



פברואר 2018

### חישוב תרומת אפר פחם למנת הקרינה מבטון במגורים

חישוב תרומת אפר הפחם למנת הקרינה מבטון במגורים מתבסס על ממצאי בדיקות הנערכות מדי שנה במעבדות ממ"ג-שורק ואוניברסיטת בן-גוריון בדוגמאות בטון המיוצרות בהזמנת המנהלת במכון התקנים והמכילות אפר פחם ממקורות הפחם העיקריים שנשרפו באותה שנה. הבדיקות מתבצעות בהתאם לתנאי ת.י. 5098 – תכולת יסודות רדיואקטיביים טבעיים במוצרי בנייה וכוללות מדידת קצב מנת הקרינה החיצונית (גמא) והפנימית (רדון). הרכב חומרי הגלם של הבטון ותכולת אפר הפחם בהרכב משקפים תערובות נפוצות בענף הבנייה.

ערכי מנות הקרינה מחושבים בהנחת שהייה של אדם בחדר דמוי ממ"ד (6 פאותיו בנויים בטון) 7000 שעות בשנה (19 שעות ביממה בממוצע) המייצגת מצב קיצוני ומבטיחה כי גם במצב זה לא ייחשף אדם מהציבור למנת קרינה החורגת ממגבלת מנה של 0.3 mSv לשנה מעל לקרינת רקע, שנקבעה כסף מחמיר לשמירה על בריאות האדם.

לצורך חישוב אומדן תוספת מנת הקרינה הנגרמת למעשה בשל שילוב אפר פחם בבטון למגורים, לאדם מהציבור ולאוכלוסייה, יש להעריך את המנות בתלות באפיוני החדרים בדירה (קירות בטון) ומשך שהיית הדיירים בהם בהתאם לפעילות יומית מקובלת. החישוב מבחין בין משכי השהייה של הדיירים בחדרים השונים על פי גילם ומסכם את המנה הממוצעת לאדם מהציבור על פי התפלגות הגילאים באוכלוסייה.

ממצאי החישוב, הנערך על פי הגדרות התקן המבחין בין מנת הקרינה הכוללת גמא ורדון ומנת קרינת הגמא לבדה, משמשים להערכת מנות הקרינה הקולקטיביות להן נחשפת האוכלוסייה בכללה ועלותן השנתית בהתאמה, לפי ערך ההשקעה הנדרשת למניעת חשיפה לקרינה של סוורט-אדם שנקבע ע"י הוועדה התורתית מקצועית לפיקוח על הקרינה בישראל, בהתבסס על נתוני הלמ"ס על צפיפות הדיור והערכת מספר יחידות הדיור החדשות הנבנות בשנה מבטון המכיל אפר פחם. עלות מנות הקרינה מחושבת במונחי ערך נוכחי על פני תקופת הקיים של מבני בטון המכילים אפר פחם.

החישוב שלהלן מתבצע בהנחה שכ- 40% מהבטון משמש לבנייה שאיננה לשהיית בני אדם<sup>1</sup> וכן שכ- 80% מהבטון למבנים לשהיית בני אדם מיושם בבניית יחידות מגורים<sup>2</sup>. בשל העדפת תערובות בטון המכילות אפר מרחף מסיבות כלכליות לכל ייעוד המאפשר זאת בדרישות התכנון בכפוף לתקן, ניתן להניח שהתפלגות יישום אפר מרחף בתערובות בטון חופפת להתפלגות יעדי הבטון<sup>3</sup>. כמו כן שיעור הבטון המשמש לבניית מבנים לשהיית בני אדם שאינם מגורים (מבני ציבור, מסחר ותעשייה) אינו עולה על 8% מהבטון שאינו למגורים, לפיכך, בשל אופי הבנייה הציבורית, ניתן להתעלם מתרומתו של אפר הפחם בבטון בבנייה שאינה למגורים למנת הקרינה הקולקטיבית<sup>4</sup>.

לכל 100,000 טונות אפר פחם בשנה המשמשים כתוסף לבטון מתקבלות התוצאות הבאות:

גמא	כוללת (גמא ורדון)	
0.29	0.23	תרומת אפר פחם כתוסף לבטון למנת קרינה לציבור בשנה (man-Sv)
29,143	22,807	עלות תרומת אפר פחם כתוסף לבטון לקרינה בשנה (\$)
4,480,494	3,486,551	ע.נ עלות תרומת אפר פחם כתוסף לבטון לקרינה בתוחלת קיים מבני בטון עם אפר פחם (₪)
44.80	34.87	ע.נ. עלות תוספת מנת הקרינה לטון אפר (טון/₪)

<sup>1</sup> מקור: למ"ס 2016.

<sup>2</sup> מקור: התאחדות בוני הארץ.

<sup>3</sup> ההנחות נעשו לשם פשטות. אמנם אפר פחם אינו מנוצל כמעט, מסיבות טכנולוגיות, בבטון המשמש לבנייה טרומית, ומסיבות אדריכליות בבטון במבנים מסוימים. אולם בשל חלקם היחסי הנמוך של בטונים אלה בכלל הייצור ניתן להתעלם מהם ולהניח כאמור ששיעור אפר הפחם המשמש ליעודים שאינם מגורים זהה לשיעור הבטון המשמש ביעודים אלה.

