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

9.1.1 כל הבדיקות בשתי סוגי התערובות עמדו בדרישות המפרט.

9.1.2 המבחן הסטטיסטי מצביע על כך שהצפיפות, היציבות, הנזילות, החוזק המשותייר ואחוז החלל בשתי התערובות שייכות לאותה קבוצה ואין ביניהן הבדל מובהק.

9.1.3 המבחן הסטטיסטי מצביע על הבדל מובהק בערך VMA, כנראה עקב הצפיפות הגבוהה יותר של החול הבזלתי משל החול הגירי/דולומיטי.

9.1.4 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.

### 9.2 השכבה האספלטית

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



- 9.2.1 מרקם פני השטח, הפיזור וההידוק נראים אחידים בשני סוגי התערובות.
- 9.2.2 האזור הצמוד לשכבת הניסוי ולקטע הניסוי עצמו מפגינים ערכי גליות נחותים משאר הקטע, אולם הדבר נובע כנראה מגיאומטריית המיסעה ולא מהשכבה האספלטית.
- 9.2.3 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 הינו 0.36.
- ב. ערך מקדם החיכוך של התערובת ה"רגילה" הינו 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.

## 10. סיכום, מסקנות והמלצות

- 10.1 מטרת הניסוי היתה לבחון באם ניתן לאשר ייצור אספלט בהרכב של אגרגטים דקים בזלתיים ומלאן מאפר פחם מרחף, במקום ההרכב המסורתי של אגרגטים דקים ומלאן גיריים/דולומיטיים.
- 10.2 מסמך זה מציג את עיקרי הניסוי וממצאיו.
- 10.3 התערובת יוצרה במפעל האספלט של מחצבות כנרת ונסללה בין ק"מ 11-12 של כביש 789, במהלך חודש אוגוסט 2005.
- 10.4 כמענה לשאלות היסוד של הניסוי ניתן להשיב כלהלן:
- א. החלפת החומרים לא פגעה בקיים התערובת האספלטית במבחן השריה במים.
- ב. נצפו תכונות דומות של חוזק-דפורמציה ויחסי משקל-נפח של שני סוגי התערובות השונות.
- ג. תהליך הייצור של התערובת הניסיונית היה פשוט ולא חייב שינויים מהותיים במפעל ובתהליך.
- ד. הפיזור, ההידוק, המרקם, הצפיפות ונוחות הנסיעה של השכבה האספלטית בשני סוגי התערובות היה דומה.
- ה. מקדם ההתנגדות להחלקה של השכבה האספלטית בשני סוגי התערובות היה דומה, עם יתרון קל לתערובת הניסיונית, כנראה עקב החלפת החול הגירי/דולומיטי בחול בזלתי.
- 10.5 מומלץ לעקוב אחר השתנות התכונות של השכבה האספלטית עם הזמן, ובמיוחד אחר השתנות מקדם החיכוך עם הזמן בכדי לבחון את תרומת החול הבזלתי לפרמטר זה.
- 10.6 על פי ממצאים ראשוניים אלו נראה שניתן להרחיב באופן הדרגתי וזהיר את השימוש בתערובת הניסיונית.



**07.00 סיכום ניסוי בכביש מס' 789, לאחר שנת מעקב**



## תקציר פרק 07.00

### רקע

שנה לאחר ביצוע קטע הניסוי וקטע הבקרה בכביש מס. 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) ונלאן גירי/דולומיטי.
2. מקדם ההתנגדות 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 סעיף .... בהמשך)** שרמת ההתנגדות להחלקה של שיכבת הניסוי אינה נופלת מרמת ההתנגדות להחלקה של שיכבת הבקרה.

## 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





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.

רח' שמשון 37, חיפה 34678, טל: 04-8246959, פקס: 04-8340459

e-mail: yona@yonaltd.com website: www.yonaltd.com

37 Shimshon St., Haifa 34678, ISRAEL, Tel. +972-4-8246959, Fax. +972-4-8340459



## תוכן עניינים

1.	מבוא	76
2.	רקע הנדסי	76
3.	מטרה	76
4.	התערובת האספלטית הטריה	77
5.	השכבה האספלטית	78
6.	סיכום, מסקנות והמלצות	83

## שימוש במלאן אפר פחם בתערובת אספלטית "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 מאגרגט גס בזלתי ממחצבות כנרת ומאגרגט דק גירי/דולומיטי ממחצבת ציפורית.
- 1.4 בין ק"מ 10.98 לק"מ 12.05 בוצע קטע ניסוי שבו הוחלף החול והמלאן הגירי/דולומיטי בחול בזלתי ובמלאן מאפר פחם מרחף.
- 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 אספלטיות עליונות עם אגרגט גס בזלתי לצורך הגברת מקדם ההתנגדות להחלקה ברטוב של המיסעה האספלטית. אולם, האגרגט הדק ששימש לייצור התערובות היה קרבוניטי (גירי/דולומיטי), הודות לאפינויות הטובה בין אגרגט זה לביטומן. תערובת אספלטית בהרכב של אגרגט גס בזלתי ודקים בזלתיים הפגינה קיים קצר עקב הדחייה החשמלית בין האגרגט לביטומן. החלפת החולות תרמה להארכת הקיים מאחר ושטח הפנים הספציפי של החול גדול יחסית לאגרגט הגס, ולכן משפיע יותר על קיים השכבה.

#### 3. מטרה

- 3.1 ניסוי זה הינו תוצר של זהות אינטרסים בין מחצבות כנרת המייצרת אגרגט 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 האגרגט הבזלתי במחצבה. החלפת החול הבזלתי בגירי/דולומיטי מייקרת את עלות הייצור של התערובת האספלטית עקב תוספת התשלום בגין האגרגט הגירי/דולומיטי, בתוספת רווח, וההובלה.





- 3.3 למנהלת אפר הפחם אינטרס של הפיכת פסולת למשאב בעל שימוש מועיל.
- 3.4 הניסוי יוגדר כמוצלח באם יוכח שההרכב 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:
- ג. המלאן הבזלתי המצוי בחול הבזלתי נשאב ומובא אל אחד הסילוסים ללא הוספתו לתערובת.
- ד. 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 גיר.
- ה) אפר הפחם היה במצב יבש ושפך. טבלה מספר 2 מציגה את דירוג אפר הפחם.

**טבלה מספר 2: דירוג אפר הפחם**

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

- 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 הטריות

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 הנ"ל מצביע על הבדל מובהק בערך VMA, כנראה עקב הצפיפות הגבוהה יותר של החול הבזלתי משל החול הגירי/דלומיטי.
- 4.3.4 בתאריך 30/08/05 בוצעה בדיקה השוואתית של חוזק משותייר 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 IRI<sub>100</sub> בקטעים אלו, לנתיבים 3 ו-4, בהתאמה.



**טבלה מספר 3: ערכי הגליות במדד  $IRI_{100}$ , נתיב 3**

קטע	מק"מ	לק"מ	ערך $IRI_{100}$ (מ"/ק"מ)		מינימום		מכסימום		ממוצע		סטית תקן		מקדם שונות (%)	
			2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005
ניסוי			1.50	1.48	1.50	1.48	2.33	2.10	1.88	1.83	0.35	0.27	18.48	14.53
			2.33	2.10										
			1.76	1.95										
			1.96	1.79										
מעקב	ב		1.61	1.61	1.49	1.40	2.37	1.84	1.80	1.67	0.39	0.21	21.66	12.50
			1.49	1.40										
			2.37	1.84										
			1.76	1.84										

**טבלה מספר 4: ערכי הגליות במדד  $IRI_{100}$ , נתיב 4**

קטע	מק"מ	לק"מ	ערך $IRI_{100}$ (מ"/ק"מ)		מינימום		מכסימום		ממוצע		סטית תקן		שונות	
			2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005
ניסוי			1.74	1.77	1.62	1.48	2.02	1.85	1.72	1.73	0.10	0.23	5.68	13.30
			1.85	2.02										
			1.70	1.63										
			1.62	1.48										
מעקב	ב		1.50	1.53	1.44	1.53	1.77	1.97	1.68	1.64	0.25	0.13	14.80	7.90
			1.44	1.73										
			1.80	1.77										
			1.97	1.53										

### 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 ניסוי			קטע בקרה			מס"ד
חנתך	חריצה (מ"מ)	הערות	חנתך	חריצה (מ"מ)	הערות	
12.040	0		12.540	1		1
11.940	0		12.515	0		2
11.890	2		12.340	2	כניסה לנאות גולן	3
11.790	2		12.365	2		4
11.740	0		12.215	0		5
11.640	0		12.140	5	כניסה למפעל אריזה	6
11.590	0		12.115	0		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 הנבחרים. אולם, עקב תקלה בציווד 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**

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



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

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



## 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 בצידוד המדידה והיא תושלם עם חזרת הצידוד 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.

