

Prof. Tuvia Schlesinger

Ariel University, Ariel, Israel

Tel: +972-54-7766357, Fax- +972-2-9309478.

E-mail: [Schlesinger@ariel.ac.il](mailto:Schlesinger@ariel.ac.il), [tuviasch@inter.net.il](mailto:tuviasch@inter.net.il),

ד' כסלו, תשע"ז

4 דצמבר, 2016

מר עומרי לולב

מנהל מנהלת אפר פחם

**הנדון: חוות דעת בנושא**

**הערכת סיכוני קרינה והיבטים רגולטוריים של השימוש באפר פחם תחתי מתחנות הכוח לייצור חשמל כמצע לגינות/מדשאות פרטיות או ציבוריות**

הנני מתייחס לפנייתך אלי בעקבות פניית אזרחית שרכשה דירת גן בפרויקט בהרצליה. הקבלן הבונה את דירות הגן השתמש באפר פחם תחתי (המקטע הגס לאחר ניפוי) שרכש מחברת החשמל כמצע לגינה שבחצרות דירות הגן.

האזרחית הביעה דאגה ביחס לנזקי הבריאות שילדיה צפויים לדעתה לסבול מהם עקב חשיפה לקרינה מייננת שמקורה באפר הפחם. במיוחד העלתה האזרחית חשש שילדיה ישחקו בגינה, יכניסו לפיהם אפר שיחדור לגופם ויגיע לדרכי העיכול. כתוצאה מכך עלולים הילדים, לדעתה, לספוג מנת קרינה מזיקה מהחומרים הרדיואקטיביים הטבעיים שבאפר. בהסבר בעל פה פירטת את פנייתך וביקשת עזרתי בחישוב כמותי של מנת הקרינה הצפויה לילד בתרחיש נדיר כזה. בנוסף ביקשת פרטים על הנחיות התקן הבינלאומי להגנה מקרינה משנת 2014 ביחס לבקרה ולהגבלת הרגולטוריות שיש או אין להטיל על השימוש באפר פחם תחתי בגינות, בהתחשב בריכוזי האקטיביות הנמוכים של חומרים רדיואקטיביים ממקור טבעי באפר.

חוות דעתי המוצגת להלן נשענת על ההיגיון הבריא ועל הידע והניסיון שצברתי בהכרת תרחישי חשיפה לקרינה חיצונית וזיהום פנימי בחומרים רדיואקטיביים ממקורות טבעיים ומלאכותיים, ובהערכה כמותית מדוקדקת של מנת הקרינה הצפויה לאדם, המעורב בתרחישים אלה בהתאם לגילו ומינו [1]. ההיבטים הרגולטוריים, החוקיים והמנהליים בחוות הדעת מבוססים על עיון מעמיק ולימוד פרטני של ההמלצות המעודכנות של הוועדה הבינלאומית להגנה רדיולוגית (ה-ICRP), להלן "הוועדה" כפי שפורסמו בפרסום 103 ו-104 של הוועדה משנת 2008 [2,3] ועל יישום ההמלצות האלה כפי שהוצגו בתקן הבינלאומי להגנה מקרינה בגרסתו המעודכנת משנת 2014 [4] (להלן

"התקן הבינלאומי"), בתקן האירופי להגנה מקרינה [5] משנת 2013, במדריך הבטיחות המיוחד של סבא"א בנושא הגנת הציבור מרדון ומקורות טבעיים אחרים של קרינה [6], ובמדריך בטיחות קודם של סבא"א בנושא פטורים ושחרורים [7], חוות הדעת תואמת את המסקנות המעשיות העולות מהמסמכים הבינלאומיים האלה באשר למהות ולהיקף הרצוי והאופטימאלי של הבקרה החוקית המנהלית על חשיפת העובדים ובני אדם מן הציבור הרחב לקרינה מייננת שמקורה בחומרים רדיואקטיביים טבעיים ("רדיונוקלידים ממקור טבעי". לפי המינוח של ה-ICRP ושל מסמכי סבא"א) באפר פחם, בבטון ובמוצרי צריכה אחרים.

## חוות הדעת

חוות דעתי מורכבת משני חלקים:

החלק הראשון מיועד לאזרחית המודאגת ולבעלי הגינות האחרות בפרויקט דירות הגן. בחלק זה מוצגת הערכת סיכונים כמותית לתרחיש ההיפותטי של הכנסת כמות אפר לפה בכוונה או במקרה וחדירת החומר לדרכי העיכול.

החלק השני של חוות הדעת מיועד לרשויות ומציג בקצרה את דרישות/ההנחיות התקן הבינלאומי באשר לסוג והיקף הבקרה המנהלית והחוקית שהרגולטור אמור להטיל או אינו אמור להטיל על יישומי חומרי גלם דוגמת אפר פחם מרחף או תחתי המכילים ריכוזים נמוכים של חומרים רדיואקטיביים ממקור טבעי.

### א. הסיכון בתרחיש של הכנסת כמות אפר תחתי ממצעי הגינות לפה על ידי ילדים

דאגתה של האזרחית אינה מוצדקת ואין לה בסיס עובדתי ומדעי. היא נובעת כנראה מאי ידיעת העובדות וממידע שגוי. מנת הקרינה הצפויה לתינוקות וילדים (וגם מבוגרים) בתרחיש חשיפה נדיר של הכנסה אקראית לפה של כמות קטנה של אפר פחם תחתי מקרקע הגינה, היא נמוכה מאוד וקרובה לאפס. המנה הצפויה מגיעה לפי חישוב כמותי מדוקדק (ראה בהנמקת חוות הדעת להלן) לערך מרבי של כ-  $2 \mu\text{Sv}$  (0.2 מילירם) בתרחיש קיצוני. בתרחיש הסביר והמקובל יותר המנה הצפויה מגיעה רק ל-  $0.8 \mu\text{Sv}$  (0.08 מילירם) לאירוע בודד. מנה זו היא מסדר הגודל של המנה הצפויה בתרחיש דומה שיתרחש בגינות הבנויות על מצע טוף (המכיל גם הוא, כמו כל הקרקעות בעולם, חומרים רדיואקטיביים ממקור טבעי בריכוזים נמוכים). מדובר כאמור באירוע חריג ולא יום יומי. גם אם לתינוק או לילד מילדי הבית או השכונה יתחשק פתאום "לאכול אדמה" מקרקע הגינה הוא יוכל לעשות זאת רק בחלקים מאוד קטנים של הגינה, שכן רב שטח הגינה מכוסה דשא והאזור המכוסה צמחיה אחרת אינו מיועד למשחקים. כסצנריו להערכה שנתית נניח לכן שהאירוע של בליעת אדמה מקרקע הגינה על ידי אותו תינוק/ילד יחזור על עצמו 8-12 פעמים בשנה. גם אז מנת הקרינה המצטברת הצפויה לתינוק/ילד מבליעת הרדיואקטיביות הטבעית שבאפר תגיע לפי האמור לעיל לכ-  $9.6 \mu\text{Sv}$  (0.96 מילירם) בלבד. המנה הזו קטנה בשלושה סדרי גודל ביחס למנת הקרינה מהרקע הטבעי (קרינה קוסמית, קרינת קרקע וגז רדון) שכל אזרח במדינת ישראל ובעולם (וכמובן גם הילדים

של האזרחית המודאגת) נחשפים לה יום ויום ושנה שנה. יצוין כי מנות קרינה שמתחת ל-  $10 \mu\text{Sv}$  (1 מילירם) גם כשהן חוזרות ונשנות נחשבות על ידי ה-ICRP והתקנים הבינלאומיים כזניחים (negligible, insignificant) לחישוב מנות קרינה מצטברות בהקשר לתקינה ותחיקה ואינם נלקחים בחשבון לצרכי הערכות סיכונים.

