

עירוב אגרגטים ממקורות שונים בתערובות אספלט וההשפעה על מקדם החיכוך בכבישים

שמעון נסיכי

מעצ החברה הלאומית לדרכים

אמנון רבינא

גיאופום בע"מ

תקציר

על רקע של החסר במשאב האגרגט הבזלתי באיכות גבוהה, הנדרש לצורך שיפור מקדם ההחלקה בשכבות אספלט עליונות, יזמה מעצ מחקר שמטרתו הייתה לבחון את היכולת לצמצם את כמות האגרגט הבזלתי בתערובות האספלט, תוך שמירה על ערכים נאותים של התנגדות להחלקה. הקטנת כמות האגרגט הבזלתי, בתערובות אספלטיות למידה אופטימאלית, עשויה לשפר את הנצילות של המשאב הבזלתי האיכותי המצטמצם ואת כלכליות היישום של התערובות האספלט העליונות מבלי להתפשר על צרכי הבטיחות. מהסקר הספרותי שבוצע בשלב הראשון של המחקר עולה כי דילול מבוקר של אגרגטים, עם ערכי התנגדות לליטוש גבוהים, בתערובות אספלט הינו נוהל מקובל ברשויות סלילה בעולם המיושם באופן שוטף ע"פ הנחיות המוסדרות במפרטי העבודה. עירוב האגרגטים באיכויות השונות לא מפחית את הערך הקריטריוני הנדרש לביצועי תערובת האספלט מבחינת העמידה בדרישות ההתנגדות להחלקה של המסעה. הצרכים שהכתיבו את הדילול בכמויות האגרגט העמיד לליטוש לרמה אופטימלית נגזרו מסיבות של מצאי נמוך של חומרי גלם ובהמשך לכך משיקולי עלות תועלת. נסיבות אלה דומות למצב הקיים בארץ מבחינת הזמינות הפוחתת של האגרגט הבזלתי באיכות הגבוהה. עובדות אלו אומתו בבדיקות מעבדתיות, של עמידות לליטוש (PSV) שבוצעו כחלק ממכלול בדיקות ההיתכנות והבדיקות המוקדמות שבוצעו בשלב המחקר השני לקראת יישום קטעי הניסוי. בשלב המחקר השלישי נסללו כ 4 ק"מ בכביש 784 עם תערובות ניסיוניות, אשר חלקן הורכב מעירוב אגרגטים בזלתיים עם דולומיטים. תערובות אלה מכונות "זברה" או Z. מיישום תערובות הניסיון בקטעי הכביש עלה כי ניתן לייצר את התערובות באופן מבוקר תוך שליטה על ערבוב החומרים. תערובות הניסיון עמדו בכל הקריטריונים המפרטיים הנדרשים. בבדיקה שנערכה כשנה לאחר השלמת הסלילה נמצא כי ביצועי התערובות המעורבות, מבחינת ערכי ההתנגדות להחלקה, היו משופרים ביחס לתערובות הדולומיטיות ודומים לביצועי התערובות הבזלתיות. בהתאם לממצאים החיוביים התעדכן מפרט מעצ החדש לשילוב התערובות המעורבות (תערובות "זברה") כחלק מהמוצרים הסטנדרטיים לייצור ושימוש. השנה נסללו קטעי ניסוי נוספים ויימשך המעקב אחר קטעי הניסוי הקיימים והחדשים.

1 - מבוא

1.1 - רקע, המחסור בבזלת ובאגרגטים הנדרשים להעלאת מקדם החיכוך בתערובות אספלט

הדרישה לאגרגט בזלתי איכותי הולכת וגוברת במשק התשתיות בישראל. הצריכה המוגברת נובעת מהיכולת של האגרגט הבזלתי לספק ערכי חיכוך נאותים לתערובות אספלט. המסקנות הראשונות בנושא זה פורסמו ע"י מע"צ [מ"מ 1] כבר בתחילת שנות השמונים בעבודה שנערכה ע"י המחלקה לחומרים ומחקר

