



בחומר ובלבנים – אפר פחם כחומר גלם למוצרי בנייה

אפר מרחף כתוסף פוצולני וכמלאן בבטון



השימוש באפר פחם מרחף כתוסף מינרלי לצמנט ולבטון נפוץ בעולם עשרות שנים ומידע על כך מופיע בפרסומים מקצועיים אקדמיים ויישומיים לרוב. ביישום האפר כמרכיב בתערובות בטון המחליף חלקית חול וצמנט, גלומות תועלות הנדסיות, כלכליות וסביבתיות.

אפר פחם מרחף בתערובות בטון מחליף חול ביחס של 1.2 : 1, חול : אפר (יחס ההמרה נובע מההבדל במשקלים הסגוליים של החומרים) ומאפשרת גם חיטון של 10% - 20% מהצמנט. זאת בנוסף להכנסתו לקלינקר (חומר הגלם בייצור צמנט) בעת שרפתו בשיעור 10% - 20% וכחלק מהצמנט (המוצר הסופי) בשיעור 10% - 20% בהתאם לסוג הצמנט.

מחקר רב שנים המתנהל במכון הלאומי לחקר הבנייה בטכניון מתחילת הפעלת תחנת הכח הפחמית הראשונה בשנת 1982 ופרסומים רבים של חוקרי המכון לדורותיהם, יצרו בסיס ידע רחב המאפשר אימוץ הטכנולוגיה והתקינה העולמית למיציאת תכונות האפר המרחף המיוצר בארץ ולהפקת תועלת מרבית מניצולו בתעשיית הבטון.



תרומות הנדסיות

לבטון המכיל אפר פחם תכונות מיוחדות המחייבות התנסות ומיומנות להשגת התוצאות הטובות ביותר. בין השאר יכול האפר להשפיע על התכונות הבאות:

השפעות חיוביות

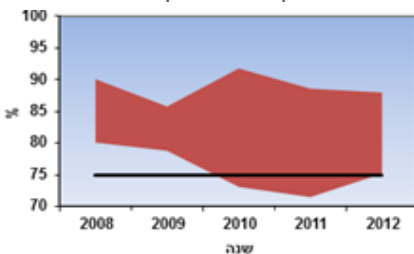
- שיפור עמידות הבטון הטרי,
- הקטנת תצרוכת מים לקבלת סומך נדרש בבטון הטרי, (מותנה בטיב האפר ובמוסף העל),
- הגדלת לכידות הבטון,
- הפחתה בהפרשת מים (Bleeding),
- הקטנת חדירות לנוזלים וגזים העלולים לגרום לבלייה של הבטון והזיון,
- הארכת הקיים (משך תקופת השרות הנדסית),
- שיפור עמידות בפני סולפטים וכלורידים,
- הגדלת חוזק בגילאים מאוחרים,
- ריסון התפתחות טמפרטורה בבטון רב נפח (חום הידרציה),
- שיפור עמידות במחזורי קפיאה והפשרה,
- שיפור פני המוצר,
- הגברת קרבוניציה, הפוגעת ביעילות ההידרציה,
- האטת התפתחות החוזק בגילאים צעירים, מחייבת הקפדה על האשפחה התקנית עלולה לעכב פירוק טפסות

תכונות חיוביות של אפר מרחף לאיכות הבטון

תחומי השתנות באפר ישראלי על ציר הזמן ביחס לדרישות התקן (ת.י. 1209 – אפר מרחף כתוסף לבטון) של התכונות בעלות ההשפעה המשמעותית ביותר על יעילות האפר כחומר מליטה בבטון:

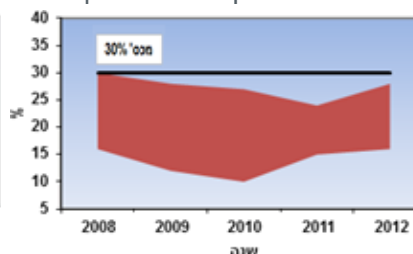
אקטיביות פוצולנית

(חוזק לחיצה יחסית לצמנט פורטלנד) משפרת חוזק בטווח ארוך



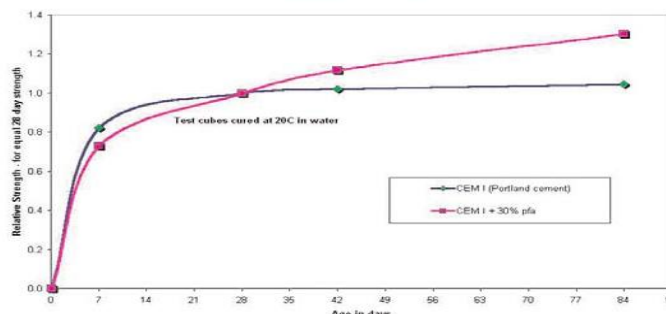
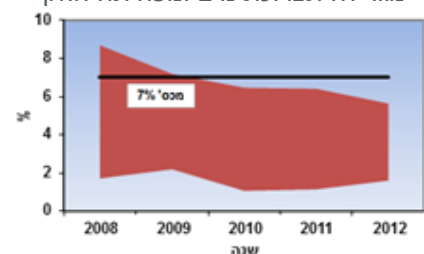
דקות גרגר