### בדיקת רמת ההתנגדות להחלקה (מקדם החיכוך)

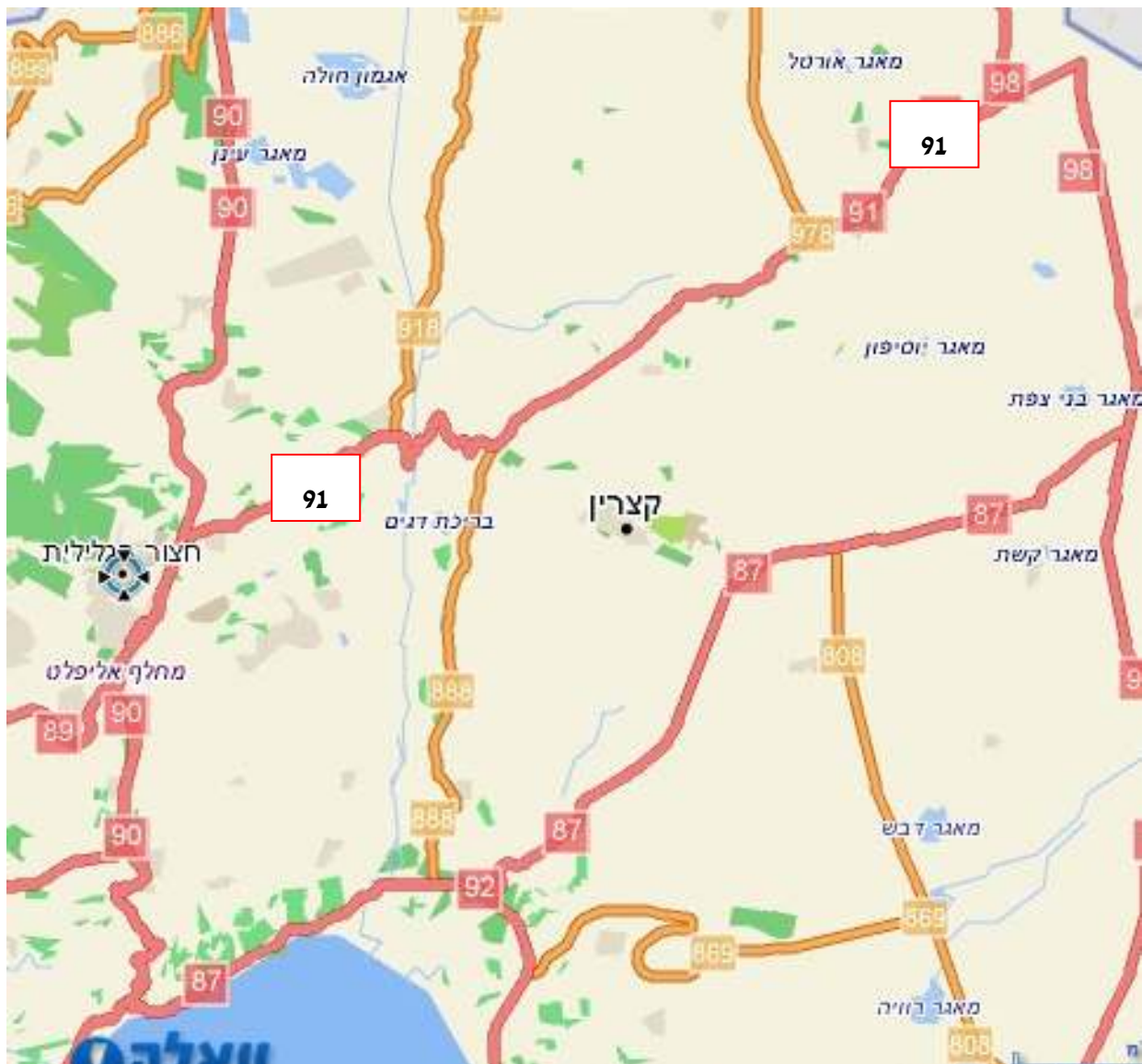
בתאריך 02.08.07 נבדקה שוב רמת ההתנגדות להחלקה של שכבת הניסוי ושכבת הבקרה, במכשיר מסוג Roar, ולהלן הממצאים:

2007	2005	רמת ההתנגדות להחלקה (מקדם החיכוך)
0.50	0.36	שכבת הניסוי
0.53	0.34	שכבת הבקרה

**מסקנה:** רמת ההתנגדות להחלקה של שכבת הניסוי אינה נופלת מרמת ההתנגדות להחלקה של שכבת הבקרה.

**הערה:** בדיקת רמת ההתנגדות להחלקה בוצעה ע"י "המבדקה לבנין ותשתית" קרית אתא, עיר גנים, רח' התעשייה 44, ביוזמת ולפי הזמנת מנהלת אפר הפחם.

## 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.



**טופס מס' 7 - רשימת תיוג לבקרה מוקדמת בעבודות אספלט**  
**( צפופת דירוג + תא"מ - S )**

מרחב : צפון	מפעל מייצר:	מח' כנרת
שם פרויקט: כביש 91	סוג התערובת :	1" בזלת-S
שם מנהל הפרוייקט: חב' גאוכום	שם קבוצת הפיזור	
שם הקבלן : מובלי המרכז	תאריך נטילה:	7/2006
מס' חוזה :	מס' תעודה למערכת תכן :	7/2006

קיום מסמכים	קיים/לא קיים
ת"ת 20 בתוקף	קיים
אישור מעצ לאספקת אספלט	קיים
קיום רשימת תוכניות עבודה מעודכנות	לא רלוונטי

סוג בדיקה נדרשת	דרישה מפרטית	תוצאות בדיקה מוקדמת	מעמד הבדיקה
תכונות חומרי גלם			
תכונות אגרגט גס ( סוג א' )			
דירוג מקטעים חד גרגריים			תקין
מדד פחיסות ( % )	20	15	תקין
מדד מאורכות ( % )	35	16	תקין
שיעור שחיקה לוס אנג'לס ( B ) - ( % )	25	17.7	תקין
ספיגות לכל מקטע #4 + ( % )	3.5	2.79	תקין

תקין	2.79	3.0	ספיגות משוקללת ל- #4 + (%)
תקין	2.72	2.5	צפיפות ממשית (גר/סמ"ק)
תקין	0.3	0.5	תכולת בולי חרסית (%)
	לא רלוונטי	80	תכולת גרגרים גרוסים #4 + (%)
		תכונות אגרגט דק (סוג א')	
תקין	N.P	N.P	גבול נדילות (%)
תקין	N.P	N.P	מדד פלסטיות (%)
תקין	65	50	שווה ערך חול (%)
תקין	0	0.5	תכולת בולי חרסית (%)
תקין			דירוג אגרגט דק
		ביטומן טרי	
בדיקת קבלה	PG-70-10		סוג

תערובות אספלטיות			
מעמד הבדיקה	תוצאות בדיקה מוקדמת	דרישה מפרטית	סוג בדיקה נדרשת
		תערובות צפופות דירוג -	
	לא רלוונטי		דירוג
	לא רלוונטי		תכונות התערובת
	לא רלוונטי		תכולת ביטומן אופטימלית (J.M.F)
		תערובות תא"מ-S	
תקין	7/2006		דירוג
תקין	7/2006		תכונות התערובת
תקין	7/2006		תכולת ביטומן אופטימלית (J.M.F)



קטע מבחן			
סוג בדיקה נדרשת	מס' תעודת ריכוז	מעמד הבדיקה	תאריך ביצוע
איכות חומר			
התאמה ותקינות ציוד הפיזור והכבישה			
בדיקות גליות + מישוריות השכבה			
איכות ביצוע			
מידות			

