

י"ז שבט תשע"ו

27 ינואר 2016

הנדון: מסמך רקע לעדכון ערכי איכות אוויר

1. רקע:

תקנות אוויר נקי (ערכי איכות אוויר)(הוראת שעה), תשע"א – 2011 (הלן – התקנות) הותקנו בשנת 2011 ותוקנו בשנת 2013. בתיקון התקנות נקבע כי תוקפם של פרטים 7, 10, 15, 16, 23 ו- 27 לחלק א' בתוספת השנייה יעמוד בתוקף עד 1 במרס 2016. פרטים אלו הם ערכי הסביבה של המזהמים הבאים: טריכלורואתילן, פורמאלדהיד, 1, 3 בוטאדיאן, בנזן, קדמיום (בחומר חלקיקי עדין שקוטר חלקיקיו קטן מ- 10 מיקרומטר) וכספית (בחומר חלקיקי עדין מרחף).

במסגרת איסוף המידע לעדכון ערכי איכות האוויר של מזהמים אלו נמצא כי במהלך השנים הצטבר מידע חדש על ההשפעות הבריאותיות של המזהמים - טריכלורואתילן, פורמאלדהיד, 1, 3 בוטאדיאן וכספית, וכי יש לבחון את עדכונם של ערכי היעד לאותם המזהמים.

מסמך זה מרכז את חומר הרקע להמלצות המשרד להגנת הסביבה לעדכון ערכי איכות אוויר (ערכי יעד וסביבה) של המזהמים שהוזכרו לעיל.

מכיוון שהחומרים הנידונים במסמך מוגדרים כמסרטנים ודאיים לאדם, המסמך מתמקד בעיקר בהשפעותיהם הבריאותיות המסרטנות ומפרט השפעות בריאותיות בחשיפה קצרת טווח אם זו השפיעה על ההמלצות לקביעת ערכי איכות האוויר.

2. השיקולים העומדים בבסיס ההמלצות לערכי יעד וסביבה:

2.1. המלצות לעדכון ערכי יעד: המלצה לקביעת ערכי היעד נעשתה בהתאם למתודולוגיה שנקבעה בדוח הועדה לקביעת ערכי ייחוס סביבתיים למזהמים כימיים באוויר (להלן - דו"ח ועדת אלמוג) שפורסם במרץ 2006.

2.2. המלצות לעדכון ערכי סביבה: המלצה לעדכון וקביעת ערכי הסביבה נעשית על בסיס ערכי היעד ובשאיפה להשיגם, הידע המדעי והטנולוגי העדכני, ובהתחשב באפשרויות המעשיות למניעת חריגה מערכי היעד. לצורך כך נאסף ונבחן המידע שלהלן:

2.2.1. סקירת ספרות: השפעות בריאותיות של המזהם, ערכי יעד וסביבה בגופים רגולטורים מובילים ובמדינות בעלות אקלים דומה לישראל.

2.2.2. מקורות הפליטה של המזהם ומצאי הפליטות של המזהם בישראל.

2.2.3. חיזוי ערכי סביבה של המזהם לפי תרחיש "עסקים כרגיל".

2.2.4. אמצעי מדיניות להפחתת המזהם וחיזוי ערכי סביבה של המזהם לאחר הפעלת אמצעי המדיניות.

2.2.5. תמונת המצב של המזהם באמצעות ניטור ודיגום, מאפיינים ייחודיים לישראל.



לצורך המלצה לקביעת ערך הסביבה, ראשית המשרד בדק האם ניתן לקבוע את ערך הסביבה כערך היעד. לצורך כך נבדקה ישימות ערך היעד בהתחשב במקורות הפליטה של המזהם, שכיחותו בסביבה, יכולת ההפחתה של המזהם ממקורות הפליטה השונים באמצעות אמצעי המדיניות הקיימים.

יצוין, כי גם אם במצב הקיים ישנן או צפויות חריגות מערך היעד (או מערך הסביבה המוצע) וישנה אפשרות מעשית למניעת חריגות אלו, יקבע ערך הסביבה כערך היעד.

במקרה בו לא קיימת ישימות לאימוץ ערך היעד, נקבע ערך סביבה הקרוב ביותר לערך היעד אם באמצעות החרגה מנומקת באחוז מסוים מהזמן או בהתאם לערכים המקובלים במדינות מפותחות בעולם.

3. בחינת מזהמי האוויר

3.1 טריכלורואתילן (TCE)

3.1.1 סקירת ספרות

הוגדר ע"י ה-IARC, הסוכנות הבינלאומית לחקר הסרטן (International Agency For Research Cancer) מטעם ארגון הבריאות העולמי (WHO) כמסרטן ודאי לאדם.

השפעות מסרטנות של החשיפה ל-TCE

במהלך השנים הצטבר מידע רב על המגוון הרחב של השפעות בריאותיות שליליות הקשורות לחשיפת האדם ל-TCE, כתוצאה מחשיפות קצרות או מחשיפות ארוכות טווח¹. מגוון ההשפעות כולל פגיעה במערכות רבות של הגוף: מערכת העצבים המרכזית, כליות, כבד, מערכת החיסון, מערכת ההורמונאלית. כמו כן, מחקרים רבים הצביעו על הקשר בין חשיפה ל-TCE והתפתחות של סרטן באברים שונים – כליה, כבד, צוואר הרחם, ריאות, מערכת הלימפה, ומערכת הפוריות^{2,3}.

באוקטובר 2012 פורסמו המסקנות של קבוצת המומחים שכונסה ע"י ה-IARC, ע"מ לסכם את הידע המדעי המצטבר בנושא ההשפעות המסרטנות של ה-TCE⁴.

¹ ATSDR: Addendum To The Toxicological Profile For Trichloroethylene. Agency for Toxic Substances and Disease Registry Division of Toxicology and Human Health Sciences Atlanta, GA 30333 January 2013

² Chiu WA, Jinot J et al.: Human health effects of trichloroethylene: key findings and scientific issues. Environ Health Perspect. 2013 Mar;121(3):303-11.

³ Scott CS, Jinot J.: Trichloroethylene and cancer: systematic and quantitative review of epidemiologic evidence for identifying hazards. Int J Environ Res Public Health. 2011; 8(11): 4238-72

⁴ Guha N, Loomis D et al (International Agency for Research on Cancer Monograph Working Group): Carcinogenicity of trichloroethylene, tetrachloroethylene, some other chlorinated solvents, and their metabolites. Lancet Oncol. 2012 Dec;13(12):1192-3.

המסקנות התמקדו בשלוש נקודות:

א. קיים אוסף של מחקרים בעלי מתודולוגיה מבוקרת, המצביעים על קשר בין חשיפה ל-TCE וסרטן הכליות (Renal-cell carcinoma)^{5,6}. חלקם הצליחו לזהות יחס מנה-תגובה בין החשיפה ל-TCE וסרטן הכליות.

ב. קיים בסיס מדעי מוגבל המצביע על קיום של קשר בין חשיפה ל-TCE והתפתחות סרטן הכבד וסרטן מערכת הלימפה (NHL -non-Hodgkin lymphoma). כמו כן, בקרב תינוקות שנולדו להורים שנחשפו לרמות גבוהות במיוחד של TCE, קיימת עלייה בשיעורי המומים המולדים, בעיקר של הלב. קיים קושי להוכיח בוודאות את הקיום של קשרים אלה אצל בני האדם, עקב נוכחות של חשיפות בו-זמניות לחומרים כימיים נוספים, בעלי פוטנציאל מסרטן.

ג. החשיפה ל-TCE גורמת להפעלת מספר מנגנונים גנו-טוקסיים ואחרים, התומכים בהתפתחות תהליך מסרטן בכבד. כמו כן קיימת פגיעה במערכת החיסון של הגוף, היכולה להוביל להתפתחות של תהליך מסרטן במערכת הלימפה.

כתוצאה מהמסקנות האלה, ה-IARC החליט להגדיר מחדש את ה-TCE כמסרטן וודאי לאדם (Carcinogenic to humans - Group 1)⁷.

הסוכנות האמריקאית להגנה על הסביבה (EPA) סיימה גם כן לבחון מחדש את הסיווג של ה-TCE כחומר מסרטן אפשרי לאדם (Possible Human Carcinogen). בספטמבר 2011 מומחי מאגר ה-IRIS (Integrated Risk Information System) הגדירו את ה-TCE כחומר מסרטן וודאי לאדם ללא קשר לדרך החשיפה (human carcinogen regardless of the route of exposure)⁸. למרות זאת, התהליך של סווג מחדש של ה-TCE ב-EPA, הסתיים רק ב-25 ליוני 2014 עם פרסום הדוח הסופי של ה-EPA בנושא הערכת הסיכונים של החשיפה ל-TCE⁹.

⁵ **Kelsh MA, Alexander DD et al.:** Occupational trichloroethylene exposure and kidney cancer: a meta-analysis. Epidemiology. 2010 Jan;21(1):95-102

⁶ **Karami S Lan Q et al.:** Occupational trichloroethylene exposure and kidney cancer risk: a meta-analysis. Occup Environ Med. 2012 Dec;69(12):858-67

⁷ **WHO IARC:** IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, vol 106. Some chlorinated solvents and their metabolites. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 2013.

⁸ **United States Environmental Protection Agency (US-EPA):** Toxicological Review Of Trichloroethylene Chapter 6 (Cas No. 79-01-6 (In Support Of Summary Information On The Integrated Risk Information System (IRIS). EPA/635/R-09/011F, 2011

⁹ **United States Environmental Protection Agency (US-EPA):** TSCA Work Plan Chemical Risk Assessment Trichloroethylene: Degreasing, Spot Cleaning and Arts & Crafts Uses. Office of Chemical Safety and Pollution Prevention, EPA Document#740-R1-4002. June 2014



ע"מ לכמת את הסיכון המסרטן, הוגדרה יחידת סיכון (RU - Risk Unit), המצביעה על הסיכון לפתח סרטן כתוצאה של חשיפה נשימתית לאורך 70 שנה לריכוז של 1 ug/m^3 של TCE.

יחידת סיכון של ה-TCE (חשיפה נשימתית) $\text{RU} = 4 \times 10^{-6} / \text{ug/m}^3$ (עבור סרטן הכליות)

על סמך הגדרה זו, חשיפה לאורך כל החיים לרמה של 2 ug/m^3 של TCE באוויר תגרום לתוספת תחלואה מסרטנת של 1 ל-100.000 איש.

יש לציין כי EPA קבע ערך ייחוס לחשיפה כרונית נשימתית לטריכלורואתילן (2 ug/m^3) על בסיס השפעות נוספות על מערכת האימונית וכן על מומי לב (Fetal cardiac malformations).

מעבר לקשר בין חשיפה ל-TCE והתפתחות סרטן בכליות, מחקרים רבים הצביעו על קשר אפשרי בין החשיפה ל-TCE והתפתחות סרטנים במערכת הדם¹⁰, בעיקר לימפומה מסוג non-Hodgkin lymphoma (NHL)^{11,12}, ולאוקמיה מסוג Myeloid leukemia¹³. מחקרים על בעלי חיים מצביעים על יכולת קרצינוגנית והתפתחות הסרטן **בריאות**, כליות, כבד, אשכים ולימפומה¹⁴.

בנוסף, חשיפות קצרות וחוזרות לרמות חריגות של TCE (במתאר תעסוקתי) הן כנראה בעלות פוטנציאל מסרטן חמור יותר (או ככל הפחות בעלות ערך דומה) מאשר החשיפות הממושכות לרמות גבוהות של TCE. המחקרים השונים^{15,16} מצאו באופן עקבי, עדות לקשר בין קיום תדיר של חשיפה ל"חריגות" (Peaks) קצרות וגבוהות ל-TCE והתפתחות של גידולים סרטניים אצל הנחשפים. מצב זה דומה למה שתואר בשנים האחרונות במקרה של חשיפה לבנון.

3.1.2 ערכי איכות אוויר בארץ ובעולם:

¹⁰ Karami S, Bassig B et al.: Occupational trichloroethylene exposure and risk of lymphatic and haematopoietic cancers: a meta-analysis. Occup Environ Med. 2013 Aug;70(8):591-9.

¹¹ Purdue P, Bakke B et al.: A Case-Control Study of Occupational Exposure to Trichloroethylene and Non-Hodgkin Lymphoma. Environ Health Perspect. 2011 Feb;119(2):232-8.

¹² Mandel JH, Kelsh MA et al.: Occupational trichloroethylene exposure and non-Hodgkin's lymphoma: a meta-analysis and review. Occup Environ Med 2006;63:597-607

¹³ Talibov M, Lehtinen-Jacks S et al.: Occupational exposure to solvents and acute myeloid leukemia: a population-based, case-control study in four Nordic countries. Scand J Work Environ Health. 2014 May 19.: 3436.

¹⁴ <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol106/mono106-001.pdf>

¹⁵ Kim I, Ha J et al.: The Relationship between the Occupational Exposure of Trichloroethylene and Kidney Cancer. Ann Occup Environ Med. 2014 Jun 3;26:12

¹⁶ Charbotel B, Fevotte J et al: Case-control study on renal cell cancer and occupational exposure to trichloroethylene. Part II: Epidemiological aspects. Ann Occup Hyg. 2006 Nov;50(8):777-87

USEPA – יחידת סיכון של ה- $TCE = 4 \times 10^{-6} \text{ ug/m}^3$, המתאימה לערך ייחוס שנתי של- 2 מק"ג/מ"ק (1: 100,000, IRIS, 2011).

WHO – המלצות ארגון הבריאות העולמי – יחידת סיכון של ה- $TCE = 4.3 \times 10^{-7} \text{ ug/m}^3$

המתאימה לערך ייחוס שנתי של- 23 מק"ג/מ"ק (1: 100,000). המלצות אלו של ארגון בריאות העולמי לא עודכנו מאז השינוי בסיווג של טריכלורואתילן כמסרטן ודאי בבני אדם או הממצאים חדשים על השפעות על מערכת האימונית ומומי לב.

EEA – אין ערך ייחוס או ערך סביבה

ישראל-

ערך יעד: יממתי – 23 מק"ג/מ"ק (פי 3 מהערך השנתי)

שנתי – 7.7 מק"ג/מ"ק (מבוסס על CFR-RSD-EPA)

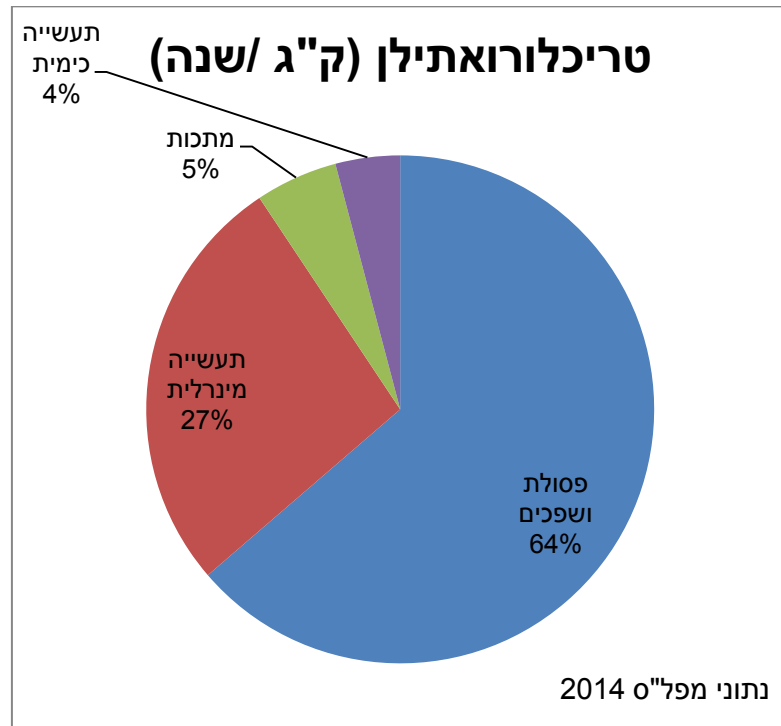
ערך סביבה: יממתי – 1000 מק"ג/מ"ק

3.1.3 מקורות הפליטה של המזהם:

טריכלורואתילן משמש בתעשייה בעיקר כממס לניקוי גריז ושמנים מחלקי מתכת וכן בשימושים שונים כגון בדבקים ובחומרים להסרת צבעים. מסיבה זו ניתן למצואו בקרבת מפעלים אשר עושים בו שימוש או אף בבתים ובמשרדים המשתמשים במוצרי צריכה בהם הוא מצוי. כיום קיימת מגמה של החלפת השימוש בחומר זה בחומרים רעילים פחות.

טריכלורואתילן משתחרר לאוויר מתהליכי ייצור תעשייתיים, ממוצרים ביתיים המכילים אותו או מגיע למים דרך שפכים תעשייתיים.

מצאי הפליטות של טריכלורואתילן:



3.1.4 חיזוי ערכי סביבה של טריכלורואתילן לפי תרחיש "עסקים כרגיל"

מאחר ומקורות הפליטה העיקריים ידועים לפי המפלס הם מספר קטן של מפעלי ייצור חומרים כימיים באשדוד ובחוף הכרמל, מפעל לציפוי מתכות בעמק יזרעאל, מטמנות ומפעלים לייצור אספלט, עיקר המגבלה על הפליטות היא בתקן הפליטה שניתן או יינתן בהיתר הפליטה למפעלים הגדולים. באשר למטמנות נעשתה הרצה של מודל לפיזור מזהמי אוויר, הרצה בתנאים מחמירים למטמנת חגל, הנמצאת בסמוך לאוכלוסיה ונמצאו ריכוזים נמוכים מאד בסביבה. נציין, כי כמות הפליטות במפלס למטמנות ולמפעלים לייצור אספלט היא הערכה חישובית ולא מדידה.

