

שימוש באפר פחם מרחף כתחליף חלקי לחול טבעי ולצמנט בייצור בטון במפעלי

בטון מובא - ליווי מקצועי וניסויים באתרי בנייה ומעבדה

פרופ' דן רבינא ופרופ' חנוך יגרמן, 1999

המכון הלאומי לחקר הבנייה, הטכניון

במסגרת הפעילות של מנהלת אפר הפחם להגדלת השימוש באפר פחם והרחבת ציבור המשתמשים החלה חברת רדימיקס בביצוע ניסוי שדה, על ידי ייצור בטונים עם אפר הפחם, בכמות מתוכננת של 60,000 טון, כתחליף חלקי לחול דיונות ולצמנט. אפר הפחם ששימש להכנת הבטונים במפעלי הבטון המובא של החברה היה בהתאם לנדרש בתקן הישראלי ת"י 1239 אפר פחם מרחף לבטון, כאשר הפסד הקלייה המרבי היה 6 אחוז.

תערובות הבטון תוכננו וסופקו ע"י חברת רדימיקס כבטונים סטנדרטיים מסוג ב-20 עד ב-40 עם כמות של כ-150 ק"ג אפר למ"ק בטון טרי, והתאמת כמות הצמנט והמוספים לדרישות העבדות והחוזק.

מטרות פרויקט זה היו לבחון את התנסות הגורמים השונים בעבודה עם אפר הפחם (ספק האפר - חברת החשמל, חברת הבטון - רדימיקס, וקבלני הבנייה), להכין מפרט לשימוש בבטון קונסטרוקטיבי המכיל אפר פחם, ולאפיין את האמצעים - מתקנים ותהליכים - לשליטה ובקרה של איכות האפר (על ידי חברת החשמל). המכון הלאומי לחקר הבנייה שימש כמלווה מקצועי של הפרויקט וזאת על ידי מתן תמיכה וליווי מקצועיים, מעקב בקרת איכות באמצעות בדיקות מעבדה, עריכת ניסויי מעבדה והכנת הנחיות ומפרטי ביצוע לשימוש באפר פחם בבטון.

בשלב הראשון של הניסויים נלקחו דגימות מבטון טרי (עם וללא אפר פחם) מאתרי בנייה באזור חיפה והוכנו קוביות שנחשפו לתנאי אשפה שונים. נבחנו החוזק התקני והשפעת תנאי האשפה המקובלים באתר הבנייה על החוזק. בנוסף, נבדקה גם ההשפעה על איכות שטח הפנים של הבטונים עם וללא אפר על ידי בדיקות ספיגות קפילארית וקרבוניציה מוחשת. במקביל נעשו גם בדיקות כנ"ל בתחתית הקוביות להשוואה.

בשלב השני של הניסויים בוצעו ניסויי מעבדה בתנאי קיץ. הניסויים נועדו להשלים ולהרחיב בצורה מבוקרת את הניסויים שנערכו באתר, ולבדוק גם את התפתחות החוזק בתנאי טמפרטורה שונים, בבטונים עם חוזק שונה.

בשלב השלישי של הניסויים בוצעו ניסויי מעבדה בתנאי חורף. הניסויים נערכו בהיקף מצומצם. נבדקו חוזק הלחיצה, עומק הקרבוניציה והספיגות הנימית בטמפרטורות ושיטות אשפה שונות.

סיכום כולל של הניסויים עם אפר פחם כתחליף חלקי לחול וצמנט בתערובות בטון שקיבלו אשפה מצומצמת מראה את המסקנות הבאות:

- עבידות הבטונים עם אפר פחם הייתה טובה יותר באופן משמעותי.
- הבטונים עם אפר פחם הפרישו פחות מים.
- צריכת המים בתערובות עם אפר פחם בכמות של 150 ק"ג למ"ק הייתה גדולה יותר מאשר בתערובות מקבילות ללא אפר. יש לבחון שנית את תכולת האפר האופטימאלית ואת תכולת המוספים הכימיים. נראה, גם לאור הניסיון בעבודות בטון עם אפר בתחנת הכוח באשקלון, שיש להמליץ על תכולה מרבית של כ- 120 ק"ג למ"ק של אפר פחם.
- חוזק הבטונים עם אפר פחם היה נמוך יותר בבטונים שקיבלו אשפרה בהרטבה בהתזה פעמיים ביום במשך שלושה ימים או שלא קבלו אשפרה כלל ביחס לחוזק בטונים ללא אפר. לפיכך, בטונים עם אפר מחייבים אשפרה ברטוב טובה וממושכת יותר משך בטונים ללא אפר על מנת להגיע לחוזק שווה בגיל 28 יום או אף גבוה יותר בגילים מאוחרים.
- בטון עם אפר פחם מושפע בצורה משמעותית מטמפרטורת היציקה ו/או האשפרה. בטמפרטורות נמוכות הוא מתחזק לאט יחסית ומחייב אשפרה ברטוב ממושכת יחסית. מאידך, בטמפרטורות מוגבהות, 40°C ומעלה, כבר בגיל מוקדם האפר תורם לחוזק בצורה משמעותית.
- ערכי הקרבונציה והספיגות הנימית של הבטונים עם אפר פחם היו גבוהים מאילו של הבטונים ללא אפר, במיוחד באשפרה בהרטבה לסירוגין. זה גם כן מצביע על החשיבות הרבה בצורך שיש באשפרה טובה וממושכת יותר יחסית על מנת לקבל איכות שווה ואף טובה יותר של מרקם הפנים בבטונים עם אפר פחם, הקובע את הקיימות וההגנה על הזיון.
- על מנת להשיג הפחתה בהתפתחות הטמפרטורה, עקב חום ההידרציה, בגושי בטון גדולים בעזרת אפר פחם יש להפחית את כמות האפר בצורה משמעותית, ויש להגביל את תכולת הצמנט. יש לבצע ניסויים מוקדמים לקביעת כמות האפר וכמות הצמנט האופטימאלית.