

הערכת המקטע הדק באפר פחם תחתית לשימוש כמרכיב אגרגטי בתערובות

אספלטיות חמות לסלילה –

חקירת המשך, חלק שני: התנגדות לנזקי מים, החלקה וחריצה.

פרופ' אילן ישי, 2011

דר' אילן ישי – תשתיות תחבורתיות

שלב שני בחקירת המשך בעקבות חקירת היתכנות מקדימה¹ להערכת השימוש באפר תחתית דק כתחליף לאגרגטים בתערובות אספלטיות חמות לסלילה. בשלב ראשון² נבחנה היתכנות השימוש באפר תחתית בתערובות אספלטיות חמות מסוג SHRP בעומסי הידוק גבוהים. בשלב הנוכחי נבחנו ביצועי התערובות בתכולה נבחרת של אפר תחתית בשיעור 10%, ובתכולת הביטומן האופטימאלית לגבי ההתנגדות לנזקי מים, להחלקה ולחריצה. מאחר ואפר התחתית שסופק לחלק השני בחקירת המשך היה שונה מזה שסופק לחלק הראשון, בעיקר בערכי המשקלים היחסיים המתבטאים בספיגות למים (14% בחלק הראשון לעומת 3.7% בחלק השני), בוצעה מערכת מרשל מלאה חוזרת – על תערובת הבקרה ללא אפר ותערובת המכילה אפר (כאמור בשיעור 10%).

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

1. בחלק השני של חקירת המשך נבחרה תערובת המכילה כאמור 10% אפר תחתית. תערובת זו ניתן להשוות עם תערובת הבקרה שבוצעה בחלק הראשון של חקירת המשך. באופן כללי התקבל כי לתערובת זו תכונות מיכניות נאותות המתבטאות ביציבויות גבוהות ותקינות ובערכי נזילות המצויים בתחום הנדרש. כמובן, תערובת אפר הפחם מאופיינת בחללים גדולים ורבים יותר, דבר המתבטא בערכי אחוז חלל וערכי VMA גבוהים יותר ובצפיפות נמוכה יותר. מבחינת תכולת הביטומן האופטימאלית, בהתאם לקריטריון חציון אחוז החלל, שיעור תכולה זו בתערובת עם האפר נקבע ל- 6.5% ובתערובת הבקרה נקבע ל- 5%. בתכולת אלה בוצעו בדיקות המשך בהשריה ממושכת, חיכוך וניסיון הגלגל הנע.

2. במטרה לבחון את כושר ההתנגדות לנזקי מים בהשריה חמה ממושכת של תערובות המכילות אפר תחתית, מדגמים של תערובות תא"מ 19 מ"מ עם וללא אפר, בתכולת ביטומן אופטימאלית, נבדקו לחוזק משתייר לאחר השרייה במים ב- 60°C מיידית (30 דקות השרייה), ולאחר 1, 6 ו- 14 ימי השרייה. התוצאות הושוו עם ניסיונות השרייה ממושכת בתנאים דומים שנערכו בעבר בארץ בתערובות אספלטיות צפופות עם סוגי אגרגט ומלאן שונים. בהשוואת מאפייני הקיים של תערובת אפר התחתית, התקבל כי התנהגותה בתכולת ביטומן אופטימאלית דומה ביותר לאגרגט הדלומיט הנקי. חוזקה המשתיייר של תערובת זו לאחר 14 יום מגיעה במוצע ל- 91.1% לעומת 89.5% בתערובת הדלומיט. המשמעות היא כי תערובות אספלטיות המכילות אפר תחתית במינון

¹ אילן ישי וגלי ישראל, 2006, המכון לחקר התחבורה, הטכניון

² חלק ראשון: תכונות בסיסיות, אילן ישי, 2009

מוגבל, מציגות התנגדות גבוהה לנזקי מים וטמפ', בדומה לתערובות אספלטיות רגילות המורכבות מאגרגטים קרבונטיים בלבד.

3. ערכי ההתנגדות להחלקה של תערובת האפר ותערובת ההדבקה נבדקו בפלטות מהודקות ע"י המטוטלת הבריטית. הערכים המוחלטים של מקדמי החיכוך שנתקבלו על משטחי שתי התערובות האספלטיות שנבדקו ברטוב, היו גבוהים ביותר בהשוואה לערכי קריטריונים מקובלים. לא נמצא הבדל משמעותי בערכי החיכוך ברטוב בין פלטות תערובת האפר לבקרה.

4. בניסיון החריצה שבוצע בעזרת גלגל נע, נתקבל הבדל קטן יחסי בערכי החריצה לטובת תערובת הבקרה ללא אפר תחתית, בהשוואה לתערובת אספלטית המכילה 10% אפר תחתית. למרות זאת, לאחר כחצי מיליון מחזורי עמיסת גלגל, שיעורי החריצה המצטברים של שתי התערובות היו באותו סדר גודל בין 0.8-1 מ"מ. הערכים המוחלטים של שיעורי החריצה היו נמוכים ביותר בהשוואה לערכים מבדיקות דומות שבוצעו במחקרים רבים על תערובות אספלטיות רגילות באותו המכשיר, בהם נתקבלו ערכי חריצה בין 1 ל-4 מ"מ לאחר מספר מחזורים דומה. המסקנה היא שלמרות ששיעורי החריצה של תערובות אפר התחתית היו גבוהים במעט מאלו של תערובת הבקרה, הם עדיין נמוכים ביותר בערכם המוחלט ומצביעים על התנגדות גבוהה לדפורמציה משתיירת.

5. לאור ממצאי המחקר הנוכחי והמחקר הכללי בנושא אפר תחתית בתערובות אספלטיות, תערובות האספלטיות המכילות אפר תחתית בתכולות שונות ובדירוגים שונים (צפיפות ותא"מ), עונות לדרישות תערובות סוג א' לסלילה. תערובות אלה, בתחום רחב של תכולת ביטומן, מציגות ערכים נאותים וגבוהים של צפיפות, יציבות, נזילות וחוזק משתייר. גם בבדיקות הנוספות המתייחסות להתנגדות לנזקי רטיבות, התנגדות להחלקה ברטוב, והתנגדות לחריצה, תערובות המכילות 10% אפר תחתית עומדות יפה בכל הדרישות, בדומה לתערובות אספלטיות רגילות.

6. החיסרון היחיד המסתמן קשור לתכולת הביטומן האופטימאלית הגבוהה יחסית של תערובות אפר הפחם, שנקבעה בהתאם לקריטריון אחוז החלל (תכולה זו זהה לקריטריון מכסימום יציבות). לגורם זה השפעה כלכלית בלבד שיש לבחון אותה בהקשר ליחסי מחיר האפר ומחירי המרכיבים המוחלפים ולתרומה הסביבתית במיחזור חומרי לוואי והחלפת חומרי חציבה טבעיים.

לסיכום, לאור ממצאים אלה, ניתן בהחלט להגדיר גם את תוצאות החלק השני של חקירת ההמשך ביחס להשפעה ההנדסית של תוספת מדודה של אפר פחם תחתית (עד 10%) לתערובות אספלטיות רגילות כחיוביות, גם ולהמליץ על מעבר לניסויי שדה.