ברשות נדביה ד. ואחרים. תערובות עם אגרגט בזלתי נמצאו כמתאימות ביותר לשימוש כאגרגט משפר חיכוך הן מבחינת הזמינות והן מבחינת והאיתנות ההנדסית של האגרגט. הדרישה השנתית של האגרגט הבזלתי במשק הסלילה הישראלי עומדת על כ 800,000 טון אגרגט איכותי. כושר הייצור הקיים במדינה מתקשה לספק את הביקושים כמפורט ב [מ"מ 2] "העדר המשאבים של חצץ בזלת לענף התשתיות במדינת ישראל". לשיפור המצב ייזמה מעצ מספר מחקרים שמטרתם לפתח תערובות אספלט אשר ישפרו את הנצילות של האגרגט הבזלתי תוך שמירה על קריטריוני האיכות הנדרשים מתערובות אספלט בעלות מקדם חיכוך משביע רצון. אחד מהמחקרים האלו מוצג במאמר זה.

1.2- מטרת העבודה

מטרת המחקר הינה לבדוק את היכולת לצמצם את כמות האגרגט הבזלתי בתערובות האספלט העליונות, תוך שמירה על ערכים נאותים של התנגדות להחלקה בתערובת האספלט. הקטנת כמות האגרגט הבזלתי למידה אופטימאלית, עשויה לשפר את הנצילות של המשאב האיכותי המצטמצם ולשפר את כלכליות היישום של התערובות האספלט העליונות.

2 – שלבי יישום פרויקט המו"פ

2.1- ממצאי סקר הספרות

מתוך המקורות הספרותיים שנסקרו עולה כי דילול כמות האגרגט העמידים לליטוש מתוך כלל תערובת האגרגטים, גם בתערובות אספלט הנדרשות לערכי התנגדות מבוקרים וגבוהים, הינו נוהל מקובל ומיושם באופן סטנדרטי על פי מפרטים מוסדרים והנחיות ברורות. יש להקפיד על מספר נושאים בעת תכנון תערובות ליישום מסוג זה:

1. ניתן לדלל את תכולת האגרגטים העמידים לליטוש עד למינימום של 50% מתכולת האגרגטים המשתתפים על נפה #4 מבלי לפגום בביצועי תערובות האספלט.
2. יש ללוות את הבדיקות עם ניסויי שדה להוכחת היכולת כמקובל במספר מדינות בהם נעשה השימוש בטכנולוגיה זו.
3. אין הקלות בדרישות ההתנגדות להחלקה של תערובות אספלטיות שבהן מבוצע דילול בכמות האגרגט העמיד לליטוש יחסית לתערובות ה"רגילות".
4. ערבוב אגרגטים עם הפרשי משקל יחסי (G) העולים על 0.3 מחייבים תכנון הערבוב ע"פ יחסי נפח.
5. יש להקפיד בביצוע בדיקות קבלה ונוהלי התכן לתערובות האספלט במיוחד לגבי מקטעים אשר בהם מתבצעת ההחלפה/ערבוב של האגרגטים.
6. יש לוודא את יכולת מפעל האספלט המייצר להזרים את הרכבי האגרגטים בהרכבים המתוכננים באופן מדויק ומבוקר.

2.2 - השפעת העירוב על תכונות תערובת האגרגטים בבדיקות ההיתכנות והבדיקות המוקדמות

לביצוע הבדיקות, בשלב ראשון, נדגמו אגרגטים בזלתיים ואגרגטים קרבונטיים דולומיטי וגיר/דולמיט. ליישום בדיקות ה (Polished Stone Value) PSV הוכנו תערובות אגרגטים בפרופורציה משתנה של כמות הבזלת במקטעים של 25%. בבדיקות נמצא כי ערבוב בשיעור משקלי של 50% – 60%

(תכולת בזלת מכלל האגרנט הגס) מספיק לשפר את תערובת האגרנטים לערך המטרה 48, הנדרש ע"פ המפרט הכללי החדש של מעצ [מ"מ 3].

לקראת סלילת קטעי הניסוי הורחבה סדרת הבדיקות גם עבור החומרים והתערובות אשר יועדו לשימוש בקטעי הניסוי. תוצאות הבדיקות המוקדמות היו דומות. השיפור בערכי ה-PSV הובחן עם העלייה בשיעורי הבזלת מעל 50% ואף מתחת לזה. מכלל תוצאות הבדיקות שבוצעו לשלב זה עלו העובדות הבאות:

1- עירוב האגרנטים הבזלתיים מעלה את הצפיפות הממשית של האגרנט הגס בתערובת האגרנט הגירי/דולומיטי באופן ליניארי. השינויים בערכי הספיגות למים היו קטנים במדגמים אלה.

2- עירוב האגרנטים הבזלתיים משפר את ערכי שחיקות הלוס אנג'לס גם לאגרנטים שלא עומדים בדרישה לסוג א'.

3- עירוב אגרנטים בזלתיים בשיעור של כ 60% אגרנטים בזלתיים (או יחס תעשייתי של 1:2) מבטיח ע"פ תוצאות המעבדה קבלה של ערכי PSV העולים על 48.

המשמעויות של תוצאות הבדיקות הן חיזוק הנחת היסוד של הפרויקט כי ניתן באמצעות עירוב אגרנטים בזלתיים עם אגרנטים דולומיטיים/גיריים להשיג תוצאות משביעות רצון מבחינת עמידות תערובת האגרנטים לליטוש.

2.3 - סלילת קטעי הניסוי בכביש 784

יישום קטעי הניסוי שולב במסגרת פרויקט הריבודים של מעצ במחוז צפון. כביש 784 הוקצה לביצוע קטעי הניסוי. הקטע ליישום נקבע בין צמת קורנית לצמת משגב. בסה"כ יושמו במהלך חודש נובמבר 2007, כ- 8,870 טון תערובות אספלט בפרויקט, מתוכן כ- 6,950 טון תערובות ניסיוניות. האספלט ייושם על שטחים אשר קורצפו לפני הריבוד. המסקנות העיקריות לשלב סלילת קטעי הניסוי מפורטות להלן:

1 – תערובות הניסיון אשר יוצרו וסופקו לפרויקט עמדו בכל דרישות התכן.

2 - עבידות תערובות הניסיון הייתה דומה לתערובות הסטנדרטיות.

3 - שיעור הניכויים הכולל עבור הפרויקט היה נמוך, עובדה המעידה על ייצור קפדני וסלילה ברמה גבוהה.

2.4 - בדיקות המעקב תקופתיות אחר קטעי הניסוי

תכנית הבדיקות למעקב כוללת סדרת בדיקות להתנגדות להחלקה ברצף באמצעות מערכת ה-ROAR, כל נתיב נסיעה נמדד 3 (שלוש) פעמים. הבדיקות נקודתיות בוצעו באמצעות מטוטלת בריטית (BPN) ובדיקות טלאי-חול בסמוך (MTD). בדיקות המעבדה תואמו לתקופה של סוף מרץ תחילת אפריל 2009.

במהלך אותו החודש בוצעו עבור מעצ, בדיקות נוספות של התנגדות להחלקה ובחינת עומק המרקם במסגרת הבדיקות למערכת ניהול המיסעות (מנ"ם) בכבישי הצפון. בין הכבישים נמדד גם כביש 784.

הנתונים נאספו באמצעות מערכת מסוג Grip Tester Mark2 (MK2)

3 - התוצאות והממצאים משלב בדיקות המעקב וביחס לסוגי תערובות האספלט

3.1 – כללי

מתוצאות בדיקות ההתנגדות להחלקה, ניתן היה לראות בבירור את היחסים בין כל התערובות לאורך התוואי ובאופן מובלט את ערכי ההתנגדות להחלקה המשופרים של תערובות המכילות אגרגטים בזלתיים ביחס לתערובות הבקרה הדולומיטיות. משמעות התוצאות מהבדיקות הנקודתיות ומערכת ה MK2 היו דומות. קטעי הניסוי הורכבו מסוגים שונים של תערובות אספלט בהרכבים שונים. לפיכך, הפרדה נוספת שנתבקשה להבחנה הייתה בין תערובות ה SMA לתערובות המבניות S.