**הערות:** \*\_ -תערובת נכללת חול בזלתי ואפר פחם במקום מלאן רגיל

אישור שלב בקרה מוקדמת		מאושר/לא מאושר
פרברוב אולג		6.12.06
שם ומשפחה	חתימה	תאריך



**טופס מס' 9 - רשימת תיוג לבקרת איכות לתערובת אספלט במפעל**

מרחב :	צפון	סוג התערובת :	1S בולת*
שם פרויקט:	כביש 91	כמות פיזור:	719.7
שם מנהל הפרויקט:	חב' גאוכום	שכבה:	עליונה
קבלן ראשי:	מובלי המרכז	עובי שכבה דרוש:	55
קבלן מבצע:		שם קבוצת פיזור:	חאתם
מס' חוזה :		תאריך פיזור	7.12.06
מפעל מייצר:	כנרת	מס' תעודה למערכת תכן :	7/2006

מנה מס' 1	מנה מס' 2	מנה מס' 3	מנה מס' 4	ממוצע	
165	163				טמפ' ייצור

קו דירוג ותכולת ביטומן												
ממוצע סטיות	מנה מס' 4		מנה מס' 3		מנה מס' 2		מנה מס' 1		סטייה מותרת	קו מאושר	דירוג נפה	
	ערך	סטייה	ערך	סטייה	ערך	סטייה	ערך	סטייה			במ"מ	באינץ'
											37.5	1 1/2"
					0	100	0	100		100	25	1"
					2	93	1	94		95	19	3/4"
					2	83	2	83		85	12.5	1/2"
					1	71	1	69		70	9.5	3/8"
					2	39	3	40		37	4.75	#4
					1	24	2	21		23	2	#10

					1	12	1	12		13	0.85	#20
					1	9	2	8		10	0.425	#40
					0	7	1	6		7	0.18	#80
					0.2	5.7	0.1	5.4		5.5	0.075	#200
					0.1	4.4	0.1	4.4		4.3	תכולת ביטומן (%)	

תכונות תערובת	ערך דרוש	מס' מנה 1	מס' מנה 2	מס' מנה 3	מס' מנה 4	ממצוע
צפיפות (ק"ג/מ"ק)		2352	2354			
יציבות (ליב')		2515	2520			
נזילות (0.01")		12.5	12			
חוזק משתייר (%)		90				
אחוז חלל (%)		6.2	6.2			
VMA (%)		16.4	16.3			

**הערות:** \*- תערובת נכללת חול בזלתי ואפר פחם במקום מלאן רגיל



## טופס מס' 10 - רשימת תיוג לביצוע עבודות אספלט באתר

מרחב :	צפון	מפעל מייצר וסוג התערובת	כנרת
שם פרויקט:	כביש 91	שם קבוצת הפיזור	חאתם
שם מנהל הפרוייקט:	חב' גאוכום	שכבה מס':	עליונה
שם הקבלן :	מובילי מרכז	*שטח מבוקר (מ"ר) :	5412
מס' חוזה :		עובי שכבה:	55
שם מבנה :	כביש 91	חתכים:	RL-18.345 18.725RL

\*שטח מבוקר יכול לכלול מס' מנות עיבוד יומיות

תאור העבודה	אחריות	שם	חתימה	תאריך
אישור בקרה מוקדמת בהתאם לטופס 7*/8*	בקרת איכות	אולג		7.12.06
קיום אישור לשכבה קודמת	בקרת איכות			
אישור בקרה ויזואלית של השכבה הקודמת	בקרת איכות			
תקינות פנישר, כבלים, מרססת וציוד הידוק	בקרת איכות	אולג		7.12.06
קיום רשימת תוכניות עבודה מעודכנות	בקרת איכות			
ביצוע בדיקות שוטפות - פרק 32/34	בקרת איכות	אולג		7.12.06
בדיקת התאמת מפלס לדרישות המפרט	מודד מוסמך			
בדיקות גליות	בקרת איכות			
בדיקה ויזואלית וגמר	בקרת איכות	אולג		7.12.06

\* מחק את המיותר

מעקב בדיקות שוטפות- פרק 32 + 34			
סוג בדיקה	תעודה מס'	תאריך ביצוע	מעמד החומר
בדיקות אגרגט	לפי דף ריכוז	10.12.06	תקין
בדיקות ביטומן	בדיקת קבלה		
בדיקת תערובת (מרשל)	לפי דף ריכוז	7.12.06	תקין
בדיקות גליות			
גלעינים ( "קורים" )			

מעקב בדיקות שוטפות- פרק 32 + 34				
סוג בדיקה	תעודת ריכוז	מס' תעודה	תאריך ביצוע	מעמד החומר
בדיקות אגרגט	תעודת ריכוז חודשית לאיכות אגריגטים לאספלט			
בדיקות ביטומן	תעודת ריכוז חודשית לבדיקות ביטומן			
בדיקת תערובת	תעודת ריכוז חודשית לתכונות תערובת אספלטית			
בדיקות גליות+ מישוריות השכבה	דו"ח בדיקת גליות/מישוריות			
גלעינים ("קורים")	תעודת ריכוז חודשית לבדיקות צפיפות ועובי גלעינים			
מדידות	דף מדידות			

הערות: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

אישור סופי בקרת איכות

פרברוב אולג		
שם ומשפחה	חתימה	תאריך



**טופס מס' 9 - רשימת תיוג לבקרת איכות לתערובת אספלט במפעל**

מרחב :	צפון	סוג התערובת :	1S בולת*
שם פרויקט:	כביש 91	כמות פיזור:	520.6
שם מנהל הפרויקט:	חב' גאוכום	שכבה:	עליונה
קבלן ראשי:	מובלי המרכז	עובי שכבה דרוש:	50
קבלן מבצע:		שם קבוצת פיזור:	חאתם
מס' חוזה :		תאריך פיזור	10.12.06.
מפעל מייצר:	כנרת	מס' תעודה למערכת תכן :	7/2006

	מנה מס' 1	מנה מס' 2	מנה מס' 3	מנה מס' 4	ממוצע
טמפ' ייצור	160	158			

קו דירוג ותכולת ביטומן												
דירוג נפה		קו מאושר	סטייה מותרת	מנה מס' 1		מנה מס' 2		מנה מס' 3		מנה מס' 4		ממוצע סטיות
באינץ'	במ"מ			ערך	סטייה	ערך	סטייה	ערך	סטייה	ערך	סטייה	
1 1/2"	37.5											
1"	25	100		100	0	100	0					
3/4"	19	95		95	0	94	1					
1/2"	12.5	85		83	2	84	1					
3/8"	9.5	70		69	1	71	1					
#4	4.75	37		35	2	38	1					



					1	22	2	21		23	2	#10
					1	12	2	11		13	0.85	#20
					1	9	2	8		10	0.425	#40
					0	7	1	6		7	0.18	#80
					0.1	5.6	0.1	5.4		5.5	0.075	#200
					0	4.3	0	4.3		4.3	תכולת ביטומן (%)	

ממצוע	מס' מנה 4	מס' מנה 3	מס' מנה 2	מס' מנה 1	ערך דרוש	תכונות תערובת
			2353	2350		צפיפות (ק"ג/מ"ק)
			2550	2545		יציבות (ליב')
			13.5	13		נזילות (0.01")
				89		חוזק משתייר (%)
			6.4	6.5		אחוז חלל (%)
			16.3	16.4		VMA (%)

**הערות:** \*- תערובת נכללת חול בזלתי ואפר פחם במקום מלאן רגיל



**טופס מס' 9 - רשימת תיוג לבקרת איכות לתערובת אספלט במפעל**

מרחב :	צפון	סוג התערובת :	1S בולת*
שם פרויקט:	כביש 91	כמות פיזור:	594
שם מנהל הפרויקט:	חב' גאוכום	שכבה:	עליונה
קבלן ראשי:	מובלי המרכז	עובי שכבה דרוש:	53
קבלן מבצע:		שם קבוצת פיזור:	חאתם
מס' חוזה :		תאריך פיזור	11.12.06.
מפעל מייצר:	כנרת	מס' תעודה למערכת תכן :	7/2006