מכל האמור ברור על כן, שמהיבט של בטיחות קרינה, לא צפוי נזק בריאותי הניתן למדידה או להערכה מהשימוש באפר פחם תחתי, כמצע לגינה שבחצרות דירות הגן בהרצליה או בכל מקום אחר.

נעיר כאן שהדשן הכימי המקובל בו מדשנים גינות נוי בישראל מכיל אחוז גבוה של פוספטים המכילים אשלגן 40 ורדיואיזוטופים משרשרות האורניום והתוריום בריכוזי אקטיביות הגבוהים בהרבה מאלה המצויים באפר פחם תחתי. הממונה על הקרינה במשרד להגנת הסביבה, פוטר במפורש את כל תעשיית הפוספטים ומוצריה, כולל דשן כימי, מכל דרישות התקנות העוסקות בהגנת הציבור מקרינה מייננת. יתר על כן גינה של בית מגורים הוא אזור פתוח והקרקה בגינה כזו עלולה להכיל צואת ציפורים, צואת כלבים והפרשות של חיות ורמשים מכל הסוגים. לכן הכנסת עפר מקרקע הגינה לפיהם של ילדים המשתעשעים שם כרוך בסכנות בריאות חמורות במידה רבה מאוד מאלה הכרוכות בהכנסת קומץ אפר פחם תחתי לפה. חזקה על כן שכל אם תדאג שילדיה המשחקים בגן לא יטעמו מעפר קרקע הגינה.

**ב. ההיבט הרגולטורי של הבקרה על חשיפת העובדים והציבור לקרינה מייננת מיישומי אפר פחם**

#### תחתי בגינות

בהתחשב בריכוזי האקטיביות הנמוכים מאוד של חומרים רדיואקטיביים ממקור טבעי באפר תחתי, השימוש באפר הזה כמצע לגינות נוי בבתיים פרטיים ובגינות ציבוריות פטור, לפי המלצות ה-ICRP והתקנים הבינלאומיים העדכניים, מכל הגבלה ובקרה מנהלית, מההיבט של בטיחות קרינה. כמפורט בחלק ב של הנמקת חוות הדעת להלן, פטור כזה מתחייב הן אם מתייחסים לאפר התחתי כחומר גלם ומוצר לוואי של תעשיית האנרגיה, והן אם מתייחסים לאפר הזה כמוצר צריכה ובוחנים את מנות הקרינה הזניחות הצפויות לעובדים ולציבור מתרחישי חשיפה פוטנציאליים של ילדים או מבוגרים הכרוכים ביישום הספציפי הזה. מנות נמוכות אלה אינן מצדיקות התערבות הרשויות ונקיטת פעולות מנע/פעולות תיקון (remedial actions) כלשהן.

#### הנמקת חוות הדעת

הנמקת חוות הדעת לחלק א (הסיכון בתרחיש של הכנסת כמות אפר תחתי ממצעי הגינות לפה על ידי ילדים)

בטרם נעסוק בחישובים הכמותיים של מנות הקרינה הצפויות בתרחיש הנידון נעיר כי בליעת אפר פחם בכמות משמעותית מקרקע גינה שבחצרות בתי מגורים פרטיים על ידי ילדים או על ידי מבוגרים היא תרחיש נדיר ודי ביזארי. רשויות הבריאות והממונים על הגנת הסביבה בישראל כנראה לא מתייחסים כלל לסיכונים הכרוכים בתרחיש דומה לגבי חומרי גלם ומוצרי צריכה אחרים.

הם מתירים למשל שימוש חקלאי ללא הגבלות, מההיבט של בטיחות קרינה, בדשנים כימיים המכילים פוספטים שריכוזי האקטיביות של חומרים רדיואקטיביים טבעיים בהם עולים במידה ניכרת על אלה שבאפר פחם תחתי. הם גם לא מתייחסים לתרחישים של בליעת אדמה מקרקע של גינות שמפזרים עליהם זבל אורגני העלול להכיל שאריות של חומרי ריסוס.