3.1.5 אמצעי מדיניות להפחתת המזהם, חיזוי ערכי סביבה של המזהם לאחר הפעלת אמצעי המדיניות

ישנה כיום בחלק מהמפעלים מגמה של הפחתת השימוש בחומר זה ומעבר לחומרים אחרים, המסוכנים פחות לבריאות האדם. לדוגמא: מפעל "אגן אדמה" באשדוד. בנוסף, המשרד פועל מול מקורות הפליטה המשמעותיים במסגרת התנאים בהיתרי הפליטה ורישיונות העסק, ליישום הטכנולוגיות המיטביות הזמינות (BAT) של מזהמים מהסוג הזה.

3.1.6 תמונת מצב של טריכלורואתילן בסביבה:

לטריכלורואתילן אין מכשור לניטור רציף ולכן מידע על הרמות השונות בארץ נאסף במסגרת הדיגומים הסביבתיים שנעשות ע"י אגף איכות אוויר.



טריכלורואתילן נמדד במספר רב של נקודות ובמספר סבבים גדול בשנים 2011-2015. הריכוזים הגבוהים ביותר נמדדו בניר גלים בסמוך לאזור התעשייה הצפוני באשדוד ביוני 2015 - 13.2 מק"ג/מ"ק, באזור התעשייה הצפוני באשדוד במאי ובאוקטובר 2011 - 5.47 ו- 7.68 מק"ג/מ"ק בהתאמה. בשנת 2014 נערכו 6 סבבי מדידות לטריכלורואתילן בחודשים אוקטובר עד דצמבר 2014, ובשנת 2015 20 סבבים של מדידות. דוח זה מבוסס על 13 סבבים שתוצאותיהם הגיעו למשרד עד כתיבת דוח זה. בכל השנים בהן נערכו מדידות לא נמצאו ריכוזים העולים על ערך היעד היממתי (23 מק"ג/מ ק). מרבית הריכוזים נמוכים מאוד יחסית לערך היעד היממתי (טבלה 1).

טבלה 1: ריכוזים יממתיים של טריכלורואתילן בשנים 2010-2013 ו- 2015

מחוז	נקודת דיגום	תאריך	ריכוז יממתי (מק"ג/מ"ק)
צפון	גוש שגב-שכניה	2015	0.114 – 0.0395
חיפה	איגוד ערים חיפה	9/2010	0.01
		11/2015	0.0993
	חוף שמן- חיפה	9/2010	0.03
		11/2010	0.09
	נוה שאנן-חיפה	2015	0.151 – 0.0382
	רח' הרצל - חיפה	2015	0.175 – 0.0379
	שכונת אחוזה - חיפה	11/2015	0.0822
	קרית חיים - חיפה	2015	0.167 – 0.0377
	שכונת חליסה – חיפה	11/2015	0.0856
	מועצה מקומית ק. טבעון	11/2010	0.01
	ק. בנימין-קרית אתא	2015	0.0905 – 0.0386



0.0886	11/2015	נשר	
0.103 – 0.0389	2015	גן שמואל	מרכז
0.0808	2/2011	אריאל	
0.054	4/2011		
0.099	5/2011		
0.499	6/2013		
0.0891 - 0.0377	2015		
0.09	5/2011		
0.0978 – 0.0384	2015		
0.12 – 0.037	2015	רמלה	
0.08	11/2012	רמז בני ברק	תל אביב
0.312 – 0.0375	2015		
0.116	11/2012	עירוני ד' ת"א	
0.0984 – 0.0377	2015	בר אילן	ירושלים
0.457	5/2011	ניר גלים	דרום
0.434	10/2012		



0.484	5/2013		
13.2 – 0.0387	2015		
0.521	2/2011	א.ת. צפוני אשדוד נק' 1	
0.163	4/2011		
0.241	5/2011		
0.386	10/2011		
0.0637	10/2011		
0.134 – 0.0381	1/2015		
1.6	4/2011		
5.47	5/2011		
7.68	10/2012		
0.126 – 0.0392	2015	רובע ו אשדוד	
0.629	4/2011	אשקלון-בת הדר	
0.2	5/2011		
0.131	10/2012		
0.128	11/2012		

3.1.7 ההמלצה לעדכון ערכי איכות אוויר

ערך יעד: לאחר בחינת כלל המידע המפורט לעיל, נמצא כי בהתאם לדוח ועדת אלמוג, יש מקום לעדכן את ערך היעד. הערך המוצע תואם את ערך היחוס של - USEPA כמפורט להלן:

יממתי – 2 מק"ג/מ"ק; שנתי – 2 מק"ג/מ"ק

ערך סביבה: לאחר בחינת מקורות הפליטה של המזהם, לרבות המגמה להפחתת השימוש בחומר זה ומעבר לשימוש בחומרים פחות מזיקים לבריאות האדם, ולאור המצב הקיים בסביבה, נמצא כי ערך היעד המוצע הינו ישים ומוצע לקבוע את ערך הסביבה כערך היעד:

יממתי – 2 מק"ג/מ"ק; שנתי – 2 מק"ג/מ"ק

3.2 קדמיום

3.2.1 סקירת ספרות

לקדמיום מגוון רחב של השפעות בריאותיות מזיקות, ביניהם: הוא מאיץ את שכפול התאים (mitogen), מדכא את תהליך השמדה של תאים פגומים (apoptosis inhibitor), מונע תיקון שגיאות חומצת הגרעין DNA ומקדם תהליכים סרטניים במספר רקמות. קדמיום גם משבש את המערכת ההורמונאלית (Endocrine Disruptor). הקדמיום פוגע באופן ייחודי בתאי הכליות. הוא גורם להפרעה במטבוליזם של יסודות כימיים נחוצים לתפקוד התקין של אברים שונים של הגוף. צירוף כל המנגנונים האלה מסביר את רוחב הפגיעה המערכתית שעלולה להיגרם כתוצאה מהחשיפה לקדמיום.

קדמיום באוויר וסרטן

מחקרים שונים הוכיחו שקדמיום הינו חומר מסרטן, הגורם להתפתחות סרטן באברים שונים, ובעיקר בריאות. ה- IARC (WHO) הגדירה כבר בשנת 1993, את הקדמיום כמסרטן וודאי לאדם (carcinogenic to humans – Group1).

כמו כן רשויות הבריאות של ארה"ב (NIH) הגדירו בשנת 2000 את הקדמיום כמסרטן וודאי לאדם, (known to be human carcinogen), סיווג שחודש בדוח ה-ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) משנת 2012 ובדוח המיוחד על החומרים המסרטנים שפורסם בשנת 2014. למרות זאת הסוכנות האמריקאית להגנה על הסביבה (EPA) עדיין מגדירה את הקדמיום כחומר ככל הנראה מסרטן לאדם (Group B1) (probable human carcinogen –). בסיס החלטה של ה-EPA נמצא בוויכוח מדעי מתמשך לגבי טיב הקשר בין החשיפה לקדמיום וסרטן הריאות אצל האדם, כאשר קיים קושי מתודולוגי להבחין בין ההשפעה הבלעדית של החשיפה לקדמיום להשפעות של החשיפה הבו-זמנית לארסן או/ולעישון במחקרים האפידמיולוגיים השונים.

חשוב להדגיש שמבחינת ההשפעות המסרטנות של הקדמיום, החשיפה המשמעותית ביותר היא החשיפה הנשימתית.

ע"מ לכמת את הסיכון המסרטן, הוגדרה יחידת סיכון (RU - Risk Unit). יחידת סיכון של הקדמיום (חשיפה נשימתית) $RU = 1.8 \times 10^{-3} / \mu g / m^3$ (עבור סרטן ריאות).



על סמך הגדרה זו, חשיפה לאורך כל החיים לרמה של 0.006 ug/m^3 של קדמיום באוויר, תגרום לתוספת תחלואה מסרטנת של 1 ל-100.000 איש.

ארגון הבריאות העולמי המליץ על ערך יחוס לחשיפה הנשימתית הכרונית של 5 ng/m^3 של קדמיום באוויר. ערך זה מיועד למנוע שתהליך שקיעת הקדמיום המרחף באוויר בשטחים החקלאים יגרום לעליה משמעותית של ריכוזי הקדמיום בסוגי מזון שונים.¹⁷

הקהילה האירופאית אימצה את המלצות ה-WHO והציבה ערך יעד שנתי לקדמיום באוויר של 5 ng/m^3 שנכנס לתוקף ב-31.12.2012.¹⁸

קיום של מנגנונים שונים, בהם הקדמיום יכול להשפיע על תהליכים סרטניים בגוף האדם, מסביר במידה רבה את חוסר האחידות בין ממצאי המחקרים השונים. כמו כן, מאותה הסיבה, התהליך המסרטן עלול להתקיים באברים שונים של הגוף ולא רק באבר מטר אחד בלבד.

מניסויים מעבדתיים התקבלו מספר הוכחות:

- החשיפה הממושכת לקדמיום של תאי ריאה אנושית גורמת לשינויים מסרטנים מובהקים, למרות תהליך האדפטציה שמתפתח בו זמנית באותם התאים.¹⁹
- תופעה דומה קיימת עבור תאי לבלב שנחשפים באופן ממושך לקדמיום.²⁰
- בתאי שד, השפעה המסרטנת של הקדמיום פועלת באופן דומה להשפעה של הורמוני האסטרון (oestrogens).²¹
- חשיפה ממושכת לקדמיום גורמת להאצת תהליכי שכפול תאים בתאי הלימפה, עם הגברת הסיכון לשגיאות שכפול חומר הגנטי, הצעד היסודי של התפתחות התהליך הסרטני.²²

¹⁷ **World Health Organization** : Air quality Guidelines for Europe. World Health Organization. Regional Office for Europe. Copenhagen. WHO Regional Publications, European Series, No. 91. 2000.

¹⁸ **European Union**: Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. December 2004.

¹⁹ **Person RJ, Tokar EJ et al**: Chronic cadmium exposure in vitro induces cancer cell characteristics in human lung cells. Toxicol. Appl. Pharmacol., 273 (2): 281-288, 2013.

²⁰ **Qu W, Tokar EJ et al**: Chronic cadmium exposure in vitro causes acquisition of multiple tumor cell characteristics in human pancreatic epithelial cells. Environ Health Perspect. 120(9):1265-71, 2012.

²¹ **Yu X, Filardo EJ & Shaikh ZA**: The membrane estrogen receptor GPR30 mediates cadmium-induced proliferation of breast cancer cells. Toxicol. Appl. Pharmacol., 245 (1): 83-90, 2010.

- החשיפה לקרינת גמא פועלת באופן סינרגיסטי עם החשיפה לקדמיום ביצירת פגיעה בתאי העצם (osteocytes)²³

על פי הפרסום של EPA בשנת 2000, שאיפת קדמיום עלולה לגרום תוך זמן קצר לתגובה ריאתית: irritation of lung²⁴.

בפרסום אחר נמצא כי שאיפה של קדמיום עלולה לגרום לתופעות הבאות: סימפטומים דמוי- שפעת (צינון, חולשה, כאבי גוף), הקאות, שלשולים, כאבי בטן, קוצר נשימה. בשאיפה כרונית מתווספים נפיחות האף, לוע וגרון²⁵.

ערכי איכות אוויר בארץ ובעולם:

USEPA – יחידת סיכון של הקדמיום (חשיפה נשימתית) $RU = 1.8 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3$ (עבור סרטן ריאות), המתאימה לערך ייחוס ל- 6 ננוגרם/מ"ק (1: 100,000) – ערך ייחוס שנתי (CFR-RSD)

WHO – ערך ייחוס ל- 5 ננוגרם/מ"ק (1: 100,000) – ערך ייחוס שנתי

EU – ערך סביבה 5 ננוגרם/מ"ק בחלקיקי PM_{10} (בדירקטיבה / 2004/107/EC)

ישראל-

ערך יעד: יממתי – 5 ננוגרם/מ"ק ב- TSP

שנתי – 5 ננוגרם/מ"ק (מבוסס על WHO) ב- TSP

ערך סביבה: שנתי – 5 ננוגרם/מ"ק (מבוסס על EEA) בחלקיקי PM_{10}

3.2.2 מקורות הפליטה של קדמיום:

קדמיום הוא יסוד הקיים בקרקע, שנמצא בשימוש בתעשיית המתכות האל ברזליות, שריפת דלקים פוסיליים, יצור סוללות וצבעים. בין מקורות האנתרופוגנים של פליטה לאוויר של קדמיום בישראל, נמצאים תחנות כוח

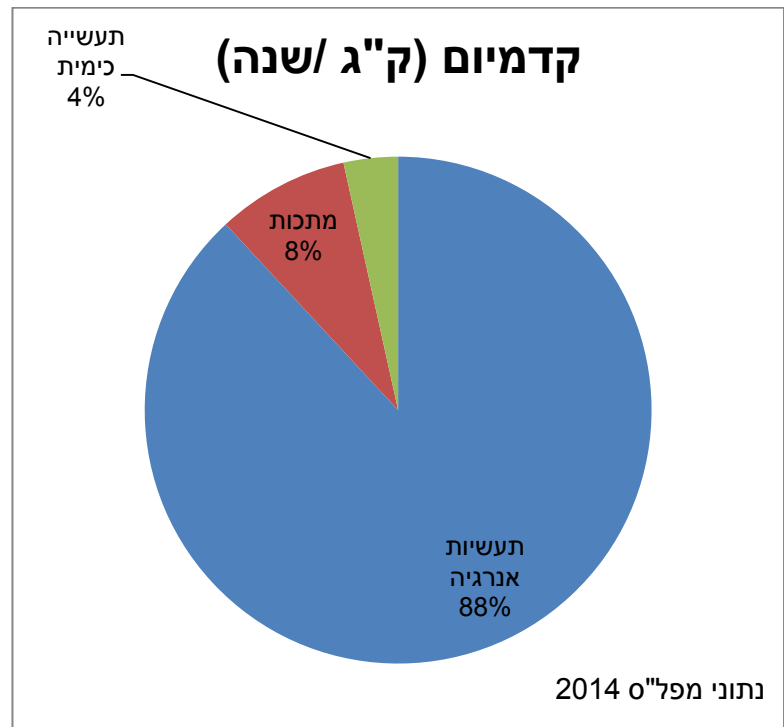
²² Yuan D, Ye S et al: Long-term cadmium exposure leads to the enhancement of lymphocyte proliferation via down-regulating p16 by DNA hypermethylation. Mutation Res./Gen. Toxicol. Environ. Mut., 757(2): 125-131, 2013.

²³ Qiu J, Zhu QZ et al: Combined effects of γ -irradiation and cadmium exposures on osteoblasts in vitro. Environ. Toxicol. Pharmacol., 33 (2): 149-157, 2012.

²⁴ <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/cadmium.html>. Cadmium compounds. Environmental Protection Agency website. Available at: Revised January 2000.

²⁵ <http://www.mountsinai.org/patient-care/health-library/diseases-and-conditions/cadmium-toxicity>. Mount Sinai Hospital. Cadmium Toxicity.

פחמיות (תעשיות אנרגיה) תעשיית עיבוד ומחזור מתכות, תעשיית ציפוי מתכות (electroplating), מתקני שריפה של פסולת, תעשייה כימית, מכרות פוספטים לייצור דשנים ועוד. להלן תיאור כמות הפליטות מהמקורות השונים:



3.2.3 חיזוי ערכי סביבה של קדמיום לפי תרחיש "עסקים כרגיל"

מודל לפיזור מזהמי אוויר הורץ עבור אזור התעשייה של אשדוד בשל ריכוז של מקורות פליטה, לרבות תעשיות למחזור ועיבוד מתכות והתקבלו ריכוזים גבוהים בסביבה של קדמיום.

3.2.4 אמצעי מדיניות להפחתת המזהם, חיזוי ערכי סביבה של קדמיום לאחר הפעלת אמצעי המדיניות

המשרד פועל מול מקורות הפליטה המשמעותיים במסגרת התנאים בהיתרי הפליטה ורישיונות העסק, ליישום הטכנולוגיות המיטביות הזמינות BAT של מזהמים מהסוג הזה.

3.2.5 תמונת מצב של קדמיום בסביבה:

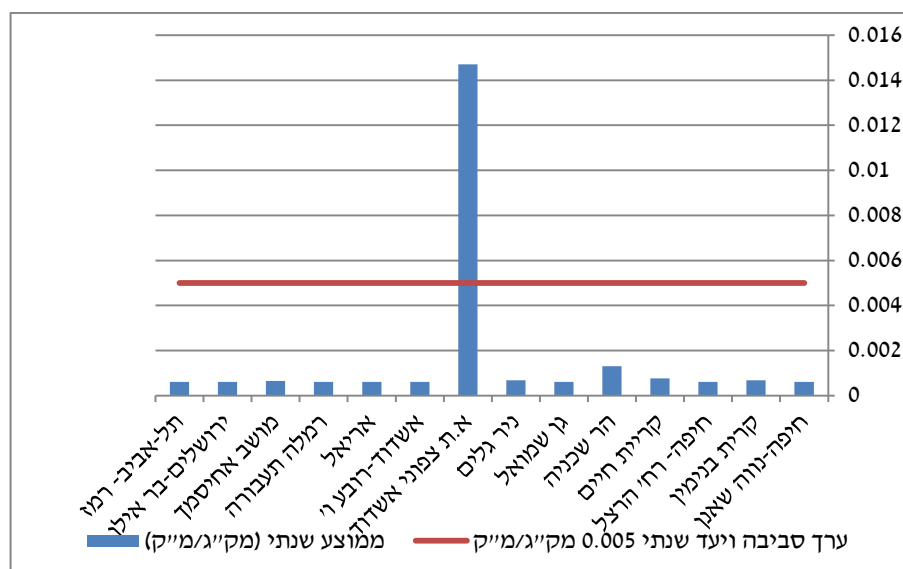
קדמיום ב- PM10

לקדמיום אין מכשור לניטור רציף ולכן איסוף מידע על הרמות השונות בארץ נעשה במסגרת הבדיקות הסביבתיות שנעשות ע"י אגף איכות אוויר.

