

אפר פחם בכלל חומרי הגלם לבנייה בבקרת הקרינה ממוצרי בנייה

דר' יעקב גילת

**כינוס מנהלת אפר הפחם
כפר המכביה, דצמבר 2013**

דרישת התקן

$$I = \frac{(1-e)C(^{226}\text{Ra})}{A(^{226}\text{Ra})_e} + \frac{C(^{232}\text{Th})}{A(^{232}\text{Th})_e} + \frac{C(^{40}\text{K})}{A(^{40}\text{K})_e} + \frac{eC(^{226}\text{Ra})}{A(^{222}\text{Rn})_e} \leq 1$$

כאשר

$C(A_1), C(A_2), \dots, C(A_n)$

ריכוז האקטיביות הממוצע של רדיונוקליד A_1, A_2, \dots, A_n במוצר הבנייה

$(A_1)_e, (A_2)_e, \dots, (A_n)_e$

קבוע הריכוז של הרדיונוקלידים A_1, A_2, \dots, A_n המהווים את הערך המרבי שנקבע לכל רדיונוקליד כפונקציה של הצפיפות והעובי במוצר

e

אמנציה של ראדון – שפיעת הראדון הנוצר בתוך מוצר הבנייה

ת"י 5098

מנת הקרינה השנתית מקרינת גמא ומראדון, המשמשת כבסיס לתקן (מיליסיוורט לשנה)

מנה כוללת	מראדון	מקרינת גמא	צפיפות (ק"ג/מ"ק)
1.10	0.85	0.25	> 1,500
0.55	0.35	0.20	600 – 1,500
0.50	0.35	0.15	< 600

* מנות קרינת הייחוס חושבו לפי המנה השנתית הממוצעת המתקבלת מקרינה חיצונית (גמא) ופנימית (ראדון) בחדרים סטנדרטיים שנבנו ממוצרי בנייה שהיו אופייניים בישראל בשנות ה-90 המאוחרות (טרם הכנסת אפר מרחף לבטון).

מדדי קרינה מרביים מותרים בהתאם למין מוצרי הבנייה ולפי מסתם המרחבית

מין מוצר הבנייה	צפיפות (ק"ג/מ"ק)	מדד הקרינה הכוללת	מדד קרינת גמא
מוצרי בנייה שאינם מיועדים לחיפוי	> 1,500	1.00	0.40
	600 – 1,500	0.60	0.35
	< 600	0.50	0.30

$$\frac{I_{\gamma}}{I} = \frac{0.25 + 0.3}{1.1 + 0.3} = \frac{0.55}{1.4} \cong 0.4$$

מטרות העבודה

- במסגרת חקירת השפעת מבנה הבטון על תנועת הרדון בבטון ושפיעתו, בתלות במקור אפר הפחם, בוצעו בדיקות מקבילות של תכונות הנדסיות של בטון (על פי ת.י. 118) וחשיפה לקרינה (על פי ת.י. 5098) של תערובות בטון עקביות (ייחוס ללא אפר; 75 ק"ג למ"ק; 120 ק"ג למ"ק) המכילות אפר מהמקורות העיקריים.
- מטרת הבדיקות להתוות את מרחב תכונות הבטון (ההנדסיות והסביבתיות) בתלות במקור האפר כדי לאפשר ליצרני הבטון תכנון אופטימלי של תערובות הבטון עם אפר.
- כיוון שהרדון הוא הגורם המשפיע יותר על מקדמי תקן החשיפה לקרינה (ת.י. 5098) חשוב לייצר בסיס מידע המקשר בין תכונות הבטון, תכונות האפר ותכונות הרדון.

תכנית עבודה

- הוכנו 21 תערובות בטון – תערובת ייחוס אחת (ללא אפר), 20 תערובות עם אפר בשיעור 75 ק"ג/מ"ק (כחליף חלקי לצמנט) ו-120 ק"ג/מ"ק (כחליף חלקי לצמנט ולחול) ממקורות שונים:

אינדונזיה	אוסטרליה	רוסיה	קולומביה	דרא"פ	מדינה
Blend	Newlands	Russian	Cal	BB Prime	מכרה
Melawan		SKH	CerD	GGV	
			La Loma LS		

- צמנט CEM II/A-M(S-V-L) 42.5, חול ממישור רותם, אגרגטים של דלומיט ומים בשיעורים הבאים (וכן מוספים בשיעור של עד 5~ ק"ג/מ"ק):

תערובת עם אפר (ק"ג/מ"ק)	ייחוס (ק"ג/מ"ק)	מרכיב
230 – 244	274	צמנט
480 – 523	568	חול
1350 – 1393	1386	אגרגטים
192	192	מים

- מכל תערובת הוכנו 3 קוביות (10×10×10 ס"מ) לבדיקות תכולת היסודות הרדיואקטיביים רדיום-226 (^{226}Ra), תוריום-232 (^{232}Th) ואשלגן-40 (^{40}K), ו-3 מנסרות (10×10×20 ס"מ) לבדיקות שפיעת ראדון.