מנה מס' 1	מנה מס' 2	מנה מס' 3	מנה מס' 4	ממוצע	
161	160				טמפ' ייצור

קו דירוג ותכולת ביטומן												
ממוצע סטיות	מנה מס' 4		מנה מס' 3		מנה מס' 2		מנה מס' 1		סטייה מותרת	קו מאושר	דירוג נפה	
	סטייה	ערך	סטייה	ערך	סטייה	ערך	סטייה	ערך			במ"מ	באינץ'
											37.5	1 1/2"
					0	100	0	100		100	25	1"
					2	96	1	94		95	19	3/4"
					1	86	2	83		85	12.5	1/2"
					1	71	2	68		70	9.5	3/8"

					2	39	3	40		37	4.75	#4
					1	22	2	21		23	2	#10
					1	12	1	12		13	0.85	#20
					1	9	2	8		10	0.425	#40
					0	7	1	6		7	0.18	#80
					0.2	5.7	0.1	5.6		5.5	0.075	#200
					0.1	4.4	0.1	4.4		4.3	תכולת ביטומן (%)	

ממצוע	מס' מנה 4	מס' מנה 3	מס' מנה 2	מס' מנה 1	ערך דרוש	תכונות תערובת
			2354	2353		צפיפות (ק"ג/מ"ק)
			2545	2695		יציבות (ליב')
			12.5	12		נזילות (0.01")
				90		חוזק משתייר (%)
			6.6	6.3		אחוז חלל (%)
			16.4	16		VMA (%)

**הערות:** \*- תערובת נכללת חול בזלתי ואפר פחם במקום מלאן רגיל



**טופס מס' 10 - רשימת תיוג לביצוע עבודות אספלט באתר**

מרחב :	צפון	מפעל מייצר וסוג התערובת	כנרת
שם פרויקט:	כביש 91	שם קבוצת הפיזור	חאתם
שם מנהל הפרוייקט:	חב' גאוכום	שכבה מס':	עליונה
שם הקבלן :	מובילי מרכז	*שטח מבוקר (מ"ר) :	4712
מס' חוזה :		עובי שכבה:	53
שם מבנה :	כביש 91	חתכים:	19110 RL- 19.490RL

\*שטח מבוקר יכול לכלול מס' מנות עיבוד יומיות

תאור העבודה	אחריות	שם	חתימה	תאריך
אישור בקרה מוקדמת בהתאם לטופס 7*/8*	בקרת איכות	אולג		11.12.06
קיום אישור לשכבה קודמת	בקרת איכות			
אישור בקרה ויזואלית של השכבה הקודמת	בקרת איכות			
תקינות פנישר, כבלים, מרססת וציוד הידוק	בקרת איכות	אולג		11.12.06
קיום רשימת תוכניות עבודה מעודכנות	בקרת איכות			
ביצוע בדיקות שוטפות - פרק 32/34	בקרת איכות	אולג		11.12.06
בדיקת התאמת מפלס לדרישות המפרט	מודד מוסמך			
בדיקות גליות	בקרת איכות			
בדיקה ויזואלית וגמר	בקרת איכות	אולג		11.12.06

\* מחק את המיותר

מעקב בדיקות שוטפות- פרק 32 + 34			
סוג בדיקה	תעודה מס'	תאריך ביצוע	מעמד החומר
בדיקות אגרגט	לפי דף ריכוז	10.12.06	תקין
בדיקות ביטומן	בדיקת קבלה		
בדיקת תערובת (מרשל)	לפי דף ריכוז	11.12.06	תקין
בדיקות גליות			
גלעינים ( "קורים" )			

מעקב בדיקות שוטפות- פרק 32 + 34				
סוג בדיקה	תעודת ריכוז	מס' תעודה	תאריך ביצוע	מעמד החומר
בדיקות אגרגט	תעודת ריכוז חודשית לאיכות אגריגטים לאספלט			
בדיקות ביטומן	תעודת ריכוז חודשית לבדיקות ביטומן			
בדיקת תערובת	תעודת ריכוז חודשית לתכונות תערובת אספלטית			
בדיקות גליות+ מישוריות השכבה	דו"ח בדיקת גליות/מישוריות			
גלעינים ("קורים")	תעודת ריכוז חודשית לבדיקות צפיפות ועובי גלעינים			
מדידות	דף מדידות			

הערות: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

אישור סופי בקרת איכות

פרברוב אולג		
שם ומשפחה	חתימה	תאריך



**טופס מס' 9 - רשימת תיוג לבקרת איכות לתערובת אספלט במפעל**

מרחב :	צפון	סוג התערובת :	1S בולת*
שם פרויקט:	כביש 91	כמות פיזור:	516.8
שם מנהל הפרויקט:	חב' גאוכום	שכבה:	עליונה
קבלן ראשי:	מובלי המרכז	עובי שכבה דרוש:	50
קבלן מבצע:		שם קבוצת פיזור:	חאתם
מס' חוזה :		תאריך פיזור	12.12.06.
מפעל מייצר:	כנרת	מס' תעודה למערכת תכן :	7/2006

מנה מס' 1	מנה מס' 2	מנה מס' 3	מנה מס' 4	ממוצע	
162	161				טמפ' ייצור

קו דירוג ותכולת ביטומן												
ממוצע סטיות	מנה מס' 4		מנה מס' 3		מנה מס' 2		מנה מס' 1		סטייה מותרת	קו מאושר	דירוג נפה	
	ערך	סטייה	ערך	סטייה	ערך	סטייה	ערך	סטייה			במ"מ	באינץ'
											37.5	1 1/2"
					0	100	0	100		100	25	1"
					2	97	0	95		95	19	3/4"
					2	83	1	84		85	12.5	1/2"
					1	71	2	68		70	9.5	3/8"
					2	39	1	38		37	4.75	#4
					1	24	2	22		23	2	#10



					1	14	0	13		13	0.85	#20
					0	10	1	9		10	0.425	#40
					0	7	0	7		7	0.18	#80
					0.2	5.7	0.3	5.8		5.5	0.075	#200
					0	4.3	0	4.3		4.3	תכולת ביטומן (%)	

תכונות תערובת	ערך דרוש	מס' מנה 1	מס' מנה 2	מס' מנה 3	מס' מנה 4	ממצוע
צפיפות (ק"ג/מ"ק)		2351	2353			
יציבות (ליב')		2495	2510			
נזילות (0.01")		13	13.5			
חוזק משתייר (%)		89.				
אחוז חלל (%)		6.6	6.4			
VMA (%)		16.4	16.3			

**הערות:** \*- תערובת נכללת חול בזלתי ואפר פחם במקום מלאן רגיל



## טופס מס' 10 - רשימת תיוג לביצוע עבודות אספלט באתר

מרחב :	צפון	מפעל מייצר וסוג התערובת	כנרת
שם פרויקט:	כביש 91	שם קבוצת הפיזור	חאתם
שם מנהל הפרויקט:	חב' גאוכום	שכבה מס':	עליונה
שם הקבלן :	מובילי מרכז	*שטח מבוקר (מ"ר) :	3968
מס' חוזה :		עובי שכבה:	50
שם מבנה :	כביש 91	חתכים:	19.490 RL- 19.810RL

\*שטח מבוקר יכול לכלול מס' מנות עיבוד יומיות

תאור העבודה	אחריות	שם	חתימה	תאריך
לפני ביצוע	אישור בקרה מוקדמת בהתאם לטופס 7* / 8*	אולג		12.12.06
	קיום אישור לשכבה קודמת			
	אישור בקרה ויזואלית של השכבה הקודמת			
	תקינות פנישר, כבלים, מרססת וציוד הידוק	אולג		12.12.06
	קיום רשימת תוכניות עבודה מעודכנות			
במהלך הביצוע	ביצוע בדיקות שוטפות - פרק 32 / 34	אולג		12.12.06
	בדיקת התאמת מפלס לדרישות המפרט			
	בדיקות גליות			
	בדיקה ויזואלית וגמר	אולג		12.12.06

\* מחק את המיותר

מעקב בדיקות שוטפות- פרק 32 + 34			
סוג בדיקה	תעודה מס'	תאריך ביצוע	מעמד החומר
בדיקות אגרגט	לפי דף ריכוז	10.12.06	תקין
בדיקות ביטומן	בדיקת קבלה		
בדיקת תערובת (מרשל)	לפי דף ריכוז	12.12.06	תקין
בדיקות גליות			
גלעינים ( "קורים" )			

מעקב בדיקות שוטפות- פרק 32 + 34				
סוג בדיקה	תעודת ריכוז	מס' תעודה	תאריך ביצוע	מעמד החומר
בדיקות אגרגט	תעודת ריכוז חודשית לאיכות אגריגטים לאספלט			
בדיקות ביטומן	תעודת ריכוז חודשית לבדיקות ביטומן			
בדיקת תערובת	תעודת ריכוז חודשית לתכונות תערובת אספלטית			
בדיקות גליות+ מישוריות השכבה	דו"ח בדיקת גליות/מישוריות			
גלעינים ("קורים")	תעודת ריכוז חודשית לבדיקות צפיפות ועובי גלעינים			
מדידות	דף מדידות			

הערות: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

אישור סופי בקרת איכות

פרברוב אולג		
שם ומשפחה	חתימה	תאריך



**טופס מס' 9 - רשימת תיוג לבקרת איכות לתערובת אספלט במפעל**

מרחב :	צפון	סוג התערובת :	1S בולת*
שם פרויקט:	כביש 91	כמות פיזור:	542.4
שם מנהל הפרויקט:	חב' גאוכום	שכבה:	עליונה
קבלן ראשי:	מובלי המרכז	עובי שכבה דרוש:	60
קבלן מבצע:		שם קבוצת פיזור:	חאתם
מס' חוזה :		תאריך פיזור	17.12.06.
מפעל מייצר:	כנרת	מס' תעודה למערכת תכן :	7/2006

מנה מס' 1	מנה מס' 2	מנה מס' 3	מנה מס' 4	ממוצע	
160	158				טמפ' ייצור

קו דירוג ותכולת ביטומן												
ממוצע סטיות	מנה מס' 4		מנה מס' 3		מנה מס' 2		מנה מס' 1		סטייה מותרת	קו מאושר	דירוג נפה	
	ערך	סטייה	ערך	סטייה	ערך	סטייה	ערך	סטייה			במ"מ	באינץ'
											37.5	1 1/2"
					0	100	0	100		100	25	1"
					0	95	2	93		95	19	3/4"
					2	83	3	82		85	12.5	1/2"
					0	70	1	69		70	9.5	3/8"
					2	35	2	39		37	4.75	#4
					1	22	1	22		23	2	#10

					1	12	1	12		13	0.85	#20
					1	9	2	8		10	0.425	#40
					0	7	1	6		7	0.18	#80
					0.1	5.6	0.1	5.6		5.5	0.075	#200
					0	4.3	0	4.3		4.3	תכולת ביטומן (%)	

תכונות תערובת	ערך דרוש	מס' מנה 1	מס' מנה 2	מס' מנה 3	מס' מנה 4	ממצוע
צפיפות (ק"ג/מ"ק)		2353	2355			
יציבות (ליב')		2710	2725			
נזילות (0.01")		11.5	11			
חוזק משתייר (%)		91				
אחוז חלל (%)		6.5	6.4			
VMA (%)		16.3	16.2			

**הערות:** \*- תערובת נכללת חול בזלתי ואפר פחם במקום מלאן רגיל



**טופס מס' 10 - רשימת תיוג לביצוע עבודות אספלט באתר**

מרחב :	צפון	מפעל מייצר וסוג התערובת	כנרת
שם פרויקט:	כביש 91	שם קבוצת הפיזור	חאתם
שם מנהל הפרוייקט:	חב' גאוכום	שכבה מס':	עליונה
שם הקבלן :	מובילי מרכז	*שטח מבוקר (מ"ר) :	3905
מס' חוזה :		עובי שכבה:	60
שם מבנה :	כביש 91	חתכים:	20.120RL- 19.810RL

\*שטח מבוקר יכול לכלול מס' מנות עיבוד יומיות

תאור העבודה	אחריות	שם	חתימה	תאריך
אישור בקרה מוקדמת בהתאם לטופס 7*/8*	בקרת איכות	אולג		17.12.06
קיום אישור לשכבה קודמת	בקרת איכות			
אישור בקרה ויזואלית של השכבה הקודמת	בקרת איכות			
תקינות פנישר, כבלים, מרססת וציוד הידוק	בקרת איכות	אולג		17.12.06
קיום רשימת תוכניות עבודה מעודכנות	בקרת איכות			
ביצוע בדיקות שוטפות - פרק 32/34	בקרת איכות	אולג		17.12.06
בדיקת התאמת מפלס לדרישות המפרט	מודד מוסמך			
בדיקות גליות	בקרת איכות			
בדיקה ויזואלית וגמר	בקרת איכות	אולג		17.12.06

\* מחק את המיותר

מעקב בדיקות שוטפות- פרק 32 + 34			
סוג בדיקה	תעודה מס'	תאריך ביצוע	מעמד החומר
בדיקות אגרגט	לפי דף ריכוז	17.12.06	תקין
בדיקות ביטומן	בדיקת קבלה		
בדיקת תערובת (מרשל)	לפי דף ריכוז	17.12.06	תקין
בדיקות גליות			
גלעינים ( "קורים" )			

מעקב בדיקות שוטפות- פרק 32 + 34				
סוג בדיקה	תעודת ריכוז	מס' תעודה	תאריך ביצוע	מעמד החומר
בדיקות אגרגט	תעודת ריכוז חודשית לאיכות אגריגטים לאספלט			
בדיקות ביטומן	תעודת ריכוז חודשית לבדיקות ביטומן			
בדיקת תערובת	תעודת ריכוז חודשית לתכונות תערובת אספלטית			
בדיקות גליות+ מישוריות השכבה	דו"ח בדיקת גליות/מישוריות			
גלעינים ("קורים")	תעודת ריכוז חודשית לבדיקות צפיפות ועובי גלעינים			
מדידות	דף מדידות			

הערות: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

אישור סופי בקרת איכות

פרברוב אולג		
שם ומשפחה	חתימה	תאריך





**טופס מס' 9 - רשימת תיוג לבקרת איכות לתערובת אספלט במפעל**

מרחב :	צפון	סוג התערובת :	1S בולת*
שם פרויקט:	כביש 91	כמות פיזור:	405.8
שם מנהל הפרויקט:	חב' גאוכום	שכבה:	עליונה
קבלן ראשי:	מובלי המרכז	עובי שכבה דרוש:	50
קבלן מבצע:		שם קבוצת פיזור:	חאתם
מס' חוזה :		תאריך פיזור	18.12.06.
מפעל מייצר:	כנרת	מס' תעודה למערכת תכן :	7/2006

	מנה מס' 1	מנה מס' 2	מנה מס' 3	מנה מס' 4	ממוצע
טמפ' ייצור	160	158			

קו דירוג ותכולת ביטומן												
ממוצע סטיות	מנה מס' 4		מנה מס' 3		מנה מס' 2		מנה מס' 1		סטייה מותרת	קו מאושר	דירוג נפה	
	ערך	סטייה	ערך	סטייה	ערך	סטייה	ערך	סטייה			במ"מ	באינץ'
											37.5	1 1/2"
					0	100	0	100		100	25	1"
					0	95	1	96		95	19	3/4"
					2	83	1	84		85	12.5	1/2"
					1	69	0	70		70	9.5	3/8"
					1	36	1	36		37	4.75	#4
					1	24	1	22		23	2	#10

					1	12	1	14		13	0.85	#20
					1	9	0	10		10	0.425	#40
					0	7	1	8		7	0.18	#80
					0.3	5.8	0.5	6.0		5.5	0.075	#200
					0	4.3	0	4.3		4.3	תכולת ביטומן (%)	

תכונות תערובת	ערך דרוש	מס' מנה 1	מס' מנה 2	מס' מנה 3	מס' מנה 4	ממצוע
צפיפות (ק"ג/מ"ק)		2354	2352			
יציבות (ליב')		2840	2810			
נזילות ("0.01)		10	11			
חוזק משתייר (%)		89.				
אחוז חלל (%)		6.3	6.4			
VMA (%)		16.3	16.3			

**הערות:** \*- תערובת נכללת חול בזלתי ואפר פחם במקום מלאן רגיל



## טופס מס' 10 - רשימת תיוג לביצוע עבודות אספלט באתר

מרחב :	צפון	מפעל מייצר וסוג התערובת	כנרת
שם פרויקט:	כביש 91	שם קבוצת הפיזור	חאתם
שם מנהל הפרויקט:	חב' גאוכום	שכבה מס':	עליונה
שם הקבלן :	מובילי מרכז	*שטח מבוקר (מ"ר) :	3309
מס' חוזה :		עובי שכבה:	50
שם מבנה :	כביש 91	חתכים:	20.120RL- 20.335RL

\*שטח מבוקר יכול לכלול מס' מנות עיבוד יומיות

תאור העבודה	אחריות	שם	חתימה	תאריך
לפני ביצוע	אישור בקרה מוקדמת בהתאם לטופס 7* / 8*	אולג		18.12.06
	קיום אישור לשכבה קודמת			
	אישור בקרה ויזואלית של השכבה הקודמת			
	תקינות פנישר, כבלים, מרססת וציוד הידוק	אולג		18.12.06
	קיום רשימת תוכניות עבודה מעודכנות			
במהלך הביצוע	ביצוע בדיקות שוטפות - פרק 32 / 34	אולג		18.12.06
	בדיקת התאמת מפלס לדרישות המפרט			
	בדיקות גליות			
	בדיקה ויזואלית וגמר	אולג		18.12.06

\* מחק את המיותר

מעקב בדיקות שוטפות- פרק 32 + 34			
סוג בדיקה	תעודה מס'	תאריך ביצוע	מעמד החומר
בדיקות אגרגט	לפי דף ריכוז	17.12.06	תקין
בדיקות ביטומן	בדיקת קבלה		
בדיקת תערובת (מרשל)	לפי דף ריכוז	18.12.06	תקין
בדיקות גליות			
גלעינים ( "קורים" )			

מעקב בדיקות שוטפות- פרק 32 + 34				
סוג בדיקה	תעודת ריכוז	מס' תעודה	תאריך ביצוע	מעמד החומר
בדיקות אגרגט	תעודת ריכוז חודשית לאיכות אגריגטים לאספלט			
בדיקות ביטומן	תעודת ריכוז חודשית לבדיקות ביטומן			
בדיקת תערובת	תעודת ריכוז חודשית לתכונות תערובת אספלטית			
בדיקות גליות+ מישוריות השכבה	דו"ח בדיקת גליות/מישוריות			
גלעינים ("קורים")	תעודת ריכוז חודשית לבדיקות צפיפות ועובי גלעינים			
מדידות	דף מדידות			

הערות: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

אישור סופי בקרת איכות

פרברוב אולג		
שם ומשפחה	חתימה	תאריך



**טופס מס' 9 - רשימת תיוג לבקרת איכות לתערובת אספלט במפעל**

מרחב :	צפון	סוג התערובת :	1S בולת*
שם פרויקט:	כביש 91	כמות פיזור:	444.2
שם מנהל הפרויקט:	חב' גאוכום	שכבה:	עליונה
קבלן ראשי:	מובלי המרכז	עובי שכבה דרוש:	62
קבלן מבצע:		שם קבוצת פיזור:	חאתם
מס' חוזה :		תאריך פיזור	19.12.06.
מפעל מייצר:	כנרת	מס' תעודה למערכת תכן :	7/2006

מנה מס' 1	מנה מס' 2	מנה מס' 3	מנה מס' 4	ממוצע	
162	159				טמפ' ייצור

קו דירוג ותכולת ביטומן												
ממוצע סטיות	מנה מס' 4		מנה מס' 3		מנה מס' 2		מנה מס' 1		סטייה מותרת	קו מאושר	דירוג נפה	
	ערך	סטייה	ערך	סטייה	ערך	סטייה	ערך	סטייה			במ"מ	באינץ'
											37.5	1 1/2"
					0	100	0	100		100	25	1"
					1	94	2	93		95	19	3/4"
					1	84	2	83		85	12.5	1/2"
					1	71	2	68		70	9.5	3/8"
					2	39	1	36		37	4.75	#4
					1	24	1	24		23	2	#10

					0	13	1	14		13	0.85	#20
					2	8	1	9		10	0.425	#40
					1	6	0	7		7	0.18	#80
					0	5.5	0.2	5.7		5.5	0.075	#200
					0	4.3	0	4.3		4.3	תכולת ביטומן (%)	

תכונות תערובת	ערך דרוש	מס' מנה 1	מס' מנה 2	מס' מנה 3	מס' מנה 4	ממצוע
צפיפות (ק"ג/מ"ק)		2356	2351			
יציבות (ליב')		2885	2835			
נזילות (0.01")		12	11.5			
חוזק משתייר (%)		90				
אחוז חלל (%)		6.5	6.6			
VMA (%)		16.4	16.3			

**הערות:** \*- תערובת נכללת חול בזלתי ואפר פחם במקום מלאן רגיל



**טופס מס' 10 - רשימת תיוג לביצוע עבודות אספלט באתר**

מרחב :	צפון	מפעל מייצר וסוג התערובת	כנרת
שם פרויקט:	כביש 91	שם קבוצת הפיזור	חאתם
שם מנהל הפרויקט:	חב' גאוכום	שכבה מס':	עליונה
שם הקבלן :	מובילי מרכז	*שטח מבוקר (מ"ר) :	3024
מס' חוזה :		עובי שכבה:	60
שם מבנה :	כביש 91	חתכים:	20.575RL- 20.335RL

\*שטח מבוקר יכול לכלול מס' מנות עיבוד יומיות

תאור העבודה	אחריות	שם	חתימה	תאריך
לפני ביצוע	אישור בקרה מוקדמת בהתאם לטופס 7* / 8*	אולג		19.12.06
	קיום אישור לשכבה קודמת			
	אישור בקרה ויזואלית של השכבה הקודמת			
	תקינות פנישר, כבלים, מרססת וציוד הידוק	אולג		19.12.06
	קיום רשימת תוכניות עבודה מעודכנות			
במהלך הביצוע	ביצוע בדיקות שוטפות - פרק 32 / 34	אולג		19.12.06
	בדיקת התאמת מפלס לדרישות המפרט			
	בדיקות גליות			
	בדיקה ויזואלית וגמר	אולג		19.12.06

\* מחק את המיותר

מעקב בדיקות שוטפות- פרק 32 + 34			
סוג בדיקה	תעודה מס'	תאריך ביצוע	מעמד החומר
בדיקות אגרגט	לפי דף ריכוז	17.12.06	תקין
בדיקות ביטומן	בדיקת קבלה		
בדיקת תערובת (מרשל)	לפי דף ריכוז	19.12.06	תקין
בדיקות גליות			
גלעינים ( "קורים" )			

מעקב בדיקות שוטפות- פרק 32 + 34				
סוג בדיקה	תעודת ריכוז	מס' תעודה	תאריך ביצוע	מעמד החומר
בדיקות אגרגט	תעודת ריכוז חודשית לאיכות אגריגטים לאספלט			
בדיקות ביטומן	תעודת ריכוז חודשית לבדיקות ביטומן			
בדיקת תערובת	תעודת ריכוז חודשית לתכונות תערובת אספלטית			
בדיקות גליות+ מישוריות השכבה	דו"ח בדיקת גליות/מישוריות			
גלעינים ("קורים")	תעודת ריכוז חודשית לבדיקות צפיפות ועובי גלעינים			
מדידות	דף מדידות			

הערות:

אישור סופי בקרת איכות

פרברוב אולג		
שם ומשפחה	חתימה	תאריך





טופס מס' 12 - רשימת תיוג למפעל אספלט

מרחב- צפון שם הפרויקט- כביש 91 שם המפעל- כנרת סוג התערובת- PG-70-10

תאריך ביקור	בדיקה ויזואלית ערמות אגרגטים ושילוט הפרדה	תוצאות בדיקות מעבדה יומיות		אישור ת"ת מעודכן, מיכשו ר, ציוד מעבדה ותאריכי כיול	פלט מחשב טמפ' תערובת אגרגטים ביטומן	פלט מחשב שקילות אגרגטים וחול מחצבה*	בחינה ויזואלית של התערובת	נקיין משאיות הובלה	תקינות מערכות מפעל ויציאת עודפים	ליקויי בטיחות	הערות
		כמות נדרשת	איכות נדרשת								
7.12.06	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	
10.12.06	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	
11.12.06	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	
12.12.06	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	
17.12.06	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	
18.12.06	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	
19.12.06	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	
תקין		לא תקין		פרברוב אולג		19.12.06					
תקינות		שם בקר האיכות		חתימה		תאריך					

\* הערה – בדיקת שקילת מלאן אפר פחם על מנת לוודא שבתערובת הוכנס מלאן אפר פחם ולא מלאן רגיל

טופס מס' 12 - רשימת תיוג למפעל אספלט

מרחב- צפון שם הפרויקט- כביש 91 שם המפעל- כנרת סוג התערובת- PG-70-10

תאריך ביקור	בדיקה ויזואלית ערמות אגרגטים ושילוט הפרדה	תוצאות בדיקות מעבדה יומיות		אישור ת"ת מעודכן, מיכשו ר, ציוד מעבדה ותאריכי כיוול	פלט מחשב טמפ' תערובת אגרגטים ביטומן	פלט מחשב שקילות אגרגטים וחול מחצבה*	בחינה ויזואלית של התערובת	נקיון משאיות הובלה	תקינות מערכות מפעל ויציאת עודפים	ליקויי בטיחות	הערות
		כמות נדרשת	איכות נדרשת								
7.12.06	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	
10.12.06	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	
11.12.06	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	
12.12.06	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	
17.12.06	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	
18.12.06	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	
19.12.06	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	תקין	
<b>תקין</b>		<b>לא תקין</b>		<b>פרברוב אולג</b>				<b>19.12.06</b>			
<b>תקינות</b>		<b>שם בקר האיכות</b>		<b>חתימה</b>		<b>תאריך</b>					

\* הערה – בדיקת שקילת מלאן אפר פחם על מנת לוודא שבתערובת הוכנס מלאן אפר פחם ולא מלאן רגיל

**טופס מס' 8.4 - ריכוז בקרת איכות לתערובות אספלט**  
**מפעל: פוריה**      **סוג תערובת: "S 1"**      **בזלת (חול בזלתי ואפר פחם)**  
**סוג הביטומן: PG70 – 10**      **חודש: דצמבר**  
**כביש: 91**      **מזמין: מע"צ**      **מבדקה מבצעת: עצמי**

קו דרוג (% עובר)											כמות  (טון)	תאריך ייצור	
#200	#80	#40	#20	#10	#4	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1.5"			
5.5	7	10	13	23	37	70	85	95	100		תכונות נדרשות עפ"י מערכת מרשל		
5.4	6	8	12	21	40	69	83	94	100		719.7	7.12.06	
5.7	7	9	12	24	39	71	83	93	100			7.12.06	
5.4	6	8	11	21	35	69	83	95	100		520.6	10.12.06	
5.6	7	9	12	22	39	71	84	94	100			10.12.06	
5.6	6	8	12	21	40	68	83	94	100		594	11.12.06	
5.7	7	9	12	22	39	71	86	96	100			11.12.06	
5.8	7	9	13	22	38	68	84	95	100		516.8	12.12.06	
5.7	7	10	14	24	39	71	83	97	100			12.12.06	
5.6	6	8	12	22	39	69	82	93	100		542.4	17.12.06	
5.6	7	9	12	22	36	70	83	95	100			17.12.06	
6	6	10	14	22	36	70	84	96	100		405.8	18.12.06	
5.8	7	9	12	24	36	69	83	95	100			18.12.06	
5.7	7	9	14	24	36	68	83	93	100		444.2	19.12.06	
5.5	6	8	13	24	39	71	84	94	100			19.12.06	
V M A	צפיפות אפיקטיבית (ק"ג/מ"ק)		אחוז חלל (%)	נזילות  (0.01")	משת"ר 144 שעות (%)	משת"ר 74 שעות (%)	חוזק משת"ר (%)	יציבות  (ליבר)	צפיפות מעבדה (ק"ג/מ"ק)	תכולת ביטומן (%)	כמות  (טון)	תאריך ייצור	
										4.3			
16.4	2.69		6.2	12.5	84	87	90	2.515	2.352	4.4	719.7	7.12.06	
16.3	2.69		6.2	12				2.520	2.354	4.4		7.12.06	
16.4	2.69		6.5	13			89	2.545	2.350	4.3	520.6	10.12.06	
16.3	2.69		6.4	13.5				2.550	2.353	4.3		10.12.06	
16	2.70		6.3	12	80	84	90	2.695	2.353	4.4	594	11.12.06	
16.4	2.70		6.6	12.5				2.545	2.354	4.4		11.12.06	
16.4	2.69		6.6	13			89	2.495	2.351	4.3	516.8	12.12.06	
16.3	2.69		6.4	13.5				2.510	2.353	4.3		12.12.06	
16.3	2.69		6.5	11.5			91	2.710	2.353	4.3	542.4	17.12.06	
16.2	2.69		6.4	11				2.725	2.355	4.3		17.12.06	
16.3	2.69		6.3	10			89	2.840	2.354	4.3	405.8	18.12.06	
16.3	2.69		6.4	11				2.810	2.352	4.3		18.12.06	
16.4	2.69		6.5	12			90	2.885	2.356	4.3	444.2	19.12.06	
16.3	2.69		6.6	11.5				2.835	2.351	4.3		19.12.06	

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



## **המפרט הכללי לעבודות סלילה וגישור**

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

**עדכון : מרס 2008**

**מהדורה ראשונה**

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 לייצור תערובות אספלטיות ועל הקבלן לנקוט בכל האמצעים הנדרשים כדי למנוע כניסת מלאן בזלתי לתערובת.

עמוד מס' 25 מתוך 119 עמודים

**טבלה 051.04.02.02: תחומי הדירוג (באחוזי משקל) של מקטעי אגרגאטים חד-גרגריים גסים (המשך)**

ממדי האגרגאט					כינוי האגרגאט הגס	
מ"מ 9.5-4.75 (#4 - 3/8")	מ"מ 12.5-9.5 (3/8" - 1/2")	מ"מ 19-12.5 (3/4" - 1/2")	מ"מ 25-19 (1" - 3/4")	מ"מ 37.5-25 (1.5" - 1")	נפה [מס']	נפה [מ"מ]
		100	100-85	30-0	(1")	25.0
	100	100-85	20-0	5-0	(3/4")	19.0
100	100-85	20-0	5-0		(1/2")	12.5
100-85	20-0	5-0			(3/8")	9.5
20-0	5-0				(#4)	4.75
5-0					(#10)	2.0

051.04.02.02.03 המזמין רשאי לשנות את תחומי הדירוג המצויינים לעיל בכל עת בטרם ביצוע עבודת הייצור של האספלט בפועל, ויהא רשאי לעשות כן גם לבקשת הקבלן בתנאי שהיצרן יוכיח יכולתו לייצר תערובות אספלטיות העומדות בכל דרישות המפרט והתקנים הענייניים עם אגרגאטים בהרכב שונה, ויצויג נוהלי עבודה ושיטות בדיקה לאימות אחידות הייצור, לשביעות רצונו של מנהל הפרויקט.

#### **051.04.02.03 אגרגאט בזלתי**

051.04.02.03.01 בכל מקרה בו נדרשת תערובת אספלטית בזלתית, ייוצר האספלט עם אגרגאט גס, גדול מנפה 4.75 מ"מ (נפה #4), סוג א', ממקור מינרולוגי בזלתי. במקרה זה מותר שעד 5% ממשקל האגרגאטים בכלל התערובת יהיה ממקור גירי/דולומיטי.

051.04.02.03.02 תערובת עם אגרגאט גס בזלתי משני מקורות כרייה שונים תאושר בתנאים הבאים:

- ככלל, יהיה כל מקטע ממקור אספקה אחד.
- הבדל הספיגויות בין האגרגאטים מהמקורות השונים לא יעלה על 1.0%;
- ההזנה תהיה מבוקרת ותעשה מתאי הזנה קרים נפרדים (ראו סעיף 051.04.08.08.02 ד'2).

#### **051.04.02.04 אגרגאט דק (עובר נפה 4.75 מ"מ/נפה #4)**

051.04.02.04.01 האגרגאט הדק יהיה חול מחצבה גרוס מאבן גיר, או מאבן דולומיט, או מצרורות נחל גרוסים (של אבן גיר או דולומיט). האגרגאט העובר נפה 4.75 מ"מ (נפה #4) ומשתייך על נפה 2 מ"מ (נפה #10) יכול להכיל שילוב של אגרגאט בזלתי עם אגרגאט גירי או דולומיטי.

051.04.02.04.02 האגרגאט הדק יעמוד בתכונות הבאות (הדרישות מתייחסות לחומר לפני כניסתו לתוף הייבוש):

- מאפיין הפלסטיות: - לא פלסטי (N.P).
- שווה ערך חול: - מינימום 50%.



עמוד מס' 26 מתוך 119 עמודים

ג. תכולת בולי חרסית: - מכסימום 0.5%.

051.04.02.04.03 טבלה 051.04.02.03 להלן מציגה את תחום הדירוג (באחוזי משקל) של ההרכב הגרגירי באגרגאט הדק:

טבלה 051.04.02.03: תחום הדירוג של האגרגאט הדק

ממדי גרגר					מאפיינים
0.075	0.180	0.425	2.00	4.75	נפה [מ"מ]
#200	#80	#40	#10	#4	נפה [מס']
25-5	40-20	55-33	100-65	100	% עובר

051.04.02.04.04 המזמין רשאי לשנות את תחומי הדירוג המצויינים לעיל בכל עת בטרם ביצוע עבודת הייצור של האספלט, בפועל, ויהא רשאי לעשות כן גם לבקשת הקבלן, אם היצרן יוכיח יכולתו לייצר תערובות אספלטיות העומדות בכל דרישות המפרט עם אגרגאטים בדירוג שונה, ויצוג לאישור מנהל הפרויקט נוהלי עבודה ושיטות לאימות אחידות הייצור ועמידת התערובות המתקבלת תוך שימוש בו, ובכל יתר דרישות המפרט.

#### 051.04.02.05 מלאן

051.04.02.05.01 המלאן יהיה מוצר המתקבל על-ידי טחינת אבן גיר/דולומיט, העובר כולו דרך נפה 0.425 מ"מ (נפה #40).

051.04.02.05.02 ניתן להפריד את המלאן לשני מקטעי ביניים - מלאן גס ומלאן דק. לפחות 65% (במשקל) מהמלאן הדק עובר דרך נפה 0.075 מ"מ (נפה #200).

051.04.02.05.03 המלאן יהיה יבש ונקי מפסולת, לכולך או פיה שנוצר משריפה לא יעילה של חומר הדלק בתנור הייבוש.

#### 051.04.02.06 מלאן ממקור תעשייתי

ניתן להשתמש במלאן ממקור תעשייתי על-פי אישור מיוחד של מעצ/אגף מו"פ. לשם כך על הקבלן להציג, על חשבונו, ממצאי בדיקות מיוחדות נוספות שיידרשו על ידי מעצ/אגף מו"פ.

#### 051.04.02.07 אגרגאט ממרכיב שונה

051.04.02.07.01 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 מעצ/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 לייצור תערובות אספלטיות ועל הקבלן לנקוט בכל האמצעים הנדרשים כדי למנוע כניסת מלאן בזלתי לתערובת.

## 10.00 רשימת מראי מקום

### 1) Mechanistic Evaluation of Fly Ash Asphalt Concrete Mixtures

by N. Ali, (Assoc. Prof., Dept. of Civ. Engrg., Tech. Univ. of Nova Scotia, P.O. Box 1000 , Halifax, Nova Scotia, B3J 2X4, Canada), J.S. Chan, (Res. Dir., Transp Ctr., Univ. of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, S7N OWO, Canada), S. Simms, (Res. Engr., Dept. of Civ. Engrg., Tech. Univ. of Nova Scotia, P.O. Box 1000 , Halifax, Nova Scotia, Canada), R. Bushman, (Res. Asst., Transp. Ctr. Univ. of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, Canada), and A. T. Bergan, (Prof., Dept. of Civ. Engrg., Univ. of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, Canada)

Journal of Materials in civil Engineering, Vol. 8, No. 1, February 1996, pp. 19-25 , ([doi](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(1996)8:1(19)) 10.1061/(ASCE)0899-1561(1996)8:1(19))

2) Ali, N., Chan, J.S., Bushman, R. and Bergan A.T. (1996). " Mechanistic Evaluation of Fly Ash Asphalt Concrete Mixtures." Journal of Materials in Civil Engineering, 8(1), 19-25.

3) Bituminous coal fly ash. A filler for asphalt highway construction. Fuel and Energy Abstracts, volume 38, issue 4, July 1997, p. 230.

4) Churchill, E.V. and Amirkhanian, S.N. (1999). "coal ash utilization in asphalt concrete mixtures." Journal of Materials in civil Engineering, 11(4), 295-301.

5) Suheibani, Abdoul- Rahman Saleh., 1986. Use of fly ash as an asphalt extender in asphalt concrete mixes. Ph. D., thesis. University of Michigan. Ass Arbor, MI.

6) Rosner, John C., James G. Chehovits, and Gene R. Morris. Fly Ash as a Mineral Filler and Anti- Strip Agent For Asphalt Concrete. U.S. Department of Energy, Report No. DOE/METC/82/52, Volume 1, Washington, DC, 1982.

7) Use of Coal Fly Ash in Asphalt Concrete Mixes. By Scott A. Simms. DALHOUSIE UNIVERSITY – DALTECH. Halifax Nova Scotia, 1998.

8) Sustainable Construction Case History: Fly Ash Stabilization of Recycled Asphalt Pavement Material. Lin Li – Craig H. Benson – Tuncer B. Edil – Bulent-Hatipoglu.



- 9)** Majidzadeh, K., "Executive Summary – Plant Bottom Ash in Black Base and Bituminous Surfacing. " FHWA Report No. FHWA-RD-79-72, September 1979.
- 10)** Cross, S. A., and Fager, G. A., "Fly Ash in Cold Recycled AC Pavements", presented at the 73<sup>rd</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D. C., 1994.
- 11)** THE USE OF FLY ASH AS AN ASPHALT EXTENDER IN ASPHALT CONCRETE MIXES by SUHEIBANI, ABDUL- RAHMAN SALEH, Ph.D., University of Michigan, 1986, AAT 8702839.
- 12)** EVALUATION OF FLY ASH SOURCES FOR USE AS MINERAL FILLER IN HOT MIX ASPHALT. Report Prepared for American Coal Ash Association, Inc. L. Allen Cooley Jr. and Michael H Huner.
- 13)** Rigden, P.J. "The Use of Fillers in Bituminous Road Surfacing – A Study of Filler-Binder Systems in Relation to Filler Characteristics," J. Soc. Che. Ind. 66, 1947.
- 14)** Utilisation of Coal Ashes in Hot and Cold Bituminous Mixtures. I. N. A. Thanaya , S. E. Zoorob , J. P. Forth. Civil Engineering Department, udayana University, Bali, Indonesia. Research Fellow at the School of Civil Engineering, University of Leeds, UK. E-mail: I.N.A.Thanaya@leeds.ac.uk; School of Civil Engineering, University of Leeds, UK. E-mail: J.P.Forth@leeds.ac.uk;
- 15)** The application of the European standard for fly ash bound Mixtures for major highway Pavements in the UK. John Kennedy. John Kennedy Consulting, 18 Claremont Road, Marlow, Bucks SL7 1BW.
- 16)** Cooley. Jr., L.A., M. Stroup-gardiner, D.I. Hanson, and M.O. Flercher, "Characterization of Asphalt-Filler Mortars With Super pave Binder Tests", Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, Oreprint, Session I, Annual Meeting and Technical Sessions, March 16-18, 1998.
- .....