<sup>4</sup> לפי למ"ס בשנת 2016 נבנו 11 מיליון מ<sup>2</sup> מבני שהייה (מגורים ושאונים מגורים). בהנחה שלבניית דירה בשטח 120 מ<sup>2</sup> נדרשים 112 מ<sup>3</sup> בטון, מתקבל היחס 0.93 מ<sup>3</sup>/מ<sup>2</sup> בטון. כלומר ענף הבנייה השתמש בשנת 2016 לכל היותר בכ- 10 מיליון מ<sup>3</sup> בטון (בבנייה הציבורית יחס מ<sup>3</sup>/מ<sup>2</sup> בטון ככל הנראה נמוך יותר). סך הבטון שנוצר באותה שנה היה כ- 16.5 מיליון מ<sup>3</sup>. לפיכך סך הבטונים שלא למבני שהייה היה בשנת 2016 לכל הפחות כ- 6.5 מיליון מ<sup>3</sup>. כלומר כ- 40%. בהתבסס על נתוני התאחדות בוני הארץ 20% מהבנייה בשנת 2016 היתה למבנים שאינם למגורים. בהנחה ש- 1/3 מהבטון בבנייה ציבורית (בתי ספר, בתי חולים, בתי מסחר, מבני משרדים, בתי עינוגים וכו') משמש למבנים שאינם לשהיית בני אדם (יסודות, פיתוח סביבתי, חדרי מדרגות ומעליות וכו') מתקבל שאפר הפחם המנוצל בבטון המשמש לבניית חללי השהייה בבנייה הציבורית מהווה כ- 8% (60%x20%/3) מכלל אפר הפחם לכל היותר. בהתחשב בכך שהבנייה הציבורית מאופיינת בחללים גדולים (המרחיקים את קירות הבטון מהשוהים בהם), שבבניינים רבים הקירות החיצוניים אינם עשויים בטון, שהחלונות רחבים בהרבה מהמקובל בבניית המגורים וכן שזמן השהייה בהם אינו עולה על 1/4 מהשהייה השנתית במבנים, ניתן להתייחס לתרומת אפר הפחם למנת הקרינה הקולקטיבית לה נחשפת האוכלוסייה השוהה בבנייה הציבורית כזניחה.



תוספת מנת קרינה משוקלת mSv/y		מרכיב באוכלוסייה	תוספת מנת קרינה mSv/y		שעות בשנה	שטח בטון	קירות בטון בנוסף לרצפה ותקרה	חדר
גמא	כוללת		גמא	כוללת				
0.005	0.004	19%	0.023	0.019	3650	47.36	4 + חלון + דלת	ממ"ד ילד (0 - 9)
0.002	0.002	16%	0.014	0.012	3285	32.76	2 + חלון	מגורים פינתי נער (10 - 19)
0.008	0.006	65%	0.011	0.009	2555	32.76	2 + חלון	מגורים פינתי בוגר
0.001	0.001	19%	0.005	0.004	2155	18.00	רצפה - תקרה	סלון ילד
0.001	0.001	16%	0.005	0.004	2042	18.00	רצפה - תקרה	סלון נער
0.004	0.003	65%	0.006	0.005	2549	18.00	רצפה - תקרה	סלון בוגר
		19%			1195	24.66	1 + חלון	חינוכי ילד
		16%			1673	24.66	1 + חלון	חינוכי נער
		65%			1896	24.66	1 + חלון	תעסוקתי בוגר
<b>0.020</b>	<b>0.016</b>	<b>תרומת אפר פחם למנת קרינה לאדם בדירה הבנויה בטון עם אפר פחם בשנה</b>						

0.006	0.004	19%	0.028	0.023	ילד	<u>תוספת מנת קרינה לקבוצות גיל</u>
0.003	0.003	0.003	0.020	0.016	0.020	
0.011	0.009	0.011	0.018	0.014	0.018	
0.020	0.016	0.020			משוקלל	

#### הנחות החישוב:

0.036	תוספת מנת קרינה כוללת מאפר בבטון בממ"ד mSv/y (נתוני מנהלת)
0.046	תוספת מנת קרינת גמא מאפר בבטון בממ"ד mSv/y (נתוני מנהלת)
3	חדרי מגורים בדירה טיפוסית + סלון
3.32	מספר דיירים בדירה
2017	התפלגות גילאים באוכלוסייה למ"ס 2017
10	שעות חדר ילד
9	שעות חדר נער
7	שעות שינה בוגר
5	שעות לימודים ילד
7	שעות לימודים נער
8	שעות תעסוקה בוגר
7,000	שעות שהייה בשנה אדם
100,000	טונות אפר מרחף המשמש כתוסף לבטון בשנה
20%	בטון אפר לבנייה שאינה למגורים
40%	שיעור בטון אפר לבנייה שאינה לשהייה (מגורים וציבורית)
48,000	טונות אפר בבטון למגורים בשנה
112	מ"ק בטון ליחידת מגורים (ממוצע ענפי)
0.1	טון אפר במ"ק בטון
4,286	יחידות דיור מבטון אפר בשנה
14,229	אוכלוסייה במגורי בטון אפר בשנה
100,000	עלות \$ man-Sv (ועמ"ת, עדכון 2015)
3.5	שע"ח \$/ש
1.4%	שער ניכיון ללא סיכון
68	תוחלת קיים מבנה בטון עם אפר פחם (שנים)