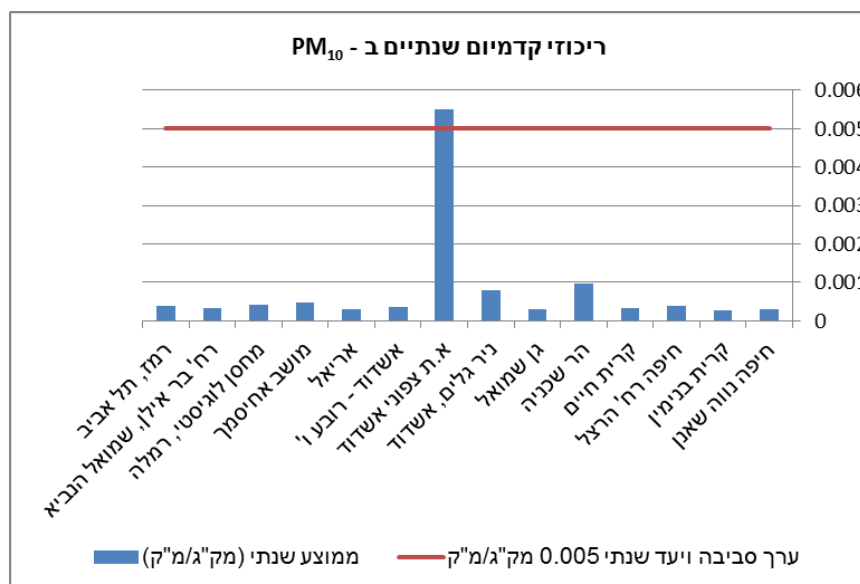
מסיכום של המדידות בשנת 2014 נמצא כי הריכוז הממוצע השנתי באזור התעשייה הצפוני של אשדוד גבוה מערך סביבה השנתי שהוא גם ערך היעד השנתי (בהתבסס על 26 דיגומים בשנה). החרیגה היא של 194%. בשאר נקודות הדיגום ברחבי הארץ נמדדו ריכוזים נמוכים ולא נמצאו חריגות מערך הסביבה השנתי (איור 1).

מסיכום של המדידות בשנת 2015 (בין ינואר – תחילת נובמבר), נמצא שוב באזור התעשייה הצפוני של אשדוד ריכוז הגבוה מערך הסביבה השנתי (בהתבסס על 13 דיגומים). החריגה היא של 110%. בשאר נקודות הדיגום ברחבי הארץ נמדדו ריכוזים נמוכים ולא נמצאו חריגות מערך היעד השנתי (איור 2).

איור מס' 1: ריכוזי קדמיום שנתיים ב- PM_{10} ל- 2014



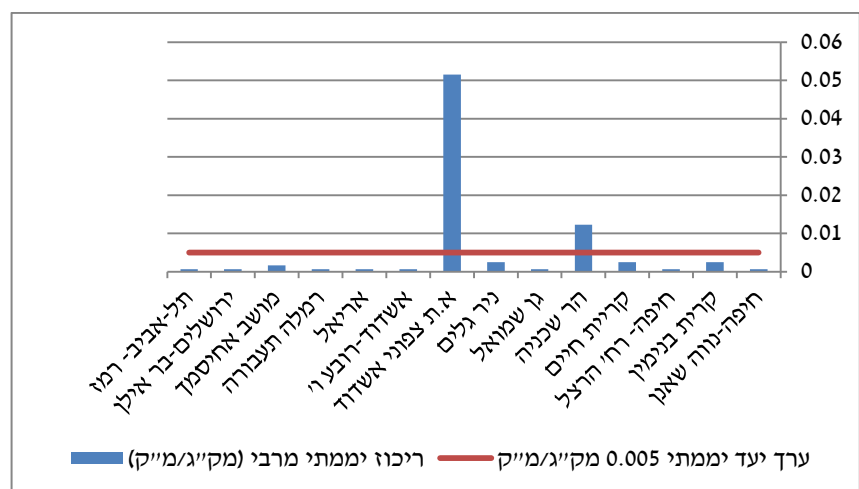
איור מס' 2: ריכוזי קדמיום שנתיים ב- PM_{10} ל- 2015



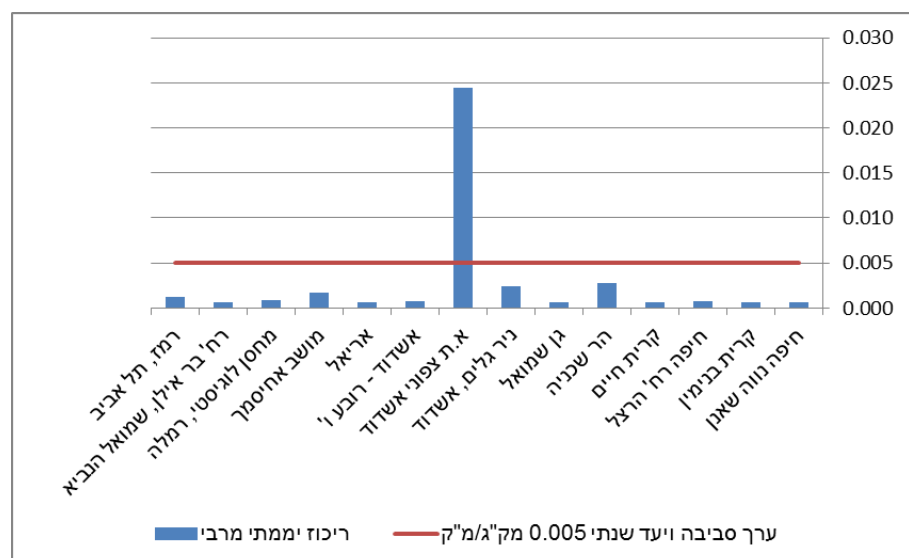
ריכוזי קדמיום יממתיים ב- PM_{10} בשנת 2014 עלו על ערך היעד היממתי בשתי נקודות דיגום: בהר שכינה (גוש שגב-גליל מערבי) ובאזור התעשייה הצפוני באשדוד (איור 3). מס' הסבבים בהם התקבלו ריכוזים גבוהים מערך היעד היממתי הוא 1 ו- 16 בהתאמה. בכל שאר הנקודות הריכוזים היממתיים שנמדדו היו נמוכים מערך היעד היממתי.

בשנת 2015 התקבלו עד כה תוצאות מ- 13 סבבים של מדידות. באזור התעשייה הצפוני של אשדוד נמדדו 3 עליות מעל ערך היעד היממתי (12.3, 24.5, 15.6 ננוגרם למ"ק). ביתר הנקודות, הריכוזים היממתיים היו נמוכים מערך היעד.

איור מס' 3: ריכוזי קדמיום יממתיים מרביים ב- PM_{10} שנמדדו בשנת 2014



איור מס' 4: ריכוזי קדמיום יממתיים מרביים ב- PM_{10} שנמדדו בשנת 2015



3.2.6 ההמלצה לעדכון ערכי איכות אוויר

ערך יעד: לאחר בחינת כלל המידע המפורט לעיל, נמצא כי בהתאם לדוח ועדת אלמוג אין מידע חדש בספרות ולכן ערך היעד נשאר ללא שינוי.

יממתי – 5 ננוגרם/מ"ק ב-TSP ; שנתי – 5 ננוגרם/מ"ק (מבוסס על WHO) ב-TSP

ערך סביבה: ערך הסביבה הקיים הינו ערך שנתי התואם את ערך הסביבה הקבוע בדירקטיבה האירופאית. ערך זה ישאר ללא שינוי. בשל השפעותיו קצרות הטווח של המזהם והשפעתו על מערכות הנשימה ולאור ישימותו מוצע לקבוע את סביבה השנתי גם כערך יממתי של 5 ננוגרם/מ"ק ב-PM₁₀

יממתי – 5 ננוגרם/מ"ק ב-PM₁₀ ; שנתי – 5 ננוגרם/מ"ק (מבוסס על EU) ב-PM₁₀

3.3 1,3 בוטדיאן

3.3.1 סקירת ספרות

1,3 בוטדיאן מוגדר כחומר מסרטן וודאי לאדם בחשיפה נשימתית.

1,3 בוטדיאן באוויר וסרטן

המחקרים שהתפרסמו בשנים האחרונות הוכיחו ש-1,3 בוטדיאן הינו חומר מסרטן לאדם, הגורם להתפתחות סרטן במערכת הדם והלימפה.²⁶

הסוכנות הבינלאומית לחקר הסרטן של ארגון הבריאות העולמי (IARC) הגדירה כבר בשנת 2008, את הבוטדיאן כמסרטן וודאי לאדם (Group1 – carcinogenic to humans).²⁷

כמו כן רשויות הבריאות של ארה"ב (NIH) הגדירו בשנת 2012 את הבוטדיאן כמסרטן וודאי לאדם, (known to be human carcinogen), סיווג שחודש בדוח ה-ATSDR משנת 2012²⁸ ובדוח המיוחד על החומרים המסרטנים שפורסם בשנת 2014.²⁹

²⁶ Eastmond DA, Keshava N & Sonawane B: Lymphohematopoietic cancers induced by chemicals and other agents and their implications for risk evaluation: An overview. Mutation Res. / Rev. Mutation Res., 761: 40-64, 2014.

²⁷ WHO IARC: IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, vol 100: A review of human carcinogens—Part F: Chemical Agents and Related Occupations – 1,3 Butadiene.. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 2012.

²⁸ ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Toxicological profile for butadiene. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. 2012.

²⁹ National Institute of Environmental Health Sciences NIH-HHS - NTP (National Toxicology Program): Report on Carcinogens, 13th Edition; U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2014.

הסוכנות הפדראלית להגנת הסביבה של ארה"ב (EPA) הגדירה את הבוטדיאן כחומר מסרטן לאדם בחשיפה נשימתית (carcinogenic to humans by inhalation)³⁰.

ע"מ לכמת את הסיכון המסרטן, הוגדרה יחידת סיכון (RU - Risk Unit), יחידת סיכון של הבוטדיאן (חשיפה נשימתית) $RU = 3 \times 10^{-5} / \text{ug}/\text{m}^3$ (עבור סרטן ריאות)

על סמך הגדרה זו, חשיפה לאורך כל החיים לרמה של $0.3 \text{ ug}/\text{m}^3$ של בוטדיאן באוויר הסביבתי תגרום לתוספת תחלואה מסרטנת של 1 ל-100.000 איש.

יש כאן צורך להדגיש שמדעני ה-EPA מודים שקיימת בעיה מתודולוגית בהערכת נתוני החשיפה במחקר עליו מתבססת קביעת יחידת סיכון זו, והסיכון המסרטן האמיתי עלול להיות נמוך יותר מזה המוגדר כעת. עובדה זו כבר הודגשה ע"י מספר חוקרים נוספים^{31,32,33}, ומדעני מדינת טקסס עשו הערכה מחודשת ע"ס נתוני חשיפה מתוקנים שהתקבלו כתוצאה מבחינה מחודשת של תוצאות המחקר³⁴ ומציעים לקבוע יחידת הסיכון עבור הבוטדיאן ל- $RU = 5 \times 10^{-7} / \text{ug}/\text{m}^3$ המקבילה לרמת חשיפה כרונית של $20 \text{ ug}/\text{m}^3$.

מדעני ה-EPA התבססו בקביעתם על תוצאות מחקר אפידמיולוגי רחב היקף שבחן את ההשפעה של החשיפה התעסוקתית לבוטדיאן סטירן על התחלואה בלוקמיה (סרטן הדם) בקרב העובדים הנחשפים.

ארגון הבריאות העולמי (WHO) עדיין לא פרסם המלצות לגבי ערכי יחוס ל-1,3 בוטדיאן. הקהילה האירופאית לא נקטה, עד רגע זה, עמדה בסוגיית ערכי יחוס ל-1,3 בוטדיאן.

1,3 בוטדיאן הוא מזהם אוויר מסרטן וודאי לאדם, המהווה אתגר לרשויות הבריאות והסביבה ברחבי העולם, היות וקיימת עדיין אי וודאות לגבי אומדן יחידת הסיכון המסרטן, ואפשרות של קיום של פגיעות מסרטנות באברים שונים של הגוף מעבר למערכת דם. במצב הנוצר, כללי זהירות המונעת מחייבים לנקוט במדיניות ה-ALARA (as low as reasonably achievable) בקביעת ערכי סף לחשיפת האוכלוסייה הכללית.

³⁰ USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). Integrated Risk Information System (IRIS). 1,3-Butadiene (CASRN 106-99-0), Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, January 2015.

³¹ Graff JJ, Sathiakumar N et al: The effect of uncertainty in exposure estimation on the exposure-response relation between 1,3-butadiene and leukemia. Int J Environ Res Public Health. 2009 Sep;6(9):2436-55.

³² Sielken RL Jr, Valdez-Flores C.: Butadiene cancer exposure-response modeling: based on workers in the styrene-butadiene-rubber industry: total leukemia, acute myelogenous leukemia, chronic lymphocytic leukemia, and chronic myelogenous leukemia. Regul Toxicol Pharmacol. 60(3):332-41. 2011

³³ Sielken RJ Jr. & Valdez-Flores C: Quantitative risk assessment of exposures to butadiene in EU occupational settings based on the University of Alabama at Birmingham epidemiological study. Regul. Toxicol. Pharmacol., 65 (2): 214-225, 2013.

³⁴ Grant RL, Haney J et al: Development of a unit risk factor for 1,3-butadiene based on an updated carcinogenic toxicity assessment. Risk Anal. 29 (12):1726-42, 2009.

בדוח וועדת אלמוג נקבע ערך הייחוס לפי ערכים של RSD (Risk Specific Dose) של ה-CFR (Code of Federal Regulation) עם יחידת סיכון של 2.8×10^{-4} המקבילה לריכוז סביבתי של $3.6 \times 10^{-2} \text{ ug/m}^3$. ערך שנקבע בשנת 2002.

3.3.2 ערכי איכות אוויר בארץ ובעולם (בגופים רגולטורים המרכזיים בעולם):

USEPA – יחידת סיכון של 1,3 בוטדיאן (חשיפה נשימתית) $\text{RU} = 3 \times 10^{-5} / \text{ug/m}^3$ (עבור סרטן ריאות)

המתאימה לערך ייחוס שנתי של 0.3 ug/m^3 (1: 100,000). (ATSDR, 2012).

WHO – אין המלצות ארגון הבריאות העולמי

EEA – אין

ישראל-

ערך יעד: יממתי – 0.11 מק"ג/מ"ק

שנתי – 0.036 מק"ג/מ"ק (מבוסס על ה-RSD של ה-CFR עם יחידת סיכון של

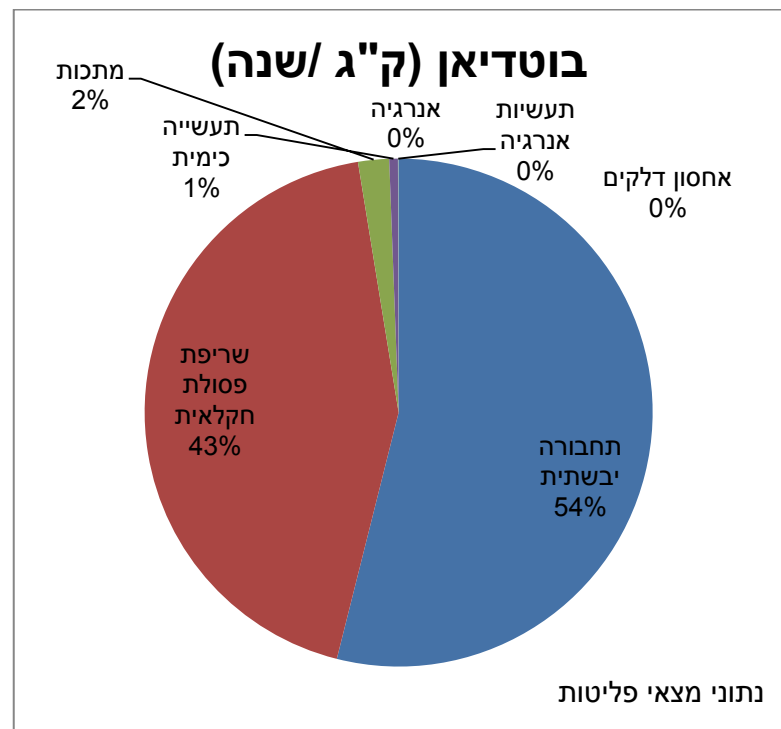
2.8×10^{-4} המקבילה לריכוז סביבתי של $3.6 \times 10^{-2} \text{ ug/m}^3$)

ערך סביבה: טרם נקבע

3.3.3 מקורות הפליטה של המזהם:

1,3 בוטדיאן נפלט לאוויר מתחבורה בעיקר מרכבי דיזל כבדים, משריפת פסולת חקלאית, תעשייה (בתהליך זיקוק נפט, ייצור גומי סינטטי וחומרי פלסטיק, מחזור מתכות) ואחסון דלקים.

הבוטדיאן כמו שאר הפחמימנים תורם ליצירת אוזון, בתגובה עם תחמוצות חנקן, הנמצאות באוויר בסביבה.



3.3.4 חיזוי ערכי סביבה של 1,3 בוטאדיאן לפי תרחיש "עסקים כרגיל"

אין למשרד מודל חיזוי מתאים למזהם זה. מודלים כאלה נמצאים בשלבי מחקר בעולם.