תוצאות

* ריכוזי רדיונוקלידים - בקרל/ק"ג

תערובות בטון

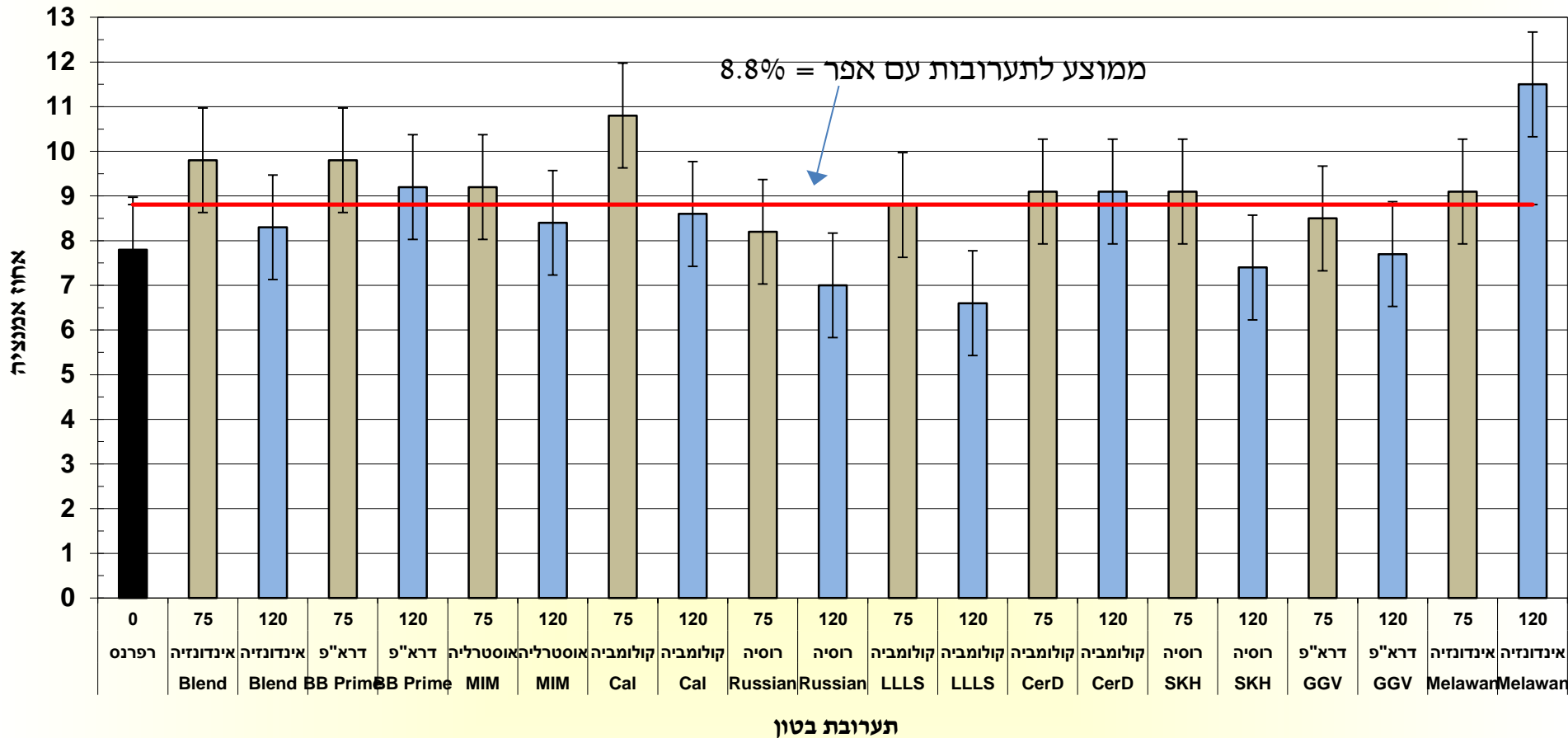
אמנציה (%)	^{40}K	^{232}Th	^{226}Ra		
6.6 – 11.5	48.4 – 85.6	7.2 – 19.5	30.9 – 42.4	תחום	עם אפר
8.8	62.8	10.4	35.3	ממוצע	
1.2	9.0	3.3	3.6	סטיית תקן	
7.8	43.3	5.4	37.2		ייחוס

