



מאי 2007

### בטון עתיר אפר פחם מרחף – מחקר גישוש

ד"ר רינה וסרמן, פרופ' קוסטה קובלר, פרופ' ארנון בנטור, המכון הלאומי לחקר הבנייה, הטכניון

#### **מבוא**

ת.י. 466 - חוקת הבטון, בגרסתו העדכנית שנקבעה לאחרונה, כולל אפשרות להחלפת צמנט באפר פחם מרחף ביחס המבטא את תרומת האפר לקיים (אורך חיים) הבטון בהגנה מפני תהליכי בלייה הנגרמים מחשיפתו לסביבה: קרבונציה המפחיתה את ההגנה שמעניק הבטון לזיון הפלדה וחדירת כלורידים הגורמת לקררוזיה של הזיון.

הפרמטרים בתקן נקבעו בהתבסס על מחקר שנערך בשנים 2001 - 2003 ע"י פרופ' בנטור וד"ר באום מהמכון הלאומי לחקר הבנייה בהזמנת המנהלת והם מאפשרים החלפת צמנט במקדם יעילות של עד 0.5 (דהיינו 0.5 ק"ג צמנט לכל 1 ק"ג אפר) לאזורי פריזה המרוחקים מהים ואינם נחשפים למים או קרקע אגרסיביים, במגבלה של 40 ק"ג צמנט מוחלף למ"ק בטון ובתכולת צמנט מינימלית של 200 ק"ג למ"ק.

מחקר המשך בוחן אפשרות שיפור מקדם היעילות והרחבת תחולתו על אזורים בעלי סביבה קשה יותר. ממצאיו יאפשרו, כך אנו מקווים, את שיפור התקן ויצרו את התנאים לשילוב יעיל טכנולוגי של האפר בבטון בטכנולוגיה הנפוצה בעולם מזה שנים רבות.

מאמצע שנות ה-80 של המאה ה-20 התחיל לראשונה השימוש בשיעורים גבוהים של אפר פחם בבטון קונסטרוקטיבי. המחקרים שבוצעו במרכז להנדסת מחצבים ואנרגיה (CANMET) בקנדה ובמקומות אחרים הראו בבירור שבטון עם תכולה גבוהה של אפר פחם (high-volume fly ash concrete) המאופייני בהרכבים כימיים מוגדרים (אלקלים וסולפטים) וגרגר בעל קוטר נמוך ומצטיין בתכונות רבות מעולות הן בחוזק לחיצה גבוה במיוחד והן במניעת חדירת כלורידים ומאפשר שיעורי החלפת צמנט גבוהים והפחתת מינימום הצמנט מתחת ל-200 ק"ג למ"ק. פיתוח זה מקבל חיזוק מהמגמה העולמית לקנוס תהליכים תעשייתיים הגורמים לפליטת CO<sub>2</sub> שתביא להתייקרות הצמנט וליצירת תמריץ עסקי להגדלת שיעור האפר כמחליף צמנט בבטון. ההצדקה למחקר בבטון עתיר אפר נובעת משני שיקולים:

1. תוכנית להקמת יחידות ייצור פחמיות נוספות במהלך העשור הבא שיגרמו להגדלת כמות האפר השנתית מכ-1.1 מליון טון היום לכ-1.6 - 1.7 מליון טון ב-2017. למרות שהביקוש לאפר עולה היום על ההיצע ולכאורה יכול היה ענף הבטון לקלוט כמות אפר גדולה יותר, ההנחה היא שקצב גידול כמות האפר יהיה גדול יותר מיכולת הקליטה של הענף בתחום הבטונים הרגילים.
2. יצירת תשתית ידע למגמות פיתוח המסתמנות בעולם לניצול מיטבי וכלכלי יותר של אפר פחם.

בהתחשב במשך הזמן הרב הנדרש לתהליכי מחקר, פיתוח ותקינה, עלינו להכין כבר עכשיו את התשתית לקליטת כמויות גדולות יותר של אפר בתעשיית הבנייה בעתיד.

#### **מטרת המחקר**

המחקר מיועד לפתח תערובות בטון קונסטרוקטיבי (ב-20 - ב-40) עם תכולות גבוהות של אפר פחם מקומי (עד 300 ק"ג ל-1 מ"ק). לצורך השגת מערכת יעילה תיבחן האפשרות לנצל שני אלמנטים המקובלים בתעשיית הבטון בארץ: שימוש במוספים על פלסטיים ומים ממוחזרים. תיבחן האפשרות לאופטימיזציה המבוססת על שימוש היעיל בשני מרכיבים אלה, במטרה (א) להקטין את מנת המים ו-(ב) לשפר את כושר פעילות האפר כדי להשיג תערובות בעלות תכולה מרבית של אפר פחם, כאשר יושגו החוזקים המאפיינים של מרבית התערובות המשמשות כיום בתעשיית הבנייה בארץ, בטווח של ב-20 עד ב-40.



ייקבעו קריטריונים המשפיעים על התפתחות חוזק הלחיצה ותכונות מכניות נוספות של בטונים הללו. ייחקר קיים בטונים בתנאי קרבונציה וחדירת כלורידים. תיקבע תכולת צמנט מינימלית בבטונים עם תכולות גבוהות של אפר פחם. ייקבעו גורמים עיקריים שמשפיעים על קיים בטונים עם תכולות גבוהות של אפר פחם בתנאי שירות שונים.

בהמלצת הצוות המקצועי יוזמן בשלב זה סקר ספרות המיועד להכין את תשתית הידע למחקר ולמקד אותו בתנאי הסביבה וחומרי הגלם המאפיינים את ישראל. בהתבסס על סקר הספרות תבוצע סדרת בדיקות מקדמיות לגיבוש מפורט של שאלות המחקר ומבחנו.

לוט : [הצעת המחקר](#).