#### הערכת סיכונים כמותית בתרחיש הנידון

הנתונים וההנחות ששימשו את מחבר חוות הדעת הזו להערכת מנת הקרינה, הצפויה לילדים המשחקים בגינה או על משטח דשא הצומח על מצע אפר פחם תחתי, כתוצאה מבליעת אפר ממצע הגינה, והחישוב הכמותי של הסיכון על בסיס נתונים אלה מוצגים בנספח 1. בנספח זה מוצגים נתונים על :

- ריכוזי האקטיביות של אשלגן 40 ושל איזוטופים משרשרת האורניום והתוריום באפר תחתי, לצורך החישובים, על בסיס נתונים שהתקבלו ממנהלת אפר פחם.
- כמות האפר שעלולה לחדור למערכת העיכול של ילד כתוצאה מתרחיש של הכנסת כמות אפר תחתי ממצע הגינה לפה, בתרחיש סביר ובתרחיש קיצוני של "אכילת" אפר (תרחיש הנחשב להתנהגות פתולוגית). כמות העפר שילד עלול לבלוע בעקבות הכנסה לפה במשך יום מוערכת על ידי ה-CDC בארה"ב במקסימום של - 500 מיליגרם ליום מכל המקורות (כלומר לא מטיוול קצר בגינה) . כמות זו נחשבת לתופעה פתולוגית ובדרך כלל הערכים המרביים בפועל קטנים פי 10-5 לערך. הערך המעשי המוצע על ידי ה-EPA הוא מקסימום של 200 מיליגרם ליום.
- אחוזי המעבר של אשלגן 40 ושל איזוטופים משרשרת האורניום והתוריום ממערכת העיכול לדם. על בסיס הנתונים שהוצגו בתקן הבינלאומי להגנה מקרינה משנת 2014 [4].
- טבלאות עם מקדמי מנת הקרינה האפקטיבית המחויבת (committed effective dose) ליחידת אקטיביות החודרת לגוף בדרכי האכילה, לילדים בני שנה ומעלה (ערכו של המקדם גבוה יותר לבני שנה מאשר לכל גיל גבוה יותר). הטבלאות לקוחות מהתקן הבינלאומי להגנה מקרינה משנת 2014 [4].

על בסיס נתונים אלה חושבה בטבלה המוצגת בנספח 3 מנת הקרינה האפקטיבית המחויבת המרבית הצפויה בתרחיש פתולוגי של בליעת 500 מיליגרם אפר. המנה הצפויה לתרחיש כזה מגיעה לכ-  $2 \mu\text{SV}$  (0.20 מילירם). בתרחיש הסביר והמקובל יותר של בליעת 200 מיליגרם אפר ביום המנה הצפויה קטנה פי 2.5, והיא מגיעה ל-  $0.8 \mu\text{Sv}$  (0.08 מילירם). באופן מעשי תינוק או ילד קטן לא ישהה בגינה אף פעם במשך יום שלם לכן צריכה של כמות האפר שלעיל תצטבר רק בסדרה של 10-5 שהיות בגינה למספר שעות כל פעם ללא השגחה.

לסיום נעיר כאן כי מנות קרינה שמתחת ל-  $10 \mu\text{Sv}$  (1 מילירם), גם כשהן חוזרות ונשנות, נחשבות על ידי ה-ICRP והתקנים הבינלאומיים כזניחים (negligible, insignificant) לחישוב מנות קרינה מצטברות בהקשר לתקינה ותחיקה ואינם נלקחים בחשבון לצרכי הערכות סיכונים.

