

רוויזיה של התקן הישראלי ת"י 1209 – אפר פחם מרחף לבטון (פברואר 1987)

פרופ' דן רבינא, 2003

המכון הלאומי לחקר הבנייה, הטכניון

אפר פחם מרחף יכול לשמש כאחד המרכיבים בתערובת הבטון ובהתאם לתכונותיו יכול להחליף חלק מחומר המליטה (צמנט) ו/או חלק מהאגרגט הדק. לשימוש באפר פחם יכולות להיות סיבות טכנולוגיות (שיפור תכונות הבטון), אנרגטיות (חיסכון באנרגיה הדרושה לייצור הצמנט) ואקולוגיות (סילוקו מצריך שטח אכסון מתאים וכרוך בהוצאה כספית ניכרת). אפר פחם מרחף המתאים לשימוש בבטונים ובמערכות צמנטיות הינו אפר בעל תכונות פוצולניות, הנקבעות לפי תכולת SiO_2 ו- Al_2O_3 . ההשפעות של אפר הפחם על תכונות הבטון יכולות להיות חיוביות אך יכולות להיות גם שליליות. לכן, התנאי הבסיסי הנדרש מאפר פחם המשמש בבטון הוא שלא יכיל מרכיבים היכולים לגרום לריאקציות כימיות שליליות עם מרכיבי הצמנט ובכך לגרום נזק לבטון (מרכיבים כמו כלורידים, CaO חופשי, SO_3 , MgO, Na_2O ו- K_2O). תנודות או תקלות בייצור החשמל בתחנת הכוח עלולות לפגום באיכות האפר ואף לפסול את השימוש בו לבטון. לכן יש צורך בהבטחת אחידות ואיכות האפר על ידי בקרה שוטפת של מעבדה.

בכתיבת תקן או מפרט, יש לבחון את חומרת הדרישות ואת שיטות הבדיקה והתאמתם. ברוב התקנים ניתן למצוא את הבדיקות הבאות להערכת איכות והתאמת אפר הפחם לשימוש בבטון: דקות, גודל גרגר, או שטח ספציפי; תכולת פחם בלתי שרוף בבדיקת הפסד בקלייה; אקטיביות פוצולנית; תכולת רטיבות; הרכב כימי או בדיקה ספציפית של מספר מרכיבים כימיים. התקן האירופי אף מוסיף על התקן הישראלי את הדרישות הבאות: תכולת כלורידים, תחמוצת סידן חופשי, איתנות, תכולה כוללת של אלקליים, פוספט מסיס, זמן התחלת ההתקשרות, פליטת חומרים מסוכנים וקרינה רדיואקטיבית.

בעקבות עבודה זו עודכן ת"י 1209, כדלהלן:

טבלה 1 - תכונות כימיות

מספר הסעיף	התכונה	הדרישה	שיטת הבדיקה
3.2.1	הפסד בקלייה (אחוזים למאה במסה), מקסי'	סוג א: 0 - 3.0 סוג ב: 0 - 7.0	ת"י 2 חלק 2 ^(א)
3.2.2	תכולת הכלורידים (Cl^-) (אחוזים למאה במסה), מקסי'	0.10	ת"י 2 חלק 21
3.2.3	תכולת הסיידן החמצני החופשי (אחוזים למאה במסה), מקסי'	2.5 ^(ב)	EN 451-1:2003
3.2.4	תכולת הגפרית התלת-חמצנית (SO_3) (אחוזים למאה במסה), מקסי'	3.0	ת"י 2 חלק 2
3.2.5	התכולה הכוללת של צורך חמצני, אלומיניום חמצני וברזל חמצני ($SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$) (אחוזים למאה במסה), מיני	70.0	ת"י 2 חלק 2 ^(ג)
3.2.6	תכולה כוללת של אלקלים, המחושבת כשווה ערך Na_2O (אחוזים למאה במסה), מקסי'	5.0	ת"י 2 חלק 21
3.2.7	תכולת מגנזיום חמצני (MgO) (אחוזים למאה במסה), מקסי'	4.0	ת"י 2 חלק 2 ^(ג)
3.2.8	תכולת הפוספט המסיס (P_2O_5), מקסי'	100 מ"ג לק"ג	EN 450-1:2005 Annex C
3.2.9	רטיבות (אחוזים למאה במסה), מקסי'	3.0	BS 3892-1:1997 Annex C
<p>הערות לטבלה:</p> <p>(א) משך הקלייה יהיה 1.0 שעה.</p> <p>(ב) אם תכולת הסיידן החופשי גדולה מ-1.0% במסה, תיבדק התאמת אפר הפחם לדרישת האיתנות⁽²⁾ לפי סעיף 3.3.3.</p> <p>(ג) הבדיקות המתוארות בסעיף 13 בתקן הישראלי ת"י 2 חלק 2 ייערכו בשינויים אלה: - חימום התערובת של הדוגמה עם העל-תחמוצת⁽²⁾ (סעיף 13.2 בתקן הישראלי ת"י 2 חלק 2) ייעשה בתנור בטמפרטורה $550^{\circ}C$, במשך 60 דקות. פעולת החימום תתחיל כאשר הטמפרטורה תגיע ל-$540^{\circ}C$. - בעת תפזור⁽²⁾ המסה המדובקת⁽²⁾ מהתנור (סעיף 13.2 בתקן הישראלי ת"י 2 חלק 2), תימשך הבדיקה אף אם ההתכה אינה נראית לעין בבירור. - כדי לפרק את שארית האידי (סעיף 13.7 בתקן הישראלי ת"י 2 חלק 2), יוספו 2 ג' אשלגן מימן גופרתי [אשלגן בי-סולפט] במקום תערובת הנתרן הפחמתי והנתרן הכלורי.</p>			

טבלה 2 - תכונות פיזיקליות

מספר הסעיף	התכונה	הדרישה	שיטת הבדיקה
3.3.1	דקות (אחוזים למאה ממסת אפר הפחם המשתייר על נפה, שהגודל הנומינלי של עינתה 0.045 מ"מ, בניפוי רטוב), מקסי'	30.0	EN 451-2:1994
3.3.2	מדד פעילות פוצולנית ^(א) (ראו הגדרה 1.3.2) (אחוזים למאה), מיני'	בגיל 28 יום : 75.0 בגיל 90 יום : 85.0	ת"י 2 חלק 1 ^(א)
3.3.3	איתנות ^(ב) ⁽²⁾ (מ"מ), מקסי'	10.0	ת"י 2 חלק 3 ^(א) ^(ד)
3.3.4	צפיפות	התוצאה תדווח	ת"י 2 חלק 6
3.3.5	זמן התקשרות (שעות), מקסי'	הגדלת זמן ההתקשרות של עיסת צמנט הכוללת 25% אפר פחם ו-75% צמנט בדיקה ^(א) , לעומת עיסת צמנט ללא אפר פחם : - התקשרות תחילית : 2 - התקשרות סופית : 6	ת"י 2 חלק 3 ^(א)
הערות לטבלה :			
<p>(א) תוצאות בדיקת מדד הפעילות הפוצולנית אינן מהוות מידע ישיר לגבי תרומת אפר הפחם לחוזק הבטון. היחס בין כמות אפר הפחם לכמות הצמנט בסעיף זה משמש לצורך בדיקה זו בלבד.</p> <p>(ב) אם תכולת הסיידן החמצני החופשי שנבדקה בהתאם לסעיף 3.2.3 אינה גדולה מ-1.0% במסה, אפר הפחם מתאים לדרישת האיתנות הנקובה בסעיף זה.</p> <p>(ג) בבדיקת מדד הפעילות הפוצולנית, האיתנות וזמן ההתקשרות, משתמשים בצמנט בדיקה כמוגדר בסעיף 1.3.3. הצמנט ייבחר על ידי יצרן אפר הפחם.</p> <p>(ד) האיתנות נקבעת עם 30% אפר פחם ו-70% צמנט בדיקה.</p>			