3.3.5 אמצעי מדיניות להפחתת המזהם, חיזוי ערכי סביבה של 1,3 בוטאדיאן לאחר הפעלת אמצעי המדיניות

אמצעי המדיניות שהמשרד נוקט מול הסקטורים השונים הם כדלהלן:

תחבורה – מעבר לאמצעי הנעה חלופית במיוחד בכלי רכב כבדים (כגון גז טבעי והנעות חשמליות) לאוטובוסים עירוניים ומשאיות אשפה. הפעולות שנעשות לעידוד כלי רכב נקיים באמצעות מיסוי ירוק ואימוץ תקני יורו מתקדמים. פעילות לצמצום יוממות ברכב פרטי (שימוש באופניים ושאתלים).

בתעשייה ואחסון דלקים - צמצום הפליטות בא כחלק מהפחתה של תרכובות אורגניות נדיפות במסגרת היתרי פליטה ותנאי ברישיון עסק.

שריפת פסולת חקלאית - המשרד פועל מול משרד החקלאות לצמצום שריפת הפסולת החקלאית.

תמונת מצב של 1,3 בוטאדיאן בסביבה:

ל- 1,3 בוטאדיאן אין מכשור לניטור רציף ולכן מידע על הרמות השונות בארץ נעשה במסגרת הבדיקות סביבתיות שנעשות ע"י אגף איכות אוויר.

בשנת 2014 לא נמצאו ריכוזים העולים על ערך היעד היממתי (איור 5) והשנתי (איור 6).

בשנת 2015 נרשמו ריכוזים מעל ערך היעד היממתי במקומות הבאים (במודגש חריגות מעל ערך היעד המוצע):

בא.ת. הצפוני באשדוד – 2 ריכוזים (0.163, 0.171 מק"ג/מ"ק)

בתחנה התחבורתית בירושלים – 8 ריכוזים (0.123, 0.12, 0.137, 0.247, 0.18, 0.114, 0.616 ו- 0.867 מק"ג/מ"ק)

בתחנה התחבורתית בגוש דן – 5 ריכוזים (0.142, 0.123, 0.326, 0.625 ו- 0.138 מק"ג/מ"ק)

בחיפה, בשכונת חליסה (תחנת דיגום חדשה) - ריכוז אחד (0.323 מק"ג/מ"ק)

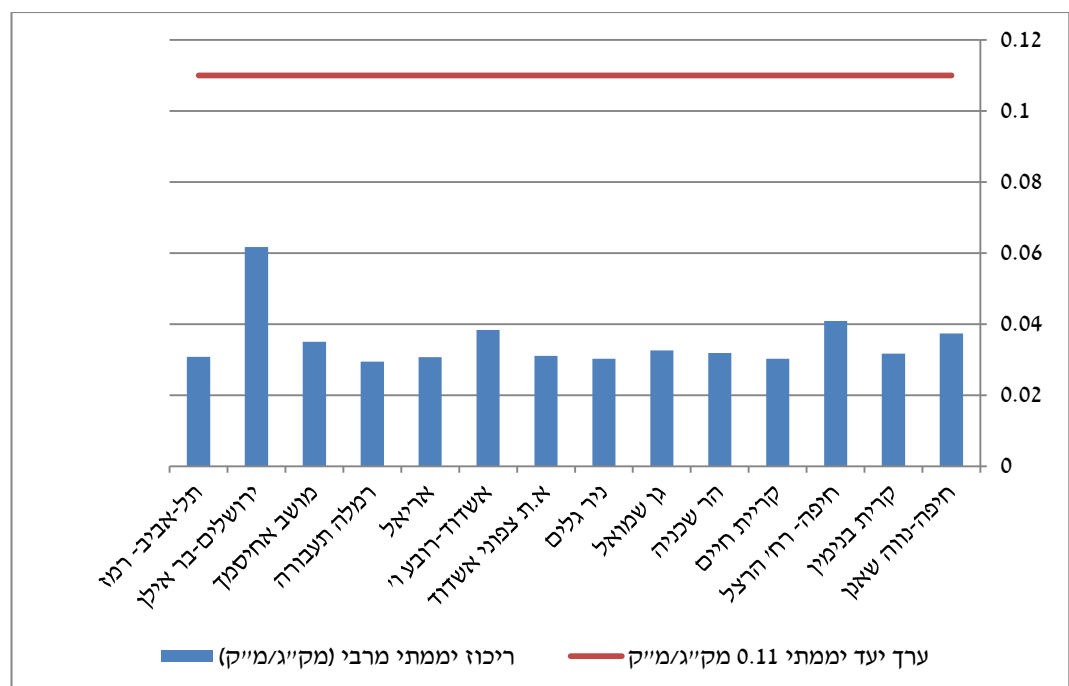
בגוש שגב, הר שכניה – ריכוז אחד (0.114 מק"ג/מ"ק)

ברמלה, מחסן לוגיסטי – ריכוז אחד (0.372 מק"ג/מ"ק)

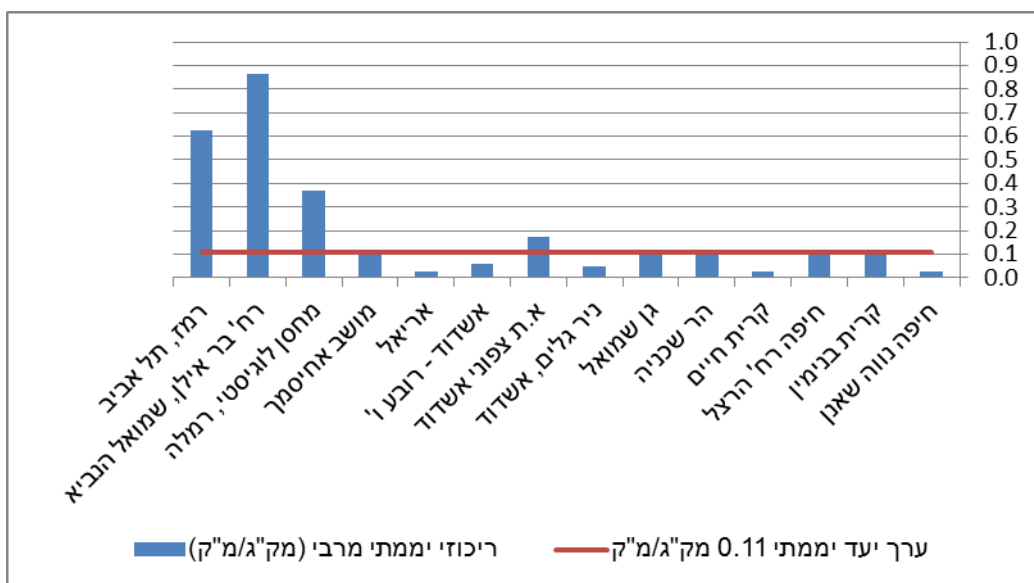
בשנת 2015 נרשמו ריכוזים העולים על ערך היעד השנתי ((ינואר – תחילת נובמבר) מבוסס על 13 תוצאות דיגומים שהגיעו עד כה) בשתי תחנות הסמוכות לתחבורה: רמז (תל אביב רבתי) ובר- אילן (ירושלים) וברמלה ובא.ת. הצפוני של אשדוד.

בשנים 2014 ו- 2015 לא נרשמו ריכוזים העולים על ערך היעד השנתי המוצע.

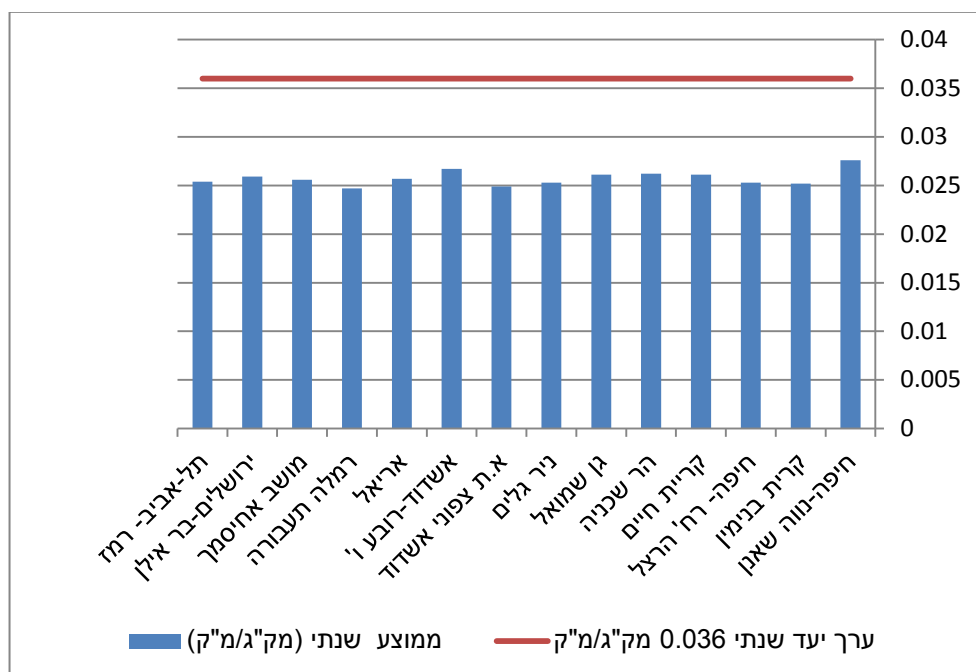
איור מס' 5: ריכוזי 1,3 בוטדיאן יממתיים מרביים שנמדדו במהלך 2014



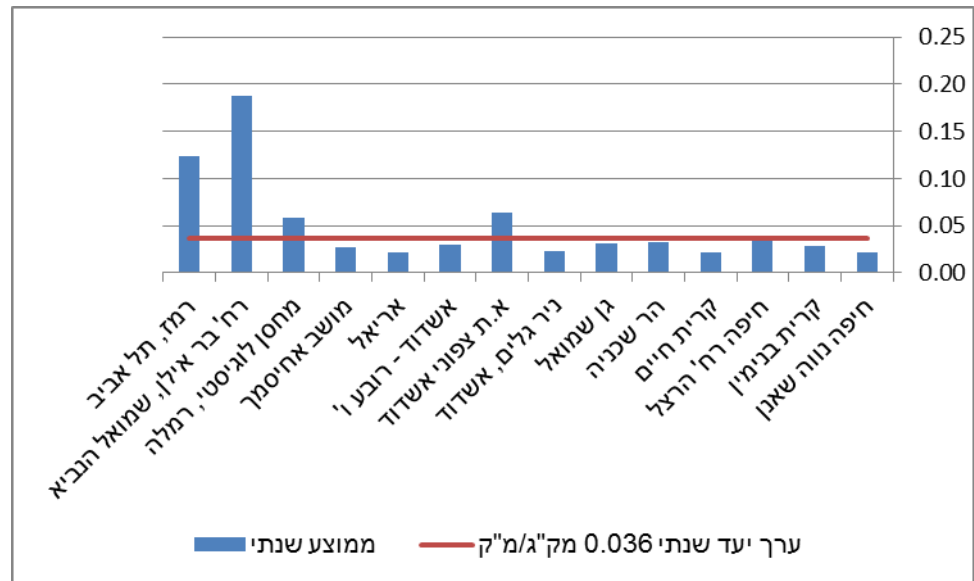
איור מס' 6: ריכוזי 1,3 בוטדיאן יממתיים מרביים שנמדדו במהלך 2015



איור מס' 7: ריכוזים שנתיים של 1,3 בוטדיאן שנמדדו במהלך 2014



איור מס' 8: ריכוזים שנתיים של 1,3 בוטדיאן שנמדדו במהלך 2015



3.3.6 ההמלצה

ערך יעד: לאחר בחינת כלל המידע המפורט לעיל, נמצא כי בהתאם לדוח ועדת אלמוג, יש מקום לעדכן את ערך היעד. הערך המוצע תואם את ערך היחוס של USEPA, כמפורט להלן:

יממתי – 0.3 מק"ג/מ"ק; שנתי – 0.3 מק"ג/מ"ק

ערך סביבה: כיום אין ערך סביבה. לאחר בחינת מקורות הפליטה של המזהם ולאור המצב הקיים בסביבה, נמצא כי ערך היעד המוצע הינו ישים ומוצע לקבוע את ערך הסביבה כערך היעד:

יממתי – 0.3 מק"ג/מ"ק; שנתי – 0.3 מק"ג/מ"ק

3.4 בנזן

3.4.1 סקירת ספרות

בנזן הוגדר כחומר מסרטן וודאי בבני אדם ע"י הסוכנות הבינלאומית לחקר הסרטן ה-IARC.

בנזן באוויר וסרטן:

מחקרים שונים הוכיחו שבנזן הינו חומר מסרטן בעל עוצמה, הגורם להתפתחות סרטן הדם (לאוקמיה). הסוכנות הבינלאומית לחקר הסרטן הגדירה את הבנזן כמסרטן וודאי לאדם (Group1 – carcinogenic to humans)³⁵ וכך גם עשתה הסוכנות האמריקאית להגנה על הסביבה (Group A – human carcinogen)³⁶.

ה-USEPA הגדירו תחום של יחידת סיכון עבור הבנזן (חשיפה נשימתית). זאת מאחר והיה הקושי לייצר ממצאי מודל ליניארי המבוסס על מחקרים תעסוקתיים בהם רמות החשיפה לבנזן היו גבוהים במיוחד, עם הממצאים האפידמיולוגיים באוכלוסייה הכללית, והגילוי של מורכבות מנגנוני ההשפעה ושל קיום מטבוליזם שונה ברמות שונות של חשיפה נשימתית.

$RU = 7.8 \times 10^{-6} / \mu g/m^3 - 2.2 \times 10^{-6} / \mu g/m^3$ (עבור לאוקמיה) על סמך הגדרה זו, חשיפה לאורך כל החיים לרמה של $1.3 - 4.5 \mu g/m^3$ של בנזן באוויר, תגרום לתוספת תחלואה מסרטנת של 1 ל-100.000 איש.

ארגון הבריאות העולמי (WHO) פרסם המלצות לקווים מנחים. המלצות אלה הינן כדלקמן³⁷:

יחידת סיכון מסרטן לחשיפה נשימתית לבנזן של $RU = 6 \times 10^{-6} / \mu g/m^3$ (עבור לאוקמיה) כתוצאה מכך המלצה לערך יחוס עבור החשיפה לבנזן באוויר הסביבתי של $1.7 \mu g/m^3$ (המקביל לתוספת תחלואה מסרטנת מצטברת של 1 ל-100.000 איש).

הקהילה האירופאית אומנם התבססה על המלצות אלה של ארגון הבריאות העולמי בהגדרת ערך סף (limit value) לבנזן באוויר, שנכנס לתוקף ב-1 לינואר 2010 (אם דחייה ל-1 לינואר 2015 עבור מדינות שלא הצליחו לעמוד בסף זה בתחילת 2010), אך לקחה בחשבון את הקושי היישומי של המלצה זו ולכן קבעה ערך של $5 \mu g/m^3$ ³⁸.

³⁵ **WHO:** IARC Monographs on the Evaluation of carcinogenic Risks to Humans. Volume 100F - A review of Human Carcinogens - Benzene. IARC, Lyon, France 2012.

³⁶ **USEPA:** Integrated Risk Information System (IRIS). 1,3-Benzene (CASRN 71-43-2), Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, March 2015.

³⁷ **WHO:** Air quality guidelines for Europe. Chap 5-2 Benzene. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2000.

³⁸ **European Union:** Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. June 2008.



יש לציין, שלמרות שהקשר בין חשיפה כרונית לבנזן במתארים תעסוקתיים ועליה בתחלואה של לאוקמיה (Leukemia) זוכה לבסיס מדעי מוצק, הקשר בין חשיפה סביבתית לרמות נמוכות של בנזן והופעה של לאוקמיה עדיין מעורפל למדי³⁹. מספר מחקרים ניסו לאחרונה לאמת את קיום התופעה, אבל החוקרים נשארים זהירים במסקנותיהם^{40, 41, 42}. סקירה של כלל המחקרים שהתפרסמו עד 2010, אינה תומכת בקשר שבין חשיפה ממושכת לבנזן סביבתי ועליה בתחלואה בלאוקמיה אצל ילדים⁴³. הסתירה בין המחקרים טמונה ככל הנראה בקיום או אי-קיום של חשיפה לעישון, פעיל או פסיבי, המהווה לרוב מקור משמעותי יותר לחשיפה אישית לבנזן מאשר החשיפה הסביבתית⁴⁴. כמו כן בחינה מחודשת של נתוני מעקב של אוכלוסיות שנחשפו לרמות גבוהות של בנזן במתאר תעסוקתי, מראה שסיכון יתר לחלות בלאוקמיה נעלם כ-10 עד 15 שנה לאחר שהופסקה החשיפה⁴⁵.

נושא הקשר בין חשיפה כרונית לבנזן והתפתחות של סרטני מערכת הלימפה (Lymphoma) נשאר נושא לוויכוח בין מדענים, עקב ממצאים סותרים^{46, 47, 48}. למרות החשש העולה מנגנוני הפגיעה הפיזיו-פתולוגיים בתאי

³⁹ **Smith MT, Zhang L et al:** Benzene, the exposome and future investigations of leukemia etiology. *Chemico-Biol. Interact.* 192 (1–2): 155-159, 2011.

⁴⁰ **Talbott EO, Xu X et al:** Risk of leukemia as a result of community exposure to gasoline vapors: A follow-up study. *Environ. Res.* 111 (4): 597-602, 2011.

⁴¹ **Heck JE, Park AS et al:** Risk of leukemia in relation to exposure to ambient air toxics in pregnancy and early childhood. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 217 (6): 662-668, 2014.

⁴² **Boothe VL, Boehmer TK et al:** Residential Traffic Exposure and Childhood Leukemia: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am. J. Prev. Med.* 46 (4): 413-422, 2014.

⁴³ **Pyatt D & Hays S:** A review of the potential association between childhood leukemia and benzene. *Chemico-Biol. Interact.* (1–2): 151-164, 2010.

⁴⁴ **Karakitsios PS, Sarigiannis DA et al:** A methodological frame for assessing benzene induced leukemia risk mitigation due to policy measure. *Sci. Total Environ.* 443 : 549-558, 2013.

⁴⁵ **Triebig G:** Implications of latency period between benzene exposure and development of leukemia—A synopsis of literature. *Chemico-Biol. Interact.* 184 (1–2): 26-29, 2010.

⁴⁶ **Goldstein BD:** Benzene as a cause of lymphoproliferative disorders. *Chemico-Biol. Interact.* 184 (1–2): 147-150, 2010.

⁴⁷ **Bassig B, Friesen MC et al:** Occupational Exposure to Benzene and Non-Hodgkin Lymphoma in a Population-Based Cohort: The Shanghai Women's Health Study. *Environ Health Perspect.* 2015 Mar 6. [Epub ahead of print].

⁴⁸ **Bassig B, Friesen MC et al:** Occupational exposure to benzene and risk of non-Hodgkin lymphoma in a population-based cohort study of Chinese women in Occup Environ Med. 71 Suppl 1:A40-1. 2014.



הלימפה, מטת-אנליזיס של המחקרים שבוצעו עד 2010, לא תמכו בקיום של קשר סיבתי בין חשיפה לבנון והתפתחות של מחלת הלימפומה^{49, 50}.

כמו כן מחקר שבוצע בקליפורניה תומך בקיום של קשר בין חשיפה לבנון והתפתחות של סרטן השד, אך אין לשלול השפעה משולבת של מזהמים שונים (ובראשם ה-PAH) ביצירת תופעה זו⁵¹.

השפעות בריאותיות קצרות טווח

החשיפה הקצרת טווח (חודש ימים) לרמות יחסית נמוכות של בנון סביבתי (בממוצע 3.36 ug/m³) נקשרה לסיכון מוגבר של הופעת תסחיף ריאתי (pulmonary embolism) מסכן חיים⁵², אך אין לשלול, במקרה זה, השפעה משולבת עם מזהמי אוויר נוספים כגון חלקיקים עדינים ובנוז-אלפא-פירן. כמו כן חשיפה קצרת טווח לבנון ברמות הסביבתיות, גורמת לעלייה בריכוזים של תחמוצת חנקן (NO) באוויר הננשף החוצה מהריאות, דבר המעיד על התפתחות של תהליך דלקתי בריאות ובדרכי הנשימה⁵³.

בשנים האחרונות פורסמו מחקרים המראים תגובות אקוטיות של השפעת הבנון. נבדקה השפעת בנון בריכוזים גבוהים בשתי קבוצות העובדים (אתר משאבת הבנון ואזור תנועת הרכבים – שוטרס). דווח על השפעות הבנון הטוקסיות על תאי הדם: hematotoxicity⁵⁴. כמו כן, נבדק הקשר בין חשיפה עוברית ובגילאים הצעירים עד גיל 6 שנים לקבוצת החומרים המנוטרים סמוך למקום המגורים של אימהותיהם לבין גידולי מוח. ממצאי המחקר תומכים בהשערת ההשפעה של מזהמים ממקור תעשייתי ותחבורתי במהלך ההיריון (לדוגמא בנון) בעליית סיכון לפתח סוגים מסוימים של גידולים בגיל צעיר - medulloblastoma, central nervous system primitive neuroectodermal tumor (PNET)⁵⁵. יש דיווחים על השפעות של בנון על התפתחות העוברית: עליה ברמת

⁴⁹ Kane EV & Newton R: Benzene and the risk of non-Hodgkin lymphoma: A review and meta-analysis of the literature. Cancer Epidemiology 34 (1): 7-12, 2010.

⁵⁰ Weed DL: Meta-Analysis and Causal Inference: A Case Study of Benzene and Non-Hodgkin Lymphoma. Annals of Epidemiology, Volume 20, Issue 5, May 2010, Pages 347-355.

⁵¹ Garcia E, Hurley S et al: Hazardous air pollutants and breast cancer risk in California teachers: a cohort study. Environ Health. 14(1):14, 2015..

⁵² Spieza L, Campello E et al: Short-term exposure to high levels of air pollution as a risk factor for acute isolated pulmonary embolism. Thrombosis Res. 134 (2): 259-263, 2014.

⁵³ Weichenthal S, Kulka R et al: Personal exposure to specific volatile organic compounds and acute changes in lung function and heart rate variability among urban cyclists. Environ. Res. 118: 118-123, 2012.

⁵⁴ Mukherjee AK, Chattopadhyay BP, Roy SK, Das S, Mazumdar D, Roy M, Chakraborty R, Yadav A. Work-exposure to PM10 and aromatic volatile organic compounds, excretion of urinary biomarkers and effect on the pulmonary function and heme-metabolism: A study of petrol pump workers and traffic police personnel in Kolkata City, India. J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng. 2015 Nov 20:1-15. [Epub ahead of print].

⁵⁵ von Ehrenstein OS, Heck JE, Park A, Cockburn M, Escobedo L, Ritz B. In Utero and Early-Life Exposure to Ambient Air Toxics and Childhood Brain Tumors: A Population-Based Case-Control Study in California, USA. Environ Health Perspect. 2015 Oct 27. [Epub ahead of print].

החשיפה לבנזן עלולה להוריד את משקל של התינוק שנולד⁵⁶. יש עדויות שמראות כי חשיפה לבנזן מעלה סיכון לפתח מחלות כבד ומח עצם בילדים עד גיל 17.⁵⁷ ממצאי המחקר של [Reddy GK](#) and [D'Andrea MA](#) מראים

3.4.2 תקנים בעולם: ערכי יעד וסביבה בגופים רגולטורים חשובים בעולם:

USEPA – תחום יחידת סיכון $RU = 7.8 \times 10^{-6} / \mu\text{g}/\text{m}^3 - 2.2 \times 10^{-6} / \mu\text{g}/\text{m}^3$ (עבור לאוקמיה) ערך ייחוס של 1.3 - $4.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ של בנזן באוויר.

WHO – יחידת סיכון לחשיפה נשימתית לבנזן של $RU = 6 \times 10^{-6} / \mu\text{g}/\text{m}^3$ (עבור לאוקמיה) ערך ייחוס של 1.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

EEA – 5 מק"ג/מ"ק.

ישראל

ערך יעד: יממתי – 3.9 מק"ג/מ"ק.

שנתי – 1.3 מק"ג/מ"ק (מבוסס על USEPA- CFR).

ערך סביבה- שנתי: 5 מק"ג/מ"ק (דירקטיבה אירופאית – 2008/50/EC).

3.4.3 מקורות הפליטה של המזהם

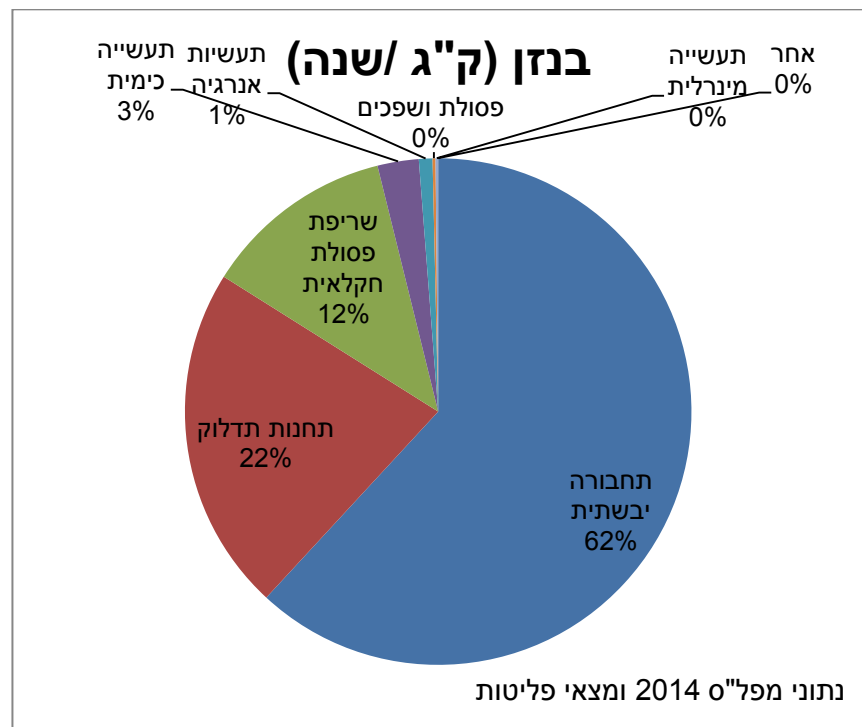
בנזן נפלט מתחבורה בעיקר מרכבי בנזין וגם מאידוי דלקים בתחנות דלק. הבנזן נפלט גם מבתי זיקוק לנפט, מפעלים פטרוכימיים, שריפת פסולת חקלאית. לפי הספרות, עישון סיגריות הוא מקור חשוב לחשיפה האישית לבנזן.⁵⁸

⁵⁶ Moon-Hee Chang, Eun-Hee Ha, Hyesook Park, Mina Ha, Young Ju Kim, Yun-Chul Hong, Yangho Kim, Young-Man Roh, Bo-Eun Lee, Ju-Hee Seo, and Byung-Mi Kim. The Effect of VOCs Exposure During Pregnancy on Newborn's Birth Weight in Mothers and Children's Environmental Health (MOCEH) Study. O-31C6-2.

⁵⁷ D'Andrea MA, Reddy GK. Adverse Health Effects of Benzene Exposure Among Children Following a Flaring Incident at the British Petroleum Refinery in Texas City. Clin Pediatr (Phila). 2015 Aug 11. pii: 0009922815594358. [Epub ahead of print].

⁵⁸ **Chambers DM, Ocariz JM et al:** Impact of cigarette smoking on Volatile Organic Compound (VOC) blood levels in the U.S. Population: NHANES 2003–2004. Environ. Inter., 37(8): 1321-1328, 2011.

מקורות הפליטה של בנזן בישראל הם:



3.4.4 חיזוי ערכי סביבה של בנזן לפי תרחיש "עסקים כרגיל"

אין למשרד מודל חיזוי מתאים למזהם זה. מודלים כאלה נמצאים בשלבי מחקר בעולם.

3.4.5 אמצעי מדיניות להפחתת המזהם, חיזוי ערכי סביבה של בנזן לאחר הפעלת אמצעי המדיניות

אמצעי המדיניות שהמשרד נוקט מול הסקטורים השונים הם כדלהלן:

בתחבורה – עיקר הפליטה של בנזן היא מרכבי מונעי בנזין. הפעולות שנעשות לעידוד כלי רכב נקיים באמצעות מיסוי ירוק ואימוץ תקני יורו מתקדמים. צמצום השימוש ברכבים פרטיים ע"י עידוד נסיעה בתחבורה ציבורית ומתן תמיכות לשאטלים ולהשכרת אופניים.

בתעשייה ואחסון דלקים, צמצום הפליטות בא כחלק מהפחתה של תרכובות אורגניות נדיפות במסגרת היתרי פליטה.

בתחנות דלק – דרישה למערכות מישוב אדים stage I ו-stage II.

המשרד פועל מול משרד החקלאות לצמצום שריפת הפסולת החקלאית.

3.4.6 תמונת מצב של בנזן בסביבה

תוצאות מתחנות הניטור :

בנזן נמדד בשנים האחרונות ב- 13 תחנות ניטור בארץ. בכל תחנות הניטור לא נרשמו ריכוזים גבוהים מערך הסביבה השנתי. יחד עם זאת, נמדדו ריכוזים גבוהים מערך היעד היממתי בתחנות הניטור התחבורתיות המודדות בנזן בגוש דן (עירוני ד') וירושלים (בר אילן).

בנזן – חריגות יממיות מערך היעד היממתי – 3.9 מק"ג/מ"ק

אזור	סוג התחנה	שם תחנה	שנה	מספר חריגות	ריכוז מירבי (מק"ג/מ"ק)
גוש דן	תחבורתית	עירוני ד'	2013	7	6.1
			2014	3	4.1
			2015	0	3.7
ירושלים	תחבורתית	בר אילן	2013	2	5.3
			2014	2	4.4
			2015	0	2.7

בנזן – ריכוזים שנתיים בין 2013 – 2015 (ערך יעד שנתי 1.3 מק"ג/מ"ק)

אזור	סוג התחנה	תחנה	שנה	ריכוז שנתי (מק"ג/מ"ק)	זמינות הנתונים (%)
חיפה וקריות	תחבורתית	אחזה	2013	0.09	95
			2014	0.31	99
	תחבורתית	עצמאות	2013	1.05	90
			2014	0.86	64
			2015	0.77	89



96	0.64	2013	קריית בנימין	כללית	
94	0.54	2014			
90	0.54	2015			
96	0.16	2013	חיפה איגוד	כללית	
96	0.54	2014			
91	0.38	2015			
			עירוני ד'	תחבורתית	גוש דן
75	0.83	2014			
97	0.77	2015			
52	1.15	2013	בר אילן	תחבורתית	ירושלים
90	1.12	2014			
89	0.71	2015			
87	0.57	2013	אשדוד	כללית	אשדוד
93	0.48	2014			
75	0.59	2013	באר שבע	כללית	נגב
88	0.71	2014			
95	0.15	2013	ב"ש נאות חובב	כללית	
96	0.06	2014			
96	0.06	2015			
96	0.12	2013	ירוחם	כללית	
69	0.00	2014			

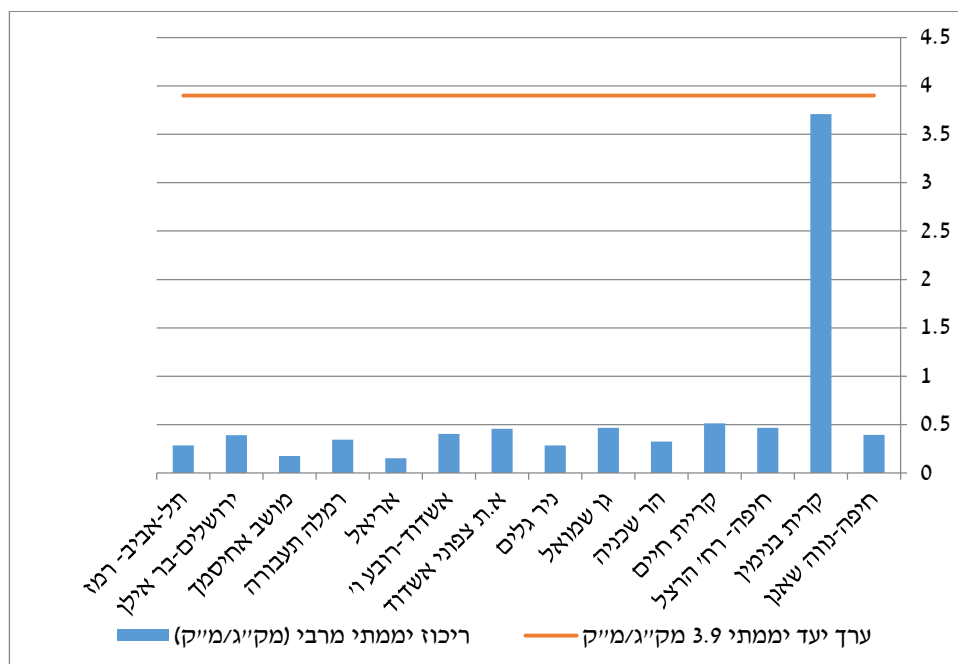


96	0.00	2015		
98	0.46	2013	פזורה	כללית
97	0.34	2014		
96	0.43	2015		
73	0.00	2013	צ. הנגב	כללית
94	0.03	2014		
95	0.00	2015		
97	0.03	2013	שגב שלום	כללית
93	0.22	2014		
82	0.46	2015		

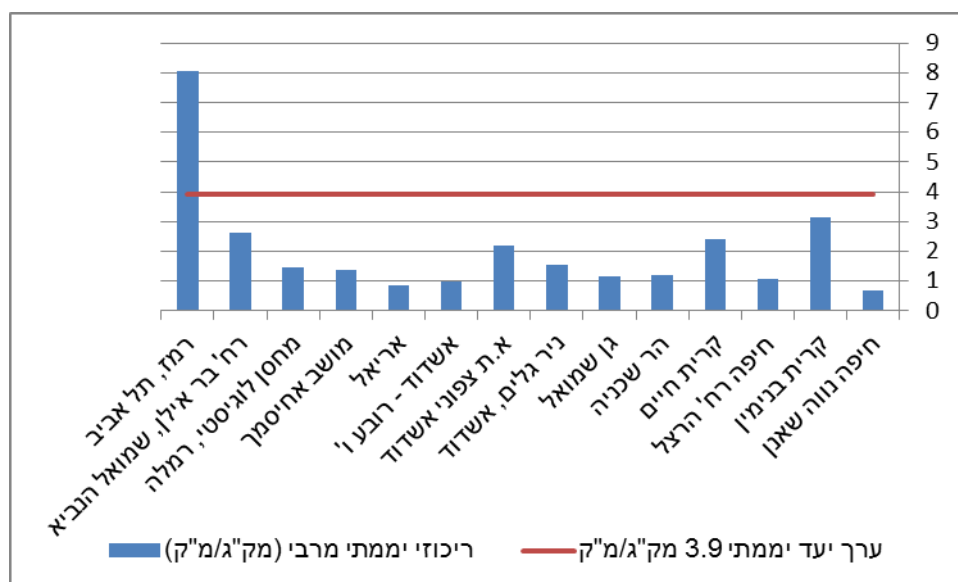
תוצאות דיגום סביבתי:

בדיקות סביבתיות נערכו ב- 14 נקודות דיגום שונות בתדירות של אחת לשבועיים החל מסוף 2013. בכל נקודות הדיגום בשנת 2014 לא נמדדו ריכוזים העולים על ערך היעד היממתי. בקריית בנימין באזור מפרץ חיפה הגובלת במתחם הפטרוכימי נמדדו הריכוזים הגבוהים ביותר של בנזן (איור 9). בשנת 2015 נרשם ריכוז אחד של בנזן (8.05 מק"ג/מ"ק) העולה על ערך היעד היממתי בתחנת הניטור התחבורתית רמז בתל אביב רבתי (איור 10). לא נרשמו ריכוזים העולים על ערך היעד השנתי של בנזן בשנים 2014 (26 דיגומים) ו- 2015 (13 - 14 דיגומים) (איורים מס' 11 ו- 12). בתחנת הניטור התחבורתית רמז בתל אביב נרשם ריכוז שנתי 97% מהערך היעד השנתי.

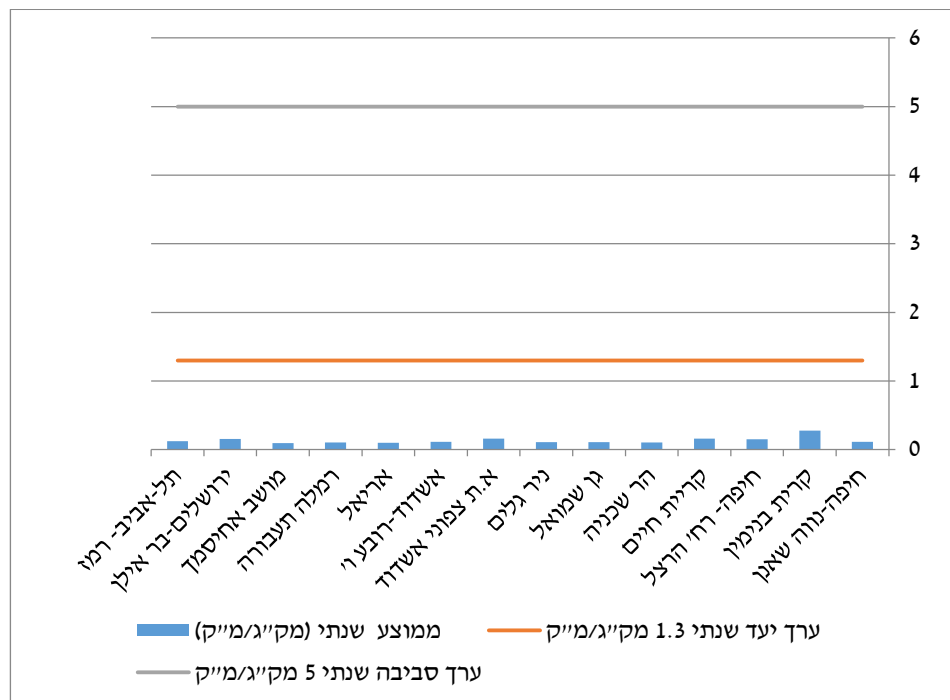
איור מס' 9: ריכוזי בנזן יממתיים מרביים שנמדדו במהלך 2014



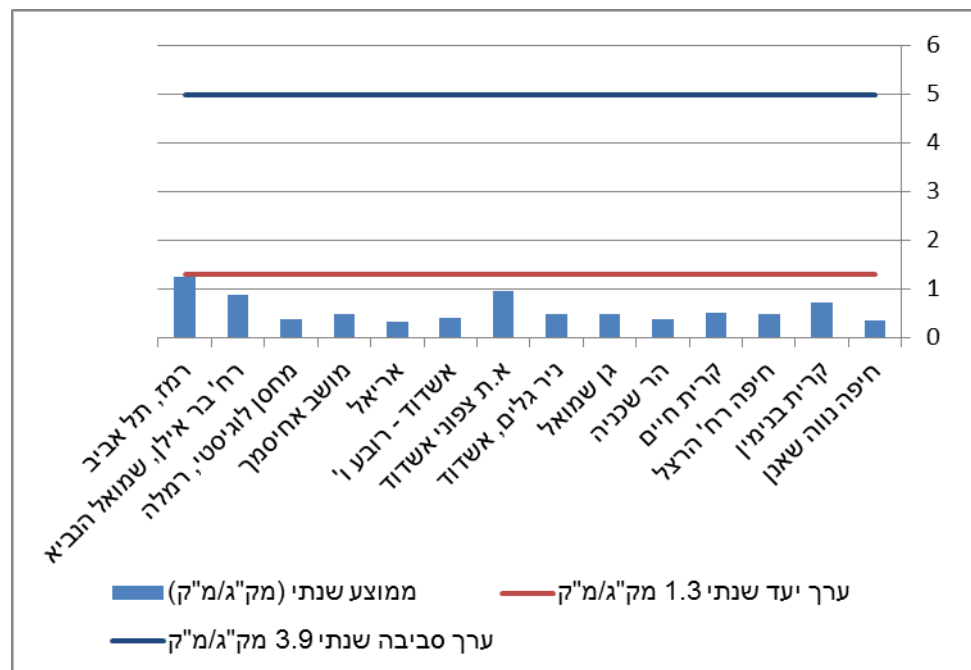
איור מס' 10: ריכוזי בנזן יממתיים מרביים שנמדדו במהלך 2015



איור מס' 11: ריכוזי בנזן שנתיים שנמדדו במהלך 2014



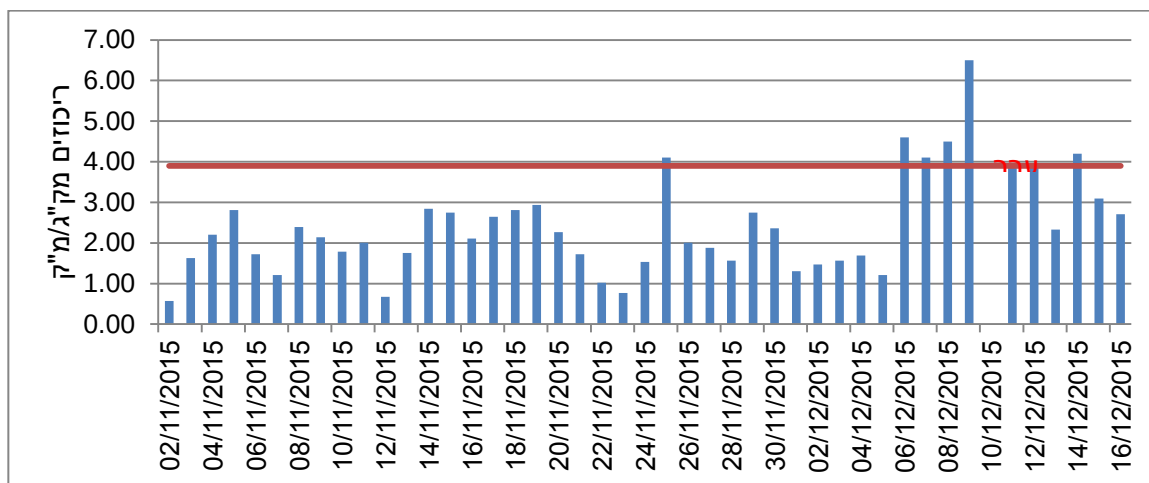
איור מס' 12: ריכוזי בנזן שנתיים שנמדדו במהלך 2015



מדידות בסמוך לתחנות דלק:

ניידת ניטור של המשרד פעלה בסמוך לדרך נמיר ולאחת מתחנות הדלק הגדולות בת"א בין ה- 2/11/15 – 16/12/15. בתקופת המדידה הני"ל נרשמו שמונה ריכוזים גבוהים מערך היעד היממתי. הריכוזים נעו בין 3.9 – 6.5 מק"ג/מ"ק (ראה איור 13).

איור 13: מדידות בנוזן בסמוך לדרך נמיר ולתחנת דלק בת"א בין ה- 2.11.15 – 16.12.15



דיגומים סביבתיים נערכו בסמוך לתחנות דלק בגוש דן.

להלן הממצאים:

נקודת דיגום	מרחק (מ')	מתחנת דלק	ריכוזים ממוצעים יומתיים (מק"ג/מ"ק)
רח' הרב קוק 72, הרצליה	10		15.0 (7-8/12/15) 9.6 (8-10/12/15) 18.5 (24-25/11/15)
רח' ז'בוטינסקי 67, רמת גן	10		18.9 (7-8/12/15) 18.9 (8-10/12/15) 20.6 (24-25/11/15)



רח' אלוף שדה (בית כנסת שמעון) רמת גן	10	8.18 (8-10/12/15) בדיקה שנמשכה 10 שעות 3.49 (7-8/12/15) בדיקה שנמשכה 8 שעות 20.9 (24-25/11/15)
רח' ההגנה 42, ת"א	10	8.72 (7-8/12/15) 22.8 (8-10/12/15)
רח' הזוהר 45, ת"א	10	6.9 (8-10/12/15)

כמו כן, נערכו דיגומים סביבתיים גם במרחקים שונים מ"החנוכיה" של תחנות דלק בגוש דן.
להלן הממצאים:

נקודת דיגום	מרחקים מהחנוכיה (מ')	ריכוזים ממוצעים יממתיים (מק"ג/מ"ק)
רח' ז'בוטינסקי 67, רמת גן	23	1.41 מק"ג/מ"ק (23-24/12/15)
	67	0.118 מק"ג/מ"ק (23-24/12/15)
רח' אלוף שדה (בית כנסת שמעון) רמת גן	18	4.32 מק"ג/מ"ק (23-24/12/15)
	30	4.35 מק"ג/מ"ק (23-24/12/15)



4.02 מק"ג/מ"ק (23-24/12/15)	22	רח' הזוהר 45, ת"א
3.9 מק"ג/מ"ק (23-24/12/15) (המדידה נערכה 21.6 שעות עקב תקלה)	46	

3.4.7 ההמלצה של המשרד להגנת הסביבה

ערך יעד: לאחר בחינת כלל המידע המפורט לעיל, נמצא כי בהתאם לדוח ועדת אלמוג אין מידע חדש בספרות, ולכן ערך היעד נשאר ללא שינוי.

יממתי – 3.9 מק"ג/מ"ק שנתי ; שנתי – 1.3 מק"ג/מ"ק

ערך סביבה: לאחר בחינת מקורות הפליטה של המזהם ולאור המצב הקיים בסביבה, נמצא כי ערך היעד השנתי המוצע ישים ומוצע לקבוע את ערך הסביבה כערך היעד. יחד עם זאת, נמצא כי בימים בעלי תנאים מטאורולוגיים קיצוניים עלולות להתקבל חריגות מערכי היעד היממתי. לכן, מוצע לקבוע מספר חריגות מותרות, בימים בהם מתקיימים תנאים מטאורולוגיים קיצוניים (מפל טמפרטורה חריף של מעל ל- 6°C ב- 100 המטרים הסמוכים לקרקע, עובי שכבת האינברסיה הקרקעית של בין 200 – 500 מטר ומהירות רוח נמוכה פחות מ- 2 מטר לשניה). לפי הערכותינו כ- 2% מהזמן בממוצע רב-שנתי. מדובר ב- 7 חריגות יממטיות.

יממתי – 3.9 מק"ג/מ"ק באחוזון 98

מותרות 7 חריגות יממטיות (2% מהזמן)

שנתי – 1.3 מק"ג/מ"ק

3.5 כספית

3.4.2 סקירת ספרות

"חשיפה לכספית" יכולה להתקיים בשלושה מצבים שונים אך חופפים:

- חשיפה לכספית בצורה של יסוד (elemental mercury) – לרוב מדובר בחשיפה נשימתית לאדי כספית. מצב זה סביר בעיקר במתאר תעסוקתי או במתאר תוך-מבני (שבירת נורות CFL לדוגמה). כספית גם נפלטת מסגסוגות כתוצאה מטיפול שיניים בצורת יסוד.



- חשיפה לכספית בצורה של חלקיקים (particle-bound mercury), הצורה הנפוצה בפליטות ממקור תעשייתי לסביבה.
- חשיפה למתיל-כספית (methyl mercury) – לרוב דרך אכילה, בעיקר של דגים, לאחר שהכספית נפלטת לאוויר בצורה של יסוד או חלקיקים, שקעה והפכה למתיל-כספית שנכנס בשרשרת המזון.

השפעות הבריאותיות של כספית

• כספית באוויר וסרטן

המחקרים החדשים אינם מוסיפים מידע היכול לשנות את המצב הקיים בתחום זה: אין הוכחה להשפעה מסרטנת כל שהיא של הכספית בבני אדם, אך קיימת עדות מוגבלת של השפעה מסרטנת של החשיפה לרמות גבוהות במיוחד של מתיל-כספית אצל עכברי מעבדה.

לכן, כספית הוגדר ע"י הארגון הבינלאומי לחקר הסרטן (IARC), החל משנת 1993, כחומר שאינו מסרטן לאדם (Group 3)⁵⁹, וגם ע"י הסוכנות הפדראלית להגנת הסביבה של ארה"ב (EPA) (Group D). מתיל כספית אומנם הוגדר ב-1993 ע"י ה-IARC כמסרטן אפשרי לאדם, אבל חלפו 20 שנה ולא התווסף מידע התומך בהשפעה מסרטנת של מזהם זה⁶⁰.

• ההשפעות הבלתי מסרטנות של החשיפה לכספית באוויר

השפעות בריאותיות לחשיפה קצרת טווח

החשיפה הנשימתית קצרת טווח לכספית אומנם יכולה לגרום להשפעות בריאותיות מגוונות אבל בריכוזי חשיפה שאינם סבירים במתאר הסביבתי אלא קיימים רק באווירה תעסוקתית. מדובר בתופעות בלתי ספציפיות השותפות לחשיפות חריפות לכל המתכות (פגיעה בריריות, שיעול, בחילות והקאות, שלשול, עליה בלחץ הדם, פריחה עורית). נוסף על כך, הכספית פוגעת באופן ייחודי ברקמת מערכת העיכול. במקרים נדירים ההרעלה החריפה לאדי כספית מסתיימת אפילו במוות כתוצאה מאי-ספיקה נשימתית ו/או כלייתית⁶¹. שוב, תופעות אלה אינן מוכרות במתארי החשיפה הסביבתית.

⁵⁹ **WHO IARC:** IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, vol 58: Beryllium, Cadmium, Mercury, and Exposures in the Glass Manufacturing Industry. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 1993.

⁶⁰ **ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry:** Addendum to the Toxicological Profile for Mercury. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. 2013.

⁶¹ **Bensefa-Colas L, Andujar P & Descatha A:** Intoxication par le mercure. Rev. Méd. Int. 32 (7): 416-424, 2011.

השפעות חשיפה ארוכת טווח

למרות שבמצבים קיצוניים של חשיפה ממושכת לכספית ו/או למתיל כספית, ניתן להבחין בתופעה קלינית ייחודית (Acrodynia) המשלבת פגיעה במספר מערכות הגוף⁶², לרוב הפגיעה מתפתחת בצורה איטית ולכן, לעתים קרובות, אינה מובחנת, למרות שהיא קיימת וגורמת למגוון רחב במיוחד של השפעות בריאותיות שליליות^{63, 64}.

א. הפגיעה במערכת החיסון

החשיפה למתיל-כספית נקשרה לעלייה בלתי ספציפית של כלל הנוגדנים (אימונו-גלובולין מסוג IgG)⁶⁵, אך ניסויים על חיות מעבדה הראו שתפקוד הנוגדנים האלה עלול להיות לקוי, בעיקר במקרים של זיהומים חיידקיים⁶⁶.

ב. הפגיעה ההורמונאלית

החשיפה לכספית נקשרה לירידה ברמות הורמוני בלוטת התריס T3 ו-T4⁶⁷. כמו כן התגלתה אינטראקציה מורכבת עם הורמון ה-LH⁶⁸, המספקת השערות לגבי מנגנון הפגיעה החיסונית והנירולוגית המתוארת כתוצאה מחשיפה לכספית, והמסבירה במידה מסוימת את הסתירות בין תוצאות המחקרים הקושרים בין חשיפה לכספית למחלת האנדומטריוזיס (Endometriosis)⁶⁹.

ג. הפגיעה בעובר ובהתפתחות הילד

⁶² **ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry:** Toxicological profile for mercury. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. 1999.

⁶³ **United States National Research Council (NRC):** Toxicological Effects of Methylmercury. National Research Council (US) Committee on the Toxicological Effects of Methylmercury. Washington (DC): National Academies Press (US); 2000.

⁶⁴ **EU Ambient air pollution by Mercury Position paper:** Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2002

⁶⁵ **Nyland JF, Wang SB et al:** Fetal and maternal immune responses to methylmercury exposure: A cross-sectional study. Environ. Res. 111 (4): 584-589, 2011.

⁶⁶ **Germolec D, Kono DH et al:** Animal models used to examine the role of the environment in the development of autoimmune disease: Findings from an NIEHS Expert Panel Workshop. J. Autoim. 39 (4): 285-293, 2012.

⁶⁷ **Yorita Christensen KL:** Metals in blood and urine, and thyroid function among adults in the United States 2007–2008. Intern. J. Hyg. Environ. Health 216 (6): 624-632, 2013.

⁶⁸ **Laks DR:** Luteinizing hormone provides a causal mechanism for mercury associated disease. Med. Hypoth. 74 (4): 698-701, 2010.

⁶⁹ **Pollack AZ, Buck Louis GM et al:** Trace elements and endometriosis: The ENDO Study. Reprod. Toxicol. 42: 41-48, 2013.



המחקרים החדשים באים לחדד את המידע שכבר נאסף על הפגיעה בהתפתחות מערכת העצבים של העובר, כתוצאה מחשיפה לרמות סביבתיות של כספית והמתיל כספית^{70, 71}. שתי הצורות של המזהם חודרות דרך השיליה, מופרשות בחלב אם, מתאספות בגוף העובר והתינוק, וגורמות לפגיעה בהתפתחות מערכת העצבים.

הערכת סיכונים חשובה במיוחד מייחסת את הפגיעות התפתחותיות לשתי צורות בלבד של חשיפה למזהם:

- מתיל כספית במזון וחלב-אם

- יסודות כספית בחשיפה נשימתית⁷².

למרות שניתן להצביע על קשר בין רמות כספית ומתיל כספית בדם האם ובדם טבורי, ושכיחות ועוצמה של הפגיעות ההתפתחותיות, קיימת בעיה יסודית בחוסר היכולת של החוקרים לקבוע יחס מנה תגובה ברור בין רמות החשיפה לקיום ועוצמה של פגיעה זו⁷³. בעיה זו נובעת מהמורכבות שפורטה לעיל של האינטראקציות בין המזהם למערכות הביולוגיות של הגוף. ברור לכל שהעדר קביעה חד משמעית של יחס מנה תגובה, משפיע בצורה מיידית על אופי קביעת תקני חשיפה למזהם זה.

הפגיעה הפסיכו-מוטורית הינה כנראה תדירה יותר בקרב תינוקות ממין נקבה מאשר בקרב תינוקות ממין זכר⁷⁴, אך קיימות תוצאות סותרות בין המחקרים השונים, מצב המשקף את המורכבות של האינטראקציה בין חשיפה לכספית ורקע גנטי⁷⁵.

הנזק הנגרם כתוצאה מחשיפה עוברית למתיל כספית, גם במקרים לכאורה ללא סימנים קליניים בעת הלידה, מתבטא לטווח הארוך בשכיחות גבוהה יותר של הפרעות ריכוז⁷⁶, והפרעות התנהגותיות⁷⁷ המשקפות את הפגיעה הנירו-קוגניטיבית הסמויה⁷⁸.

⁷⁰ **Bose-O'Reilly S, McCarty KM et al:** Mercury Exposure and Children's Health. Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care. 40 (8): 186-215, 2010.

⁷¹ **Fox DA, Grandjean P et:** Developmental origins of adult diseases and neurotoxicity: Epidemiological and experimental studies. Neuro Toxicol. 33 (4): 810-816, 2012.

⁷² **Morisset T, Ramirez-Martinez A et al:** Probabilistic mercury multimedia exposure assessment in small children and risk assessment. Environ. Intern. 59 : 431-441, 2013.

⁷³ **Deroma L, Parpinel M et al:** Neuropsychological assessment at school-age and prenatal low-level exposure to mercury through fish consumption in an Italian birth cohort living near a contaminated site. Intern. J. Hyg. Environ. Health 216 (4): 486-493, 2013.

⁷⁴ **Llop S, Guxens M et al:** Prenatal exposure to mercury and infant neurodevelopment in a multicenter cohort in Spain: study of potential modifiers. Am J Epidemiol. 175(5):451-65. 2012.

⁷⁵ **Llop S, Lopez-Espinosa MJ et al:** Gender differences in the neurotoxicity of metals in children. Toxicology 311 (1-2): 3-12, 2013.

⁷⁶ **Julvez J, Debes F et al:** Sensitivity of continuous performance test (CPT) at age 14 years to developmental methylmercury exposure. Neurotoxicol. Teratol. 32 (6): 627-632, 2010.

התוצאות החדשות מראות שאם השלב העוברי מהווה שלב קריטי במיוחד, גם התינוק הנולד עלול להיפגע מחשיפה לכספית, היות ומערכת העצבים המרכזית ממשיכה להתפתח בצורה מואצת עד גיל שנתיים. חשיפה לכספית לאחר הלידה משפיעה במיוחד באופן שלילי על התפתחות הזיכרון והריאה הספציאלית.⁷⁹

התגלה קשר הפוך בין רמות הכספית בדם האם ובדם טבורי מצד אחד ונתוני משקל וגובה של התינוקות בגיל שנתיים מצד השני, דבר המצביע על קיום של פגיעה התפתחותית מתמשכת לאחר הלידה.^{81, 80}

כמו כן, יש לקחת בחשבון שקיימת בעיה מתודולוגית במחקרים אפידמיולוגיים רבים הדנים בקשר בין חשיפה לכספית ומתיל כספית בשלב העוברי או בחודשים הראשונים לאחר הלידה וקיום של תופעות נירו-קוגניטיביות שליליות לאחר מכן. אכן, הנוכחות של חשיפה בו זמנית (דרך המזון) לשומנים בעלי שרשראות בלתי רוויות (long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids) המשפיעים בצורה חיובית על התפתחות מערכת העצבים יכולה להחליש את הקשר הקיים בין חשיפה לכספית ומתיל כספית עם בעיות נירו-קוגניטיביות אצל הילדים שנחשפו למזהמים האלה.⁸² שומנים אלה שכיחים במיוחד בדגים, מזון המהווה המקור העיקרי של החשיפה הסביבתית לכספית ומתיל-כספית עבור רוב האוכלוסייה.

ד. הפגיעה במערכת העצבים אצל המבוגר

המחקרים החדשים אומנם שוללים את האפשרות של התפתחות הפרעות קוגניטיביות אצל מבוגרים הנחשפים באופן כרוני לרמות סביבתיות נמוכות של כספית, אבל מספר ממצאים מרמזים על קיום של קשר אפשרי עם התפתחות מחלת פרקינסון.⁸³ ואפילפסיה.⁸⁴

⁷⁷ Haynes EN, Chen A et al: Exposure to airborne metals and particulate matter and risk for youth adjudicated for criminal activity. Environ. Res. 111 (8): 1243-1248, 2011.

⁷⁸ Lam HS, Kwok KM et al: Long term neurocognitive impact of low dose prenatal methylmercury exposure in Hong Kong. Environ. Intern. 54 : 59-64, 2013.

⁷⁹ Grandjean P, Weihe P et al: Neurotoxicity from prenatal and postnatal exposure to methylmercury. Neurotoxicol. Teratol. 43: 39-44, 2014.

⁸⁰ Kim BM, Lee BE et al: Mercury levels in maternal and cord blood and attained weight through the 24 months of life. Sci. Total Environ. 410-411 : 26-33, 2011.

⁸¹ Jedrychowski WA, Perera FP et al: Depressed height gain of children associated with intrauterine exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and heavy metals: The cohort prospective study. Environ. Res. 136: 141-147, 2015

⁸² Choi AL, Mogensen UB et al: Negative confounding by essential fatty acids in methylmercury neurotoxicity associations. Neurotoxicol. Teratol. 42: 85-92, 2014.

⁸³ Palacios N, Fitzgerald K et al: A prospective analysis of airborne metal exposures and risk of Parkinson disease in the nurses' health study cohort. Environ Health Perspect. 122(9):933-8, 2014.

⁸⁴ Yuan Y: Methylmercury: A potential environmental risk factor contributing to epileptogenesis. NeuroToxicology 33 (1): 119-126, 2012.

ה. הפגיעה בריאות

מספר מחקרים הצביעו על קיום של פגיעה בתאי הריאה כתוצאה מחשיפה למתיל-כספית, עקב תהליכי עקה חמצונית הגורמים לפגיעה במיטוכונדריות ולשיבושים קשים בתאים אלה.⁸⁵ קיימת כנראה השפעה סינרגיסטית של החשיפה לאבק סיליקט ולמתיל כספית בהתפתחות פגיעה זו.⁸⁶ משמעות הקלינית של הממצאים האלה עדיין לא ברורה.

ו. הפגיעה בכבד

מחקרים חדשים הראו שקיימת פגיעה בתפקודי כבד כתוצאה מחשיפה מושכת לרמות נמוכות של כספית.^{87, 88}

ז. הפגיעה בכליות

בניגוד לחשדות שהועלו בעבר, המחקרים החדשים שוללים את הקיום של פגיעה בכליות כתוצאה מחשיפה סביבתית לכספית.^{89, 90}

ט. הפגיעה הקרדיו-וסקולארית

מספר מחקרים חדשים מביאים אור חדש על סוגיית הקשר בין חשיפה לריכוזים נמוכים של כספית והתפתחות של יתר לחץ דם. מקור הסתירה המתגלה בין תוצאות המחקרים השונים^{91, 92} ככל הנראה טמון בעובדה

⁸⁵ Lu TH, Chen CH et al: Methylmercury chloride induces alveolar type II epithelial cell damage through an oxidative stress-related mitochondrial cell death pathway. Toxicol. Letters 194 (3): 70-78, 2010.

⁸⁶ Yu Y, Duan J et al: Combined toxicity of amorphous silica nanoparticles and methylmercury to human lung epithelial cells. Ecotoxicol. Environ. Safety 112: 144-152, 2015.

⁸⁷ Lee H, Kim Y et al: Associations between blood mercury levels and subclinical changes in liver enzymes among South Korean general adults: Analysis of 2008–2012 Korean national health and nutrition examination survey data. Environ. Res. 130 : 14-19, 2014.

⁸⁸ Yorita Christensen KL, Carrico CK et al: Multiple classes of environmental chemicals are associated with liver disease: NHANES 2003–2004. Intern. J. Hyg. Environ. Health 216 (6): 703-709, 2013.

⁸⁹ Kim Y, Lee BK: Associations of blood lead, cadmium, and mercury with estimated glomerular filtration rate in the Korean general population: Analysis of 2008–2010 Korean National Health and Nutrition Examination Survey data. Environ. Res. 118: 124-129, 2012.

⁹⁰ Trzeciakowski JP, Gardiner L & Parrish AR: Effects of environmental levels of cadmium, lead and mercury on human renal function evaluated by structural equation modeling. Toxicol. Letters 228 (1): 34-41, 2014.

⁹¹ Park SK, Lee S et al: Associations of blood and urinary mercury with hypertension in U.S. Adults: The NHANES 2003–2006. Environ. Res. 123: 25-32, 2013.

⁹² Yorifuji T, Tsuda T et al: Long-term exposure to methylmercury and its effects on hypertension in Minamata. Environ. Res. 110 (1): 40-46, 2010



שהתופעה אינה קשורה ישירות לחשיפה לכספית אלא לחשיפה למתיל-כספית⁹³. נוסף על כך, החשיפה למתיל כספית גורמת להאצה של הקצב הבסיסי של הלב⁹⁴, דבר המהווה גורם סיכון עבור הנחשפים הסובלים ממחלת לב כלילית. ההשפעות השליליות על מערכת הלב וכלי דם, מוגברות אצל מעשנים משתי סיבות: מצד אחד, עישון מהווה בעצמו גורם סיכון לפגיעות בריאותיות אלה, ומצד השני עישון מהווה מקור נוסף של חשיפה לכספית, לכן החשיפה לכספית גבוהה יותר בקרב הנחשפים המעשנים⁹⁵.

3.4.3 תקנים בעולם: ערכי יעד וסביבה בגופים רגולטורים חשובים בעולם:

USEPA – ערך ייחוס שנתי $0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$

RfC – Reference Concentration Dose עבור חשיפה נשימתית כרונית משנת 1995.

WHO – ערך ייחוס של $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ משנת 2000.

EEA – אין ערך סביבה

מדינת קליפורניה – $0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ OEHHHA – 2008 – ערך שעתי

$0.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ OEHHHA – 2008 – ערך שנתי.

ישראל

ערך יעד: שעתי – 1.8 מק"ג/מ"ק – כלל כספית (OEHHHA – REL)

(OEHHHA – (Office of Environmental Health Jazard Assessment)

שנתי – 0.3 מק"ג/מ"ק (מבוסס על USEPA- RfC)

ערך סביבה: לא נקבע ערך סביבה

⁹³ **Mozaffarian D, Shi P et al:** Mercury exposure and risk of cardiovascular disease in two U.S. cohorts. N Engl J Med. 364(12):1116-25, 2011.

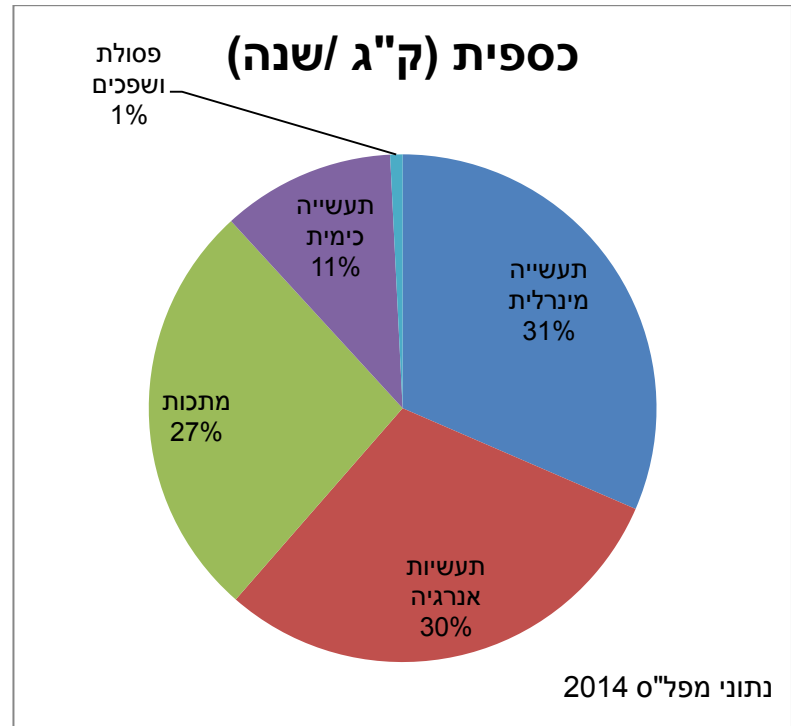
⁹⁴ **Valera B, Dewailly E & Poirier P :** Association between methylmercury and cardiovascular risk factors in a native population of Quebec (Canada): A retrospective evaluation. Environ. Res. 120, January 2013, Pages 102-108.

⁹⁵ **Hong D, Cho SH et al:** Hair mercury level in smokers and its influence on blood pressure and lipid metabolism. Environ. Toxicol. Pharmacol., 36 (1): 103-107, 2013.

3.4.4 מקורות הפליטה של המזהם

מקורות הפליטה של כספית בישראל לפי המפלס הם מעטים. מדובר בתעשייה מינרלית (ייצור מלט), שריפת דלקים בתחנות הכוח הפחמיות, מפעלים לעיבוד ומחזור מתכות ותעשייה כימית.

מקורות הפליטה של כספית בישראל:



3.4.5 חיזוי ערכי סביבה של כספית לפי תרחיש "עסקים כרגיל"

אין למשרד מודל חיזוי מתאים למזהם זה. מודלים כאלה נמצאים בשלבי מחקר בעולם. מדובר במודלים מורכבים ביותר.

3.4.6 אמצעי מדיניות להפחתת המזהם, חיזוי ערכי סביבה של כספית לאחר הפעלת אמצעי המדיניות

המשרד פועל מול מקורות הפליטה המשמעותיים במסגרת התנאים בהיתרי הפליטה ורישיונות העסק, ליישום הטכנולוגיות המיטביות (BAT) של מזהמים מהסוג הזה.

3.4.7 תמונת מצב כספית בסביבה

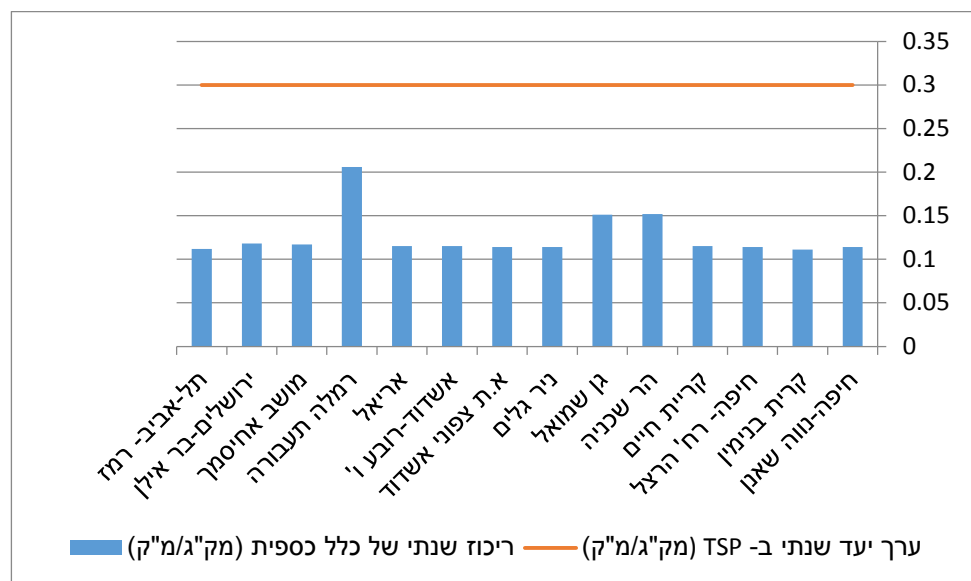
כספית ב-TSP

ריכוזי כספית ב- TSP בשנת 2014 נמצאו נמוכים מסף הגילוי של המדידה (0.0735 מק"ג/מ"ק) ונמוכים בהרבה מערך היעד השעתי בכל נקודות הדיגום. בשנת 2015 הוגדלו מאד הרגישות של המדידה וריכוזי הכספית ב- TSP היו נמוכים מאד ביחס לערך היעד השעתי. הריכוזים שנמדדו היו נמוכים מ- 1 ננוגרם למ"ק.

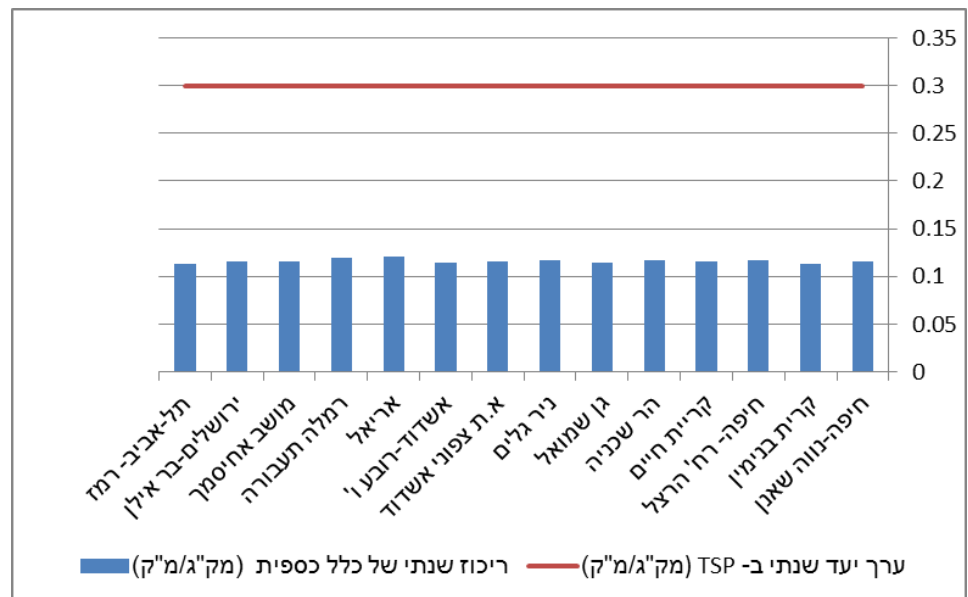
כלל כספית (חלקיקים ואדי כספית)

הריכוזים הממוצעים השנתיים בשנים 2014 ו- 2015 חושבו מתוך מדידות יממתיות שבוצעו לכלל כספית, דהיינו כחלקיקים ב- TSP יחד עם אדי כספית. ממוצעים אלה הושוו לערך היעד השנתי ב- TSP ועדין נמצאו נמוכים ממנו (איור 14)

איור מס' 14: ריכוזי כלל כספית (חלקיקים ואדי כספית) שנתיים ל- 2014

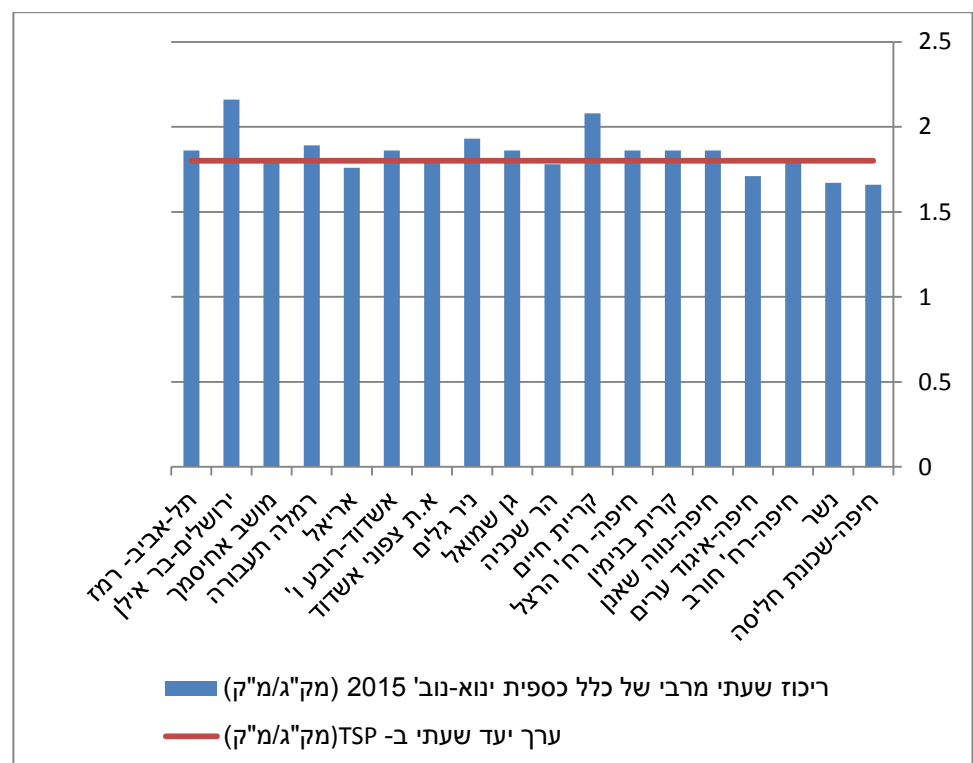


איור מס' 15: ריכוזי כלל כספית (חלקיקים ואדי כספית) שנתיים ל- 2015



הריכוזים השנתיים בכלל כספית עולים על ערך היעד המוצע (0.6 מק"ג/מ"ק) (איור 16)

איור מס' 16: ריכוזי כלל כספית (חלקיקים ואדי כספית) שנתיים ל- 2015



3.4.8 ההמלצה של המשרד להגנת הסביבה

עדכון ערכי היעד:

ערך היעד הקיים נקבע בהתאם לדוח ועדת אלמוג שאימץ את ערך הייחוס השעתי שהיה מקובל במדינת קליפורניה OEHHA משנת 1995. בהתאם לדוח ועדת אלמוג מוצע לעדכן את ערך היעד בהתאם לערך הייחוס השעתי המעודכן של מדינת קליפורניה OEHHA משנת 2008, כמפורט להלן

שעתי – 0.6 מק"ג/מ"ק בכלל כספית (חלקיקים + אדי כספית)

שנתי – 0.03 מק"ג/מ"ק בכלל כספית (חלקיקים + אדי כספית)

יצוין, כי קיימת שיטת מדידה רגישה היכולה למדוד מתחת לערך זה. השיטה היא IO-5, דגום על שפופרות פחם/זהב ואנליזה ב CVAf (cold vapour atomic fluorescence). נכון להיום אין בארץ מעבדה מוסמכת לביצוע אנליזה לכספית ברגישות הנדרשת ולכן לצורך בדיקת המצב בסביבה ביחס לערך היעד השפופרות ישלחו לחו"ל למעבדה מוסמכת.

קביעת ערך סביבה:

כיום אין ערך סביבה בישראל. מוצע לקבוע ערכי סביבה כמפורט להלן:
ערך הסביבה השעתי בהתאם לעדכון החדש של מדינת קליפורניה. מבדיקת המצב הסביבתי ומקורות הפליטה נמצא כי ערך זה ניתן ליישם ערך זה ב-TSP בשלב זה ולא בכלל כספית (TSP ואדי כספית):

שעתי – 0.6 מק"ג/מ"ק ב-TSP

ערך הסביבה השנתי לאחר בחינה של המצב הסביבתי בישראל ובהתייחס למקורות הפליטה, מוצע לקבוע את ערך הסביבה השנתי כערך הייחוס השנתי של ה-USEPA. לאור הנאמר לעיל קיימת יכולת יישום לערך המוצע. לא ניתן לקבוע בשלב זה את ערך היעד השנתי כערך סביבה מאחר וטרם נערכו מדידות בטווח ריכוזים זה בארץ ואין כלל ניסיון או מידע הן לגבי שיטת המדידה והן לגבי הישימות שלו בארץ:

שנתי – 0.3 מק"ג/מ"ק בכלל כספית (חלקיקים ואדי כספית)

3.5 פורמאלדהיד

3.5.2 סקירת ספרות

פורמאלדהיד מסווג כמסרטן וודאי בבני אדם על ידי ארגון הבריאות העולמי ה-IARC.

פורמאלדהיד וסרטן:

בשנת 2004 שינתה הסוכנות הבינלאומית לחקר הסרטן (IARC) את סווג הפורמאלדהיד מ"ככל הנראה מסרטן לאדם" (Group 2A) ל"מסרטן וודאי לאדם" (Group 1)⁹⁶. החלטה זו התבססה על תוצאות המחקר ארוך טווח המתמשך (Ongoing cohort study) המתבצע משנת 1994 ע"י חוקרי המרכז הלאומי לסרטן של ארה"ב (NCI). תוצאות אלה הראו עליה בתמותה מסרטן מערות האף בקרב עובדים שנחשפו לרמות גבוהות במיוחד של פורמאלדהיד במסגרת תעסוקתית⁹⁷.

יחידת סיכון של הפורמאלדהיד (חשיפה נשימתית) $RU = 1.3 \times 10^{-5} / \text{ug}/\text{m}^3$ (עבור סרטן לוע - אפי). על סמך הגדרה זו, חשיפה לאורך כל החיים לרמה של $0.8 \text{ ug}/\text{m}^3$ של פורמאלדהיד באוויר הסביבתי, תגרום לתוספת תחלואה מסרטנת של 1 ל-100,000 איש.

ערך הייחוס השנתי שנקבע על ידי ועדת אלמוג מבוסס על ערך של EPA – IRIS משנת 1991. יש להדגיש שחוקרים רבים הצביעו על ליקויים משמעותיים בבסיס הנתונים ששמש להחלטה זו⁹⁸, יש לציין כי EPA – IRIS פועל לעדכן את ערך הייחוס.

בדוח של IRIS משנת 2010 (טיוטה) נמצא, כי קיים קשר סיבתי בין חשיפה נשימתית לפורמאלדהיד וסרטן במערכת האף, לוקמיה, סרטן במערכת הדם. ערך הייחוס עבור סרטן (בהתחשב ברגישות הקשורה לגיל) נקבע כ-0.09 מק"ג/מ"ק (סיכון של 1 ל-100,000 איש).

בנוסף, ישנן עדויות על הקשר בין חשיפה לפורמאלדהיד והשפעות בריאותיות רבות כגון גירוי, מחלות במערכת הנשימה, אסתמה, מערכת האימונית, השפעות התנהגויות וכן השפעות על פוריות והתפתחות העובר. בדו"ח יש

⁹⁶ World Health Organization, International Agency For Research On Cancer (WHO IARC): IARC Monographs On The Evaluation Of Carcinogenic Risks To Humans Volume 88 Formaldehyde, 2-Butoxyethanol And 1-tert-Butoxypropan-2-ol, 2006

⁹⁷ Hauptmann M, Lubin JH et al.: Mortality from solid cancers among workers in formaldehyde industries. Am J Epidemiol 2004, 159: 1117-1130

⁹⁸ Marsh GM, Morfeld P et al.: Issues of methods and interpretation in the National Cancer Institute formaldehyde cohort study. J Occup Med Toxicol. 2014 May 16;9:22.

⁹⁹ Marsh GM, Youk AO et al.: Incomplete follow-up in the National Cancer Institute's formaldehyde worker study and the impact on subsequent reanalyses and causal evaluations. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2010, 58, 2, 233-236.

הצעה לקבוע RfC על בסיס אסתמה, אלרגיה ושינוי בתפקוד ריאות. בדוח זה נאמר במפורש שהשפעות האלו בריכוזים נמוכים מאלו שגורמים לגירוי.

בדירקטיבה האירופית, כמו גם ל-US-EPA אין ערכי סביבה לפורמאלדהיד.

מצאנו כי ערכי הייחוס לפורמאלדהיד של מדינת טקסס הם העדכניים ביותר ומחמירים יותר מאשר של קליפורניה.

ערך ESL השעתי של טקסס עומד על $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ והוא נגזר מ-4 עבודות מחקר מבוקרות בבני-אדם – חלקם בריאים וחלקם משתייכים ל"אוכלוסיות חלשות" (רגישות עורית / נשימתית לפורמאלדהיד). שתיים מהן (Prazdrak 1993¹⁰⁰; Krakowiak 1998¹⁰¹) שימשו את ה-ATSDR בקביעת ערכי ה-acute MRL. שתיהן כללו 20 מתנדבים בכל אחת שנחשפו לפורמאלדהיד בריכוז של $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ למשך 4 שעות כנגד placebo. נמדדו פרמטרים שונים של איריטציה ובדיקות ביוכימיות וציטולוגיות של נוזל שטיפת האף. באחת מהן, אף נערכו למתנדבים בדיקת תפקודי ריאות לפני ואחרי 4 ו-24 שעות מהחשיפה עם ובלי חשיפה להיסטמין. שתי העבודות הניבו ממצאים דומים ועל פיהם נקבע ערך LOAEL של $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

שתי עבודות אלה נתמכו ב-3 עבודות מחקר נוספות (Kulle 1987¹⁰², 1993¹⁰³; Lang 2008¹⁰⁴) בבני אדם. העבודות של Kulle כללו חשיפה לריכוזי פורמאלדהיד שונים ואלה אפשרו לבנות עקומות ריכוז-תגובה. עיבוד הנתונים ב-USEPA BMD Modeling Software אפשר לחלץ את ערך BMCL_{05} עבור אפקט האיריטציה של העיניים אשר נמצא כאפקט הרגיש ביותר לחשיפה נשימתית לפורמאלדהיד.

חמש העבודות שמנינו לעיל שימשו את הבסיס (POD) והתמיכה לקביעת ערך ESL השעתי של טקסס. מאחר והבסיס לתקן נלקח כולו מנסויים מבוקרים בבני אדם, לא היה צורך בשימוש בפקטור אי-וודאות של המעבר מבעלי חיים לבני אדם. יתרה מכך, מאחר וערך ה-LOAEL שחושב תאם את ערך ה- BMCL_{05} שנגזר ממודל מתמטי שפותח על ידי ה-EPA, ומאחר והנתונים שהופקו כללו גם "אוכלוסיות חלשות" ואיכות בסיס הנתונים היתה גבוהה, כל הנותר הוא להתחשב בוריאביליות התוך-והבין-אישית ($\text{UF} = 10$) ולהגיע לערך $\text{REL} = 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. ערך זה זהה לערך הייחוס השעתי של אוסטרליה (Australian state environment protection policy level, 1 hr. NICNAS 2006).

¹⁰⁰ Pazdrak k, Gorski P, Krakowiak A, Ruta U. Changes in lavage fluid due to formaldehyde inhalation. Int. Arch. Occup. Environ. Health 1993, 64(7):515-519.

¹⁰¹ Krakowiak A, Gorski P, Pazdrak k, Ruta U. American Journal of Industrial Medicine 1998, 33(3):274-281.

¹⁰² Kulle TJ. Acute odor and irritation response in health non-smokers with formaldehyde exposure. Inhalation Toxicology 1993, 5:323-332.

¹⁰³ Kulle TJ, Sauder LR, Hebel JR et al. Formaldehyde dose-response in healthy non-smokers. J Air Pollut. Control Assoc 37:919-924.

¹⁰⁴ Lang I, Bruckner T, Triebig G. Formaldehyde and chemosensory irritation in humans: a controlled human exposure study. Regul. Toxicol. Pharmacol. 2008, 50:23-36.

ערך ה- ESL הכרוני (השנתי) נקבע במקביל בשני ערוצים שונים :

ערוץ האפקט הלא-קרצינוגני התמקד בעיקר באפקט האיריטנטי של פורמאלדהיד על העיניים ודרכי הנשימה העליונות ועל אי-נוחות בדרכי הנשימה התחתונות. הנתונים הופקו מאוכלוסיה של עובדים שנחשפו נשימתית לפורמאלדהיד בממוצע 10 שנים. הנתונים היו מלאים ובאיכות טובה. משום כך פקטור אי-הוודאות היה נמוך (UF = 3) ערך ה- ESL השנתי שחושב היה $3.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

בערוץ האפקט הקרצינוגני, נבחנו 3 גישות שונות על בסיס מנגנון הפעולה הביולוגי של הפורמאלדהיד לגרום לסרטן ושיטות חישוב שונות לערך ESL השנתי. נמצא כי גישת ה- *linear low-dose extrapolation* המהווה כגישת ה- default ההיסטורית של ה- EPA, אינה מתאימה משום שעקומות ריכוז-תגובה של פורמאלדהיד אינן לינאריות (כצפוי). ניסויים בחולדות מעבדה שנחשפו נשימתית במשך שנתיים לריכוזים של 0.86, 2.46, 7.38, 12.3 ו- 18.45 מיקרוגרם פורמאלדהיד למ"ק העלו כי הפרמטר הרגיש ביותר ל- *tumorigenesis* הינו שגשוג (proliferation) תאי האפיטל בלוע האפי והוא בקורלציה עם הסיכון לפתח תגובה ממאירה. המעבר מנתוני מעבדה שהופקו בחולדות ליישום בבני-אדם נעשה על ידי שימוש משולב של: (1) מודל המחשב את זרימת האוויר דרך הריאות המצפות את דרכי האוויר בלוע האפי של ולדות בהשוואה לאדם (computational fluid dynamics; CFD). (2) מודל פרמקוקינטי המחשב את כמות הפורמאלדהיד האפקטיבית שנמצאת בתאי ריאות דרכי האוויר בלוע האפי בחולדה האקוילנטית לזו של האדם. (3) מודל המחשב את כמות תוצרי הפגיעה של הפורמאלדהיד (DNA-protein cross links; DPX) בתאי הציפוי של דרכי האוויר בלוע האפי. כל זה נותן את ה- *internal dose* של פורמאלדהיד בתאי איבר המטרה של פורמאלדהיד בעכברים לעומת בני אדם. חישובים אלה מובילים לערך BMCL_{01} של $0.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ שווה-ערך בבני אדם. גם כאן, אין צורך בפקטור אי-וודאות במעבר מבעלי חיים לאדם, הנתונים מלאים ובאיכות גבוהה ולכן כל הנותן הוא לקחת בחשבון את אי-הוודאות של השונות הביולוגית בין- ותוך אישיים בבני אