

## הערכת המקטע הדק באפר פחם תחתית לשימוש כמרכיב אגרגטי בתערובות

### אספלטיות חמות לסלילה –

### חקירת המשך, חלק ראשון: תכונות בסיסיות.

פרופ' אילן ישי, 2009

דר' אילן ישי – תשתיות תחבורתיות

חקירה זו שלבית המשלימה חקירת היתכנות מקדימה<sup>1</sup> להערכת השימוש באפר תחתית דק כתחליף לאגרגטים בתערובות אספלטיות חמות לסלילה. השלב הנוכחי נועד לבחון את ההיתכנות גם בתנאים של עומסי הידוק גבוהים בתערובות אספלטיות חמות מסוג SHRP ( Strategic Highway Research Project) הנפוצות כיום בארץ ומתאימות לתערובות תא"מ (תערובת אספלט מבנית) "S". לשם הדמיית תנאי עמיסות גבוהה הודקו התערובות ב-75 הקשות לכל צד. תכונות התערובות נבחנו גם לאחר הוספת אפר מרחף כמלאן ונבחנה הרגישות לסטיות בתכולת המלאן. בשלב מחקר זה בוצע אפיון לחומרי הגלם (אפר התחתית כמחליף אגרגט ואפר מרחף כמלאן, אגרגט דולומיט ממחצבת מדן וביטומן מסוג PG 68-10) ולתערובות האספלטיות (תא"מ-S, 19, גודל גרגר מכסימלי של 19 מ"מ) בעזרת בדיקות פיסיקליות הנדסיות תקניות להערכת התכונות התפקודיות והמכניות של המרכיבים והתערובות במצב ראשוני ובתנאי קיים מואצים. אפיון אפר התחתית כלל בדיקות אחוז עובר נפה במקטעי גודל תקינים, תכולת רטיבות, ש.ע.ח. (שווה ערך חול), גבולות אטרברג, צפיפות וספיגות. אפיון האגרגט כלל בנוסף לבדיקות אלה, גם בדיקות פחיסות ומאורכות. כן נערכו בדיקות לביטומן. תערובות האספלט נבדקו במערכות מרשל תקניות, וכללו תוספת אפר תחתית של 0% (בקה), 5%, 10% ו-20%, לשם קביעת השפעת האפר על התכונות המיידיות של התערובות. מערכות המרשל כללו בדיקות צפיפות, יציבות, נזילות, חוזק משתייר, צפיפות תיאורטית, אחוז חלל, צפיפות משוקללת ו-VMA (אחוז חלל באגרגט, voids in the mineral aggregate).

הממצאים, המגמות והמסקנות שנתקבלו ממכלול הבדיקות ניתנים לסיכום בנקודות הבאות:

1. בחינת מרכיבי התערובות: אפר התחתית שנכלל בחקירה הינו בעל גודל גרגר מכסימאלי של כ-5 מ"מ. צפיפותו הממשית הממוצעת הינה נמוכה, וההבדל בינה לבין הצפיפות הנדמית הממוצעת מתבטא בספיגות גבוהה למים בשיעור של כ-14%. אפר התחתית עשיר יחסית במלאן, בתכולה של כ-20%. האפר הינו בלתי פלסטי ובעל שווה ערך חול גבוה בשיעור של 60%. אגרגט הדולומיט עונה לדרישות ת"י 8 עבור אגרגטים לתערובות אספלטיות וכן לדרישות המפרט הבין משרדי פרק 51 והמפרט לסלילה של מע"צ לתערובות אספלטיות סוג א'. הביטומן האספלטי עומד בכל הקריטריונים בסיווג PG 68-10.

2. באופן כללי, להוציא סוגיית אחוז החלל בתערובת, כל התערובות האספלטיות הכוללות אפר תחתית בתכולות שונות, עונות על כל הקריטריונים הנדרשים בתערובות אספלטיות סוג א'.

<sup>1</sup> אילן ישי וגלי ישראל, 2006, המכון לחקר התחבורה, הטכניון.

לסלילה. תערובות אלה, בתחום רחב של תכולת ביטומן, מציגות ערכים נאותים וגבוהים של צפיפות, יציבות, נזילות וחוזק משתייר. בהשוואה כללית בין התערובות השונות, ניתן לראות את ההבדל ההדרגתי בכל תכונות התערובת בין תערובות הבקרה לבין התערובות המכילות אפר תחתית בשיעורים עולים משתנים. בהקשר זה ניתן לראות את העלייה היחסית בתכולת הביטומן הנגרמת עם העלייה בתכולת אפר התחתית בתערובת. כמו כן, ניתן לראות את הקפיצה הגדולה יחסית בתכולת הביטומן האופטימאלית שחלה במעבר בין 10% ל- 20% בתכולת האפר.

3. מתוצאות החקירה מתקבלות המגמות הבאות עם עלייה בתכולת אפר התחתית בתערובת:

- ירידה בצפיפות התערובת;
- ירידה ביציבות התערובת (רק בתכולה של 20% אפר);
- שמירה על תחום קבוע בערכי אחוז החלל ובערכי הנזילות;
- עלייה באחוז החלל בתערובת יבשה (VMA) (רק בתכולה של 20% אפר).

4. באשר ליחסי אחוז חלל – תכולת ביטומן, התוצאות מורות כי אכן חלה עלייה עקבית בתכולת הביטומן האופטימאלית עם עלייה בתכולת אפר התחתית בתערובת. מתקבל כי עד 10% אפר העלייה מתונה על פי שני הקריטריונים, כאשר בהתחשב בקריטריון התקני של אחוז החלל ערכי תכולת הביטומן האופטימאלית נמוכים יותר מאלה המסתמכים על קריטריון מכסימום היציבות. עלייה משמעותית ביותר בתכולת הביטומן חלה בתכולת אפר תחתית של 20% וזאת עבור שני הקריטריונים. המשתמע הוא כי עד תכולה של 10% אפר תחתית ניתן להמשיך ולהתבסס על קריטריון אחוז החלל, כאשר מתקבלת עלייה של 1.5% בלבד בתכולת הביטומן האופטימאלית בהשוואה לתערובת הבקרה התקנית.

5. בהשוואה לתוצאות החקירה הראשונית, מתקבל כי חקירת ההמשך הנוכחית מאופיינת בהשתנות מתונה יותר בערבים המוחלטים של אחוז החלל. הדבר נובע הן מתחומי אחוז החלל הגבוהים יותר בתערובות תא"מ בהשוואה לתערובות הצפופות שנבדקו בחקירה הראשונית. כמו כן, נובעת מגמה זו מאנרגיית ההידוק הגבוהה יותר שאומצה בחקירה ההמשך.

6. ממצאים ומסקנות אלה מצביעים, בדומה לממצאי החקירה הראשונית, כי למרות ההשפעה הרבה שיש לתכולת אפר התחתית על תכונות התערובת האספלטית, היא איננה דרמטית והרסנית אלא הדרגתית תוך שמירת תכונות התערובת בקריטריונים המקובלים. גם הגדלת תכולת הביטומן, בתנאי אופטימום הנקבעים לפי הקריטריון התקני של חציון אחוז החלל, מתונה, ובתכולת אפר תחתית של עד 10% היא סבירה גם מהבחינה הכלכלית.

לסיכום, לאור הממצאים לעיל, ניתן להגדיר גם את תוצאות חקירת ההמשך כחיוביות ביחס להשפעת תוספת מדודה של אפר תחתית (עד 10%) לתערובות אספלטיות רגילות.