3.2 - ביצועי התערובות עם אגרגט דולומיטי ללא בזלת

שתי תערובות הורכבו על טהרת האגרגט הדולומיטי כקטעי בקרה. תערובת מבנית "S 1" (בקטע מס 1), ותערובת "SMA-3/4" (בקטע מס 8). מהנתונים עלה בבירור כי כבר לאחר השנה הראשונה ניתן היה להבחין בנחיתות התערובות הדולומיטיות ביחס לשאר התערובות אשר מכילות מרכיב בזלתי כלשהוא. אמנם תוצאות בדיקות ההתנגדות להחלקה עומדות עדיין בדרישות המפרטיות לתערובות אספלט חדשות. ואולם, ערכי ההתנגדות להחלקה המוצגים, בכל אמצעי המדידה השונים, נמוכים באופן מובהק משאר התערובות. ממצא זה נכון גם לתערובות המבניות וגם לתערובות ה SMA.

3.3 - ביצועי תערובות SMA בהשוואה לתערובות S

ארבע תערובות בקטעי הניסוי (בחמישה קטעי ניסוי) הן תערובות SMA. כל התערובות מציגות ערכים תקינים, מבחינת עומק מרקם התערובת. ואולם, מבחינת ערכי התנגדות להחלקה הן מציגות ערכים דומים ולעיתים נמוכים יותר מאשר תערובות ה S. תערובת ה SMA הדולומיטית, על אף עמק המרקם התקין, מציגה ערכי התנגדות להחלקה הנמוכים באופן מובהק מהתערובות המעורבות, ואו תערובות הבזלת.

3.4 - ביצועי התערובות המעורבות, זברה Z, בהשוואה לתערובות האחרות.

ארבע תערובות בקטעי הניסוי (בחמישה מקטעים) הן תערובת עם מקטעים מעורבים, Z. לבחינת תקינות התערובות ביחס לקריטריונים קיימים, ניתן להישען על הדרישות המפרטיות העדכניות של מפרט מעצ בגרסתו ממרץ 2009. בהתאם, ערכי ה μ של ה ROAR הגבוהים מ 35 נחשבים תקינים – ובאותו סולם, הערכים הגבוהים מ 45 מוערכים כטובים מאד. כל התערובות המעורבות הציגו ערכי μ -ROAR הגבוהים מערך זה. ביצועי תערובות הזברה (המעורבות) Z, מבחינת ערכי ההתנגדות להחלקה היו גבוהים וטובים יותר באופן מובהק מהתערובות הדולומיטיות והיו דומים או מעט נמוכים מערכי התערובות הבזלתיות. מסקנות דומות ניתן להסיק גם מהמדידות שנתקבלו מהמערכת מסוג MK2. אמנם הערך המוחלט של סולם הערכים המדווחים אינו מכויל, בשלב זה, ביחס לתוצאות ה ROAR ואולם בהחלט ניתן להבחין כי הסגמנטים (בארך 100 מ') בהם יש תערובות מעורבות, מציגים ערכים גבוהים יותר של התנגדות להחלקה. ניתן להבחין בכיווניות התוצאות ובהתאמה הקיימת גם כאשר הבדיקות מתבצעות בטכנולוגיות שונות. מבחינת עמק מרקם התערובות, בכל אמצעי המדידה השונים, ההבדל בין ביצועי התערובות השונות קשור לדרוג התערובות ונובע בעיקר מההבדל בין קווי הדירוג של תערובות ה SMA לתערובות ה S. יתכן ובהמשך, באם תתרחש שחיקה בלתי אחידה של התערובות או מרכיבי התערובות ימצאו הבדלים נוספים אשר יצביעו על שינויים בביצועים.