(שארית על נפה 45 מיקרון) מצופפת את הבטון ומשפרת חוזק



שארית פחמן לא שרוף

(אבדן משקל בהצתה) מגדילה תצרוכת מים ומפחיתה חוזק



התפתחות חוזק בטון עם וולא אפר מרחף (מעלון UKQAA, אנגליה)

תנאי השימוש באפר בבטון

התנאים ההנדסיים לאפר בבטון מפורטים בתקנים 1209 (אפר מרחף בבטון), 118 (בטון לשימושים מבניים), 466 (חוקת הבטון) ומתוארים במדריך (בכתובת: http://www.coal-ash.co.il/docs/madrach_bnia.pdf):

מדריך שימושי אפר פחם במוצרי בנייה איג'ל גדעון אירוס, פרופ' דן רבינא יוני 2007	
<p>(ב) אפר הפחם המרחף כמרכיב בתעשיית הבטון</p> <ol style="list-style-type: none"> "מקומו" של אפר הפחם המרחף בתערובת הבטון השפעות אפר הפחם המרחף על תכונות הבטון שיפור עמידות הבטון הטרי תצורת המים של הבטון הטרי הפרשת מים (Bleeding) חוזק חום הידרציה התכווצות בייבוש עמידות בפני סולפטים <p>(ג) אפר הפחם המרחף כמרכיב בתערובת בטון המכילות מוספי על</p> <p>(ד) אפר פחם מרחף כמרכיב בתערובות של "בטונים מיוחדים"</p> <p>בטון ללא שקיעה (No Slump Concrete)</p> <p>בטון בעל חוזק גבוה (High Strength/Performance Conc.)</p> <p>בטון מהודק ע"י מכבש (Roller Compacted Concrete (RCC)</p> <p>בטון רב נפח (Mass Concrete)</p> <p>בטון משאבה</p> <p>בטון עמיד בפני סולפטים</p> <p>(ה) אפר פחם מרחף כמרכיב במוצרי בטון</p> <p>צינורות בטון</p> <p>בטון טרומי/ דרוך</p> <p>בלוקים מבטון</p> <p>(ו) אפר פחם מרחף כמרכיב במוצרים שונים</p> <p>בחנ"ם – בטון בעל חוזק נמוך מבוקר (CLSM)</p> <p>אגרגטים קלים</p> <p>שימושים אחרים</p> <p>פרק ד' – שימוש באפר פחם מרחף בתכנון תערובות בטון בתקינה</p> <p>ת"י 466 חלק 1 (יוני 2003) – חוקת הבטון- עקרונות כלליים</p> <p>ת"י 118 (2008) – בטון לשימושים מבניים</p> <p>עיקרון ערך K (לגבי שימוש באפר פחם)</p> <p>כמות צמנט מינימאלית בתערובת בטון המכילה אפר פחם</p> <p>כמות אפר הפחם הנדרשת בתערובת זו</p>	<p>פרק א' – מהו אפר פחם מרחף</p> <p>(א) אפר הפחם ותכונותיו</p> <ol style="list-style-type: none"> מהבחינה הטכנולוגית מהבחינה הכלכלית מהבחינה הארגטית מהבחינה האקולוגית <p>(ב) תכונות אפר הפחם</p> <ol style="list-style-type: none"> סוגי אפר הפחם תכונות פיזיקליות תכונות כימיות פוצולניות (ריאקטיביות פוצולנית) ריאקציות כימיות הנוצרות בבטון הגורמים המשפיעים על הריאקטיביות של אפר פחם מרחף הידרציה של צמנט פורטלנד הידרציה של אפר פחם מרחף הערכת הפוצולניות <p>פרק ב' – תקנים לאפר פחם מרחף בבנייה בישראל ובעולם</p> <p>(א) דרישות התקינה</p> <ol style="list-style-type: none"> מרכיבים היכולים לגרום לריאקציות כימיות שליליות גופרית תלת חמצנית SO_3 מגנזיום חמצני MgO דרישות כלליות התכולה הכוללת של צורן חמצני, אלומיניום חמצני וברזל חמצני ($SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$) רטיבות דקות הפסד הקלייה (LOI) אינדקס אקטיביות פוצולנית עם צמנט פורטלנד דרישות נוספות <p>פרק ג' – אפר פחם מרחף בתעשיית הבטון</p> <p>(א) השימוש באפר פחם מרחף בתעשיית הצמנט/הבטון</p> <p>דרכי הוספת אפר הפחם לצמנט/לבטון</p>

תרומות סביבתיות

- השימוש באפר פחם בבטון תורם לפיתוח בר קיימא ומפחית מפגעים סביבתיים:
- בהחלפה חלקית של חול וצמנט – מפחית ניצול משאבי טבע המצויים במחסור ואשר כרייתם פוגעת בסביבה: פוטנציאל של 1.5 מיליון טון חול בשנה.
 - בהחלפה חלקית של צמנט – מפחית פליטת פחמן דו-חמצני לאוויר הכרוכה בייצור הקלינקר בשיעור 0.5 טון CO_2 לכל טון אפר: פוטנציאל של 600 אלף טון CO_2 בשנה.

האמת על הקרינה הטבעית מאפר בבטון

תכולת יסודות רדיואקטיביים (קרינת גמא)

כבכל חומרי הגלם המשמשים לבנייה, הנכרים מהסלע ומהקרקע, גם אפר פחם מכיל ריכוזים מסוימים של יסודות רדיואקטיביים טבעיים. תכולת היסודות גבוהה יחסית לחומרי הגלם הרגילים כתוצאה מריכוזם באפר בתהליך שריפת הפחם. אולם משום שמרכיב האפר בבטון בתערובות הנפוצות בארץ הינו כ- 5% ממשקלו, תרומת האפר לחשיפה לקרינת גמא בבטון (שנמצאה בבדיקות מעבדה בסדרה מייצגת) – 0.04 mSv בשנה לאדם (בממוצע ממקורות אפר שונים), נמוכה יחסית לרמות הנתרמות ע"י חומרי הגלם האחרים בתערובות הבטון.

שפיעת גז רדון (קרינת אלפא)

הוספת אפר לבטון מפחיתה בדרך כלל את שפיעת הרדון המתקבל מהתפרקות רדיום המצוי בחומרי הגלם לבטון, ואשר הוא הגורם המשמעותי יותר בהערכות הסיכונים. זאת בזכות הגדלת צפיפות הבטון (הקטנת חללים) המקטינה את חופש התנועה של גז הרדון ושפיעתו מחוץ לקיר לחלל החדר. הרדון הנוצר מהרדיום באפר עצמו נשאר כלאו ברובו בתוך גרגריו בשל המבנה הזכוכיתי שלהם. בבדיקות שנערכו בדוגמאות בטון ישראלי המכיל אפר פחם ממקורות שונים התקבלה הפחתה ממוצעת בשפיעת רדון השקולה בקירוב לחשיפה לקרינה של 0.01 mSv לשנה לאדם.

ובחשבון הכולל

שילוב אפר פחם בבטון בהתבסס על הנתונים לעיל, גורם לתוספת קרינה בשיעור נמוך (0.03 mSv בשנה לאדם בממוצע ממקורות האפר השונים) שהם 3% מתוך התוספת המרבית המומלצת ע"י הגופים הבינלאומיים לבטיחות קרינה לתוספת מכלל המקורות מעשה ידי אדם (1.0 mSv בשנה), סדר גודל פחות מהתוספת המרבית המותרת בתחום הבנייה (0.3 mSv בשנה). תוספת בסדר הגודל הזה, כונתה ע"י הוועדה הבינלאומית להגנה רדיואקטיבית מנה זניחה (trivial), הפטורה מפיקוח ובקרה. זאת משום שהיא מצויה בסדר הגודל של השתנות קרינת הרקע הטבעית. עם זאת, הוספת אפר לבטון מבוקרת בישראל, ככל חומרי הגלם לבנייה, באמצעות ת.י. 5098 – תכולת יסודות רדיואקטיביים במוצרי בנייה.

מנהלת אפר הפחם

היא גוף ממשלתי שהוקם בשנת 1993 ע"י משרד האנרגיה והתשתיות (לימים המשרד לתשתיות לאומיות) בשיתוף משרדי איכות הגנת הסביבה והפנים וחברות החשמל והפחם, במטרה לרכז מאמץ ממלכתי במשאוב מועיל וידידותי לסביבה של האפר הנוטר בתחנות הכח הפחמיות.

יצירת קשר

מנהלת אפר הפחם
רח' לינקולן 20,
ת"א 6713412

טל. 03-6257000
פקס. 03-6257001
coalash@ncsc.co.il

אתר האינטרנט
www.coal-ash.co.il