### הנמקת חוות הדעת לחלק ב (ההיבט הרגולטורי)

שאלת הבקרה החוקית והמנהלית על חשיפת הציבור לקרינה מייננת שמקורה בחומרים רדיואקטיביים ממקור טבעי באפר פחם תחתי, המשמש מצע לגינות נוי, היא חלק בלתי נפרד משאלת הבקרה החוקית והמנהלית על חומרי גלם ומוצרי צריכה (consumer products) המכילים חומרים רדיואקטיביים ממקור טבעי בריכוז זה או אחר. מחבר חוות דעת זו התייחס לשאלה זו בחוות דעת פרטנית וארוכה שהגיש למנהלת אפר פחם ביולי 2016 במסמך שכותרתו "חוות דעת בנושא "תיעדוף" בחלוקת אפר פחם לתעשיית המלט בהנמקה של חתירה ל"שיויון בנטל"". השאלה נידונה בהרחבה גם בדו"ח מקיף שהוגש למנהלת אפר פחם ביולי 2012 שכותרתו "ההנחיות העדכניות של סבא"א להיקף הבקרה המנהלית על חומרים רדיואקטיביים ממקור טבעי – השלכות על הבקרה על אפר פחם ויישומי אפר פחם בישראל ועל ניצול האפר בתעשיית הבטון בפרט, חוות דעת מוגשת למנהלת אפר פחם", יולי 2012.

חוות הדעת שלעיל תואמת את המסקנות המעשיות העולות מהמלצות ה-ICRP המעודכנות כפי שהוצגו בפרסום 103 ו-104 של ה-ICRP משנת 2008 [2,3] ובתקן הבינלאומי להגנה מקרינה בגרסתו המעודכנת משנת 2014 [4] וגם בתקן האירופי להגנה מקרינה משנת 2013 [5], באשר למהות ולהיקף הרצוי והאופטימאלי של הבקרה החוקית המנהלית על חשיפת העובדים ובני אדם מן הציבור הרחב לקרינה מייננת שמקורה בחומרים רדיואקטיביים טבעיים ("רדיונוקלידים ממקור טבעי"). לפי המינוח של ה-ICRP ושל מסמכי סבא"א) באפר פחם, בבטון ובמוצרי צריכה אחרים.

נזכיר בקצרה כי הדרישות הנוגעות לבקרה המנהלית והחוקית על חשיפת עובדים ובני אדם מן הציבור הרחב לקרינה מייננת מקורות טבעיים ומלאכותיים מוצגות בכל המסמכים האלה בהקשר לשלושה מצבי חשיפה שהוגדרו בהמלצות ה-ICRP הנ"ל, דהיינו:

1. מצבי חשיפה מתוכננים (planned exposure situations).
2. מצבי חשיפה בחירום (emergency exposure situations).
3. מצבי חשיפה קיימים (existing exposure situations).

דרישות התקן הבינלאומי שונות לשלושת מצבי החשיפה האלה ולשני סוגי החומרים הרדיואקטיביים שהוועדה והתקן הבינלאומי מבדילים ביניהם, דהיינו רדיו-נוקלידים ממקור מלאכותי (radionuclides of artificial origin) ורדיו-נוקלידים ממקור טבעי (radionuclides of natural origin).

את שלושת הדרישות הבסיסיות (basic requirements) של ההגנה מקרינה, דהיינו הצדקה (justification) ואופטימיזציה (optimization) יש ליישם לפי הנחיות ה-ICRP בכל שלושת מצבי החשיפה בהתאם להנחיות פרטניות וספציפיות שהוועדה והתקן מפרטים לכל מצב חשיפה בנפרד.

יישום הדרישה השלישית של "גבולות מנה/ הגבלות מנה" (dose limits/dose limitation) רלוונטי רק למצבי חשיפה מתוכננים. במצבי חשיפה קיימים ומצבי חשיפת חירום תופסים את מקומם של גבולות המנה "רמות הייחוס" (reference levels). משמעות "רמות הייחוס" ואופן יישומם הוסברו בפרוטרוט בחוות הדעת בנושא ה"תיעדוף" ו"שיוויון הנטל" שהוזכרו לעיל.

לעניינו כאן נזכיר כי תרחישי החשיפה לקרינה שמקורה ברדיונוקלידים ממקור טבעי, בריכוזי אקטיביות האופייניים לאפר פחם תחתי ומרחף, ועד פי 20-4 מריכוזים אופייניים אלה, מיוחסים בתקן הבינלאומי ומסמכי סבא"א ל"מצבי חשיפה קיימים", עם כל המסקנות המתבקשות מכך באשר לבקרה המנהלית והחוקית על חשיפות אלה (ראה פרטים בסעיף 2.3 בנספח 3 לחוות הדעת בנושא ה"תיעדוף" ו"שיוויון הנטל" שהוזכר בחוות דעת זו לעיל).

החשיפה לקרינה מרדיונוקלידים ממקור טבעי במוצרי צריכה, מזון לבני אדם ולבעלי חיים, דשנים לשימוש חקלאי ומוצרי בניה וחומרי בניה (construction material), משויכת ל"מצבי חשיפה קיימים", ללא תלות בריכוזי האקטיביות של הרדיונוקלידים ממקור טבעי במוצרי צריכה אלה (ראה בסעיף 2.3 בנספח 3 לחוות הדעת בנושא ה"תיעדוף" ו"שיוויון הנטל" שהוזכר בחוות דעת זו לעיל).

מעצם הגדרת מצבי חשיפה קיימים לא נדרשת בקרה על חשיפת עובדים ובני אדם מן הציבור במצבי חשיפה כאלה אלא אם הרשויות החליטו על נקיטת אמצעי תיקון/אמצעי מנע (remedial actions). החלטה כזו תתקבל לאחר בחינת תרחישי חשיפה אפשריים במצבים כאלה והגעה למסקנה כי החשיפות הצפויות תגרומנה לתוספת משמעותית לחשיפת העובדים או בני אדם מן הציבור מעבר לרמות ייחוס (reference levels) שייקבעו. לפי סעיף 5.22 בפרק 5 של התקן הבינלאומי רמות הייחוס האלה לא תעלינה על 1 mSv לשנה. ממסמכי סבא"א אחרים עולה כי לא סביר לקבוע רמת ייחוס הנמוכה מ-0.3 mSv לשנה. את רמות הייחוס תקבענה הרשויות בתהליך של הצדקה ואופטימיזציה על בסיס שיקולי עלות תועלת וסיכון תועלת. בהקשר ליישומי אפר פחם בתעשיית הבניה רמת הייחוס שנקבעה ברוב מדינות אירופה והומלצה גם על ידי סבא"א היא אכן תוספת מנה של 1 mSv לשנה. מהערכת מנת הקרינה הצפויה מתרחישי החשיפה בהקשר לשימוש באפר פחם תחתי בגינון עולה כי מנת הקרינה הצפויה בתרחישים אלה זניחה ולא עולה בכל מקרה על 0.03 mSv לשנה. לכן אין כל סיבה לנקוט באמצעי תיקון/אמצעי מנע כלשהם בהקשר ליישום זה.

[1] ט. שלזינגר, פרקים בדוזימטריה של קרינה. מהדורה חמישית מורחבת ומעודכנת, מכון ההדרכה על שם י.פייגה, ממ"ג שורק, 1994.

[2] The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Pub. 103, Annals of the ICRP vol. 37 No. 2-4, Elsevier. 2008.

[3] Scope of Radiological Protection Control Measures, ICRP Pub.104, Annals of the ICRP Vol. 37 No.6, Elsevier 2008.

[4] Radiation Protection and Safety of Radiation Sources, International Basic Safety Standards, Part 3, General Safety Requirements Part 3, IAEA, Vienna, 2014.

[5] Council Directive 2013/59/ Euratom of 5 December 2013, laying down Safety Standards for protection against the dangers arising from exposure to Ionizing Radiation, and repealing Directives 89/618 Euratom, 90/641/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom.

[6] Protection of the Public Against exposure Indoors Due to Radon and Other Natural Sources of Radiation, IAEA Safety Standard Series SSG-32, IAEA, Vienna, 2015.

[7] (IAEA 2004) - Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance, Safety Standard Series No. RS-G-1.7, IAEA, Vienna, 2004.