4 - מסקנות והמלצות בחלוף כשנה ממועד הסלילה

4.1 - ביצועי התערובות המעורבות ביחס לתערובות סטנדרטיות

- 1 – ביצועי התערובות המעורבות, זברה Z, מבחינת ערכי ההתנגדות להחלקה, היו טובים יותר ומשופרים באופן מובהק ביחס לקטעי הבקרה אשר נסללו מתערובות עם אגרגט דולומיטי.
- 2 – ביצועי התערובות המעורבות, זברה Z, היו דומים לביצועי התערובות הבזלתיות. בהתאם לביצועים לאחר שנה ממועד הסלילה, ערכי התנגדות להחלקה נתקבלו ברמה משביעת רצון.
- 3 – חיזוק למסקנות מתוצאות המדידה אשר נתקבלו ממערכת ה ROAR ניתן לקבל גם מתוצאות המדידה אשר נערכו באמצעות המערכת מסוג MK2. ביצועי תערובות הזברה Z, היו משופרים באופן בולט ביחס לתערובות הדולומיטיות ודומים לביצועי התערובות הבזלתיות.
- 4 – במדידות עמק המרקם שבוצעו, נמצאה התאמה בין שיטות המדידה אשר בוצעו בטכנולוגיות שונות. ההבדלים בעמק המרקם היו קשורים בעיקר לשוני בין קווי הדרוג של התערובות מסוג SMA ביחס לתערובות ה S.

4.2 עדכון דרישות מפרט מעצ

בהתאם לממצאי פרויקט המו"פ עודכנו דרישות מפרט מע"צ לעבודות אספלט (51.04) וההנחיות למתכנן בהתאמה. על פי העדכון ניתן לערב אגרגט בזלת עם אגרגט דולומיט ובתנאי ששיעור הבזלת לא יפחת מ 40% מכלל התערובת ומ 60% מכמות האגרגט המשתתף על נפה #4. בהנחיות למתכנן נקבע כי בכבישים בהם נפח התנועה המתוכנן/קיים הוא בין 5000 ל 20,000 AADT ואו בכבישים אחרים בהם נדרש שיפור במקדם ההתנגדות להחלקה ניתן ליישם תערובות מעורבות Z.

4.3 הפוטנציאל הכלכלי של ממצאי המחקר

בחלק הצפוני של רשת כבישי מעצ מהווים נתיבי התנועה באפיון הנ"ל כ 55% מכלל הרשת. כמות אגרגט הבזלת אשר תדרש לריבוד כבישים אלה הינה כמליון ומאה טון. יישום תערובות הזברה, Z, בהתאם להנחיות המפרט החדשות עשוי לחסוך שימוש בכ 435 אלף טון אגרגט בזלת, כמות משמעותית מאד השווה לכ 55% מהדרישה השנתית לאגרגט הבזלת במדינת ישראל.

4.4 הרחבת היישום והמשך ממעקב אחר קטעי הבקרה.

בהמשך לתוצאות המחקר נסללו קטעי ניסוי נוספים עם תערובות מעורבות בין השאר בכביש 864. יש להמשיך בבדיקות המעקב העונתיות כדי לנטר את ביצועי התערובות לאורך השנים.

מראי מקום

1. אמנון רבינא, גיאופום בע"מ, עירוב אגרגטים ממקורות שונים וההשפעה על מקדם החיכוך בכבישים, סקר ספרות עבור מעצ – החברה הלאומית לדרכים, יולי 2007.
2. רבינא א., נסיכי ש., בוידיק ז., העדר המשאבים של חצץ בזלת לענף התשתיות במדינת ישראל. הרצאה במסגרת הכנס הגיאולוגי השנתי, מרץ 2007.
3. מעצ החברה הלאומית לדרכים בע"מ, המפרט הכללי לעבודות סלילה וגיטור, פרק 051: עבודות-סלילה, תת-פרק 04: שכבות אספלטיות במיסעות. מהדורה מעודכנת 29 למרץ 2009.
4. אמנון רבינא, גיאופום בע"מ, עירוב אגרגטים ממקורות שונים וההשפעה על מקדם החיכוך בכבישים, יישום תערובות ניסיון וביצוע קטעי ניסוי – החברה הלאומית לדרכים, יוני 2008.
5. אמנון רבינא, גיאופום בע"מ, עירוב אגרגטים ממקורות שונים וההשפעה על מקדם החיכוך בכבישים, מעקב אחר קטעי ניסוי בתום שנה מהסלילה החברה הלאומית לדרכים, יולי 2009.