אפר פחם

^{40}K	^{232}Th	^{226}Ra	
116.7 – 489.2	47.0 – 217.1	57.6 – 232.2	תחום
351	93.5	122.6	ממוצע
145.3	57.1	58.3	סטיית תקן

^{40}K	^{232}Th	^{226}Ra	
110.7	22.9	70.8	צמנט
74.8	7.8	9.2	חול
33.6	1.5	40.6	אגרגטים

תוצאות



- אמנציית הראדון מתערובת הייחוס היתה נמוכה מהאמנציה מתערובות שהכילו אפר, למעט 4 תערובות עם 120 ק"ג אפר למ"ק בהן האמנציה היתה נמוכה יותר.
- האמנציה של תערובות שהכילו אפר מ- 8 מקורות ירדה במעבר מתערובת עם 75 ק"ג אפר למ"ק לתערובת עם 120 ק"ג אפר למ"ק, והראתה מגמה הפוכה בתערובת עם אפר ממקור אחד (Melawan)
- בתערובת עם אפר ממקור בודד (CerD) לא חל הבדל באמנציה עם שינוי באחוז האפר בבטון.

תוצאות

תרומת מרכיבי הבטון לתכולה (בקרל/ק"ג)

מרכיב	אפר	צמנט	חול	אגרגטים	סיכום תכולה	תכולה מדודה
						בבטון
חלק יחסי בתערובת	0.03 – 0.05 (0.041)	~0.1	~0.2	0.57		
ריכוז, בקרל/ק"ג	²²⁶ Ra	1.8 – 11.8 (5)	1.8	23.1	33.8 – 43.8	30.9 – 42.4
	²³² Th	1.5 – 11 (3.8)	1.6	0.9	5.24 – 14.74	7.2 – 19.5
	⁴⁰ K	3.6 – 24.8 (14.4)	15	19.2	48.9 – 70.1	48.4 – 85.6

* () ממוצע

ערכי האינדקס בתערובות הבטון

אינדקס גמא	אינדקס כולל		
0.11 – 0.18	0.34 – 0.54	תחום	עם אפר
0.14	0.42	ממוצע	
0.02	0.05	סטיית תקן	
0.12	0.38		ייחוס

תרומת מרכיבי הבטון לאינדקס (%)

מרכיב	אפר (120 ק"ג/מ"ק)	צמנט	חול	אגרגטים
גמא	25	20	10	46
ראדון	16	18	5	61

תוצאות

תרומת האפר לאינדקס לעומת תערובת הייחוס

תרומה לאינדקס הכולל			תרומה לאינדקס קרינה חיצונית			
כלל תערובות עם אפר	120 ק"ג/מ"ק	75 ק"ג/מ"ק	כלל תערובות עם אפר	120 ק"ג/מ"ק	75 ק"ג/מ"ק	
-0.04 – 0.16	-0.04 – 0.16	0 – 0.11	-0.01 – 0.06	0.01 – 0.06	-0.01 – 0.03	תחום
0.037	0.047	0.027	0.016	0.024	0.007	ממוצע
0.05	0.062	0.035	0.018	0.018	0.013	סטיית תקן

תרומת האפר למנת קרינת הגמא ולמנה הכוללת (מיליסיוורט/שנה) לעומת תערובת הייחוס

תרומה למנה הכוללת			תרומה לאינדקס קרינה חיצונית			
כלל תערובות עם אפר	120 ק"ג/מ"ק	75 ק"ג/מ"ק	כלל תערובות עם אפר	120 ק"ג/מ"ק	75 ק"ג/מ"ק	
-0.06 – 0.22	-0.06 – 0.22	0 – 0.15	-0.01 – 0.03	0.01 – 0.03	-0.01 – 0.02	תחום
0.052	0.066	0.038	0.009	0.013	0.004	ממוצע
0.07	0.086	0.049	0.01	0.01	0.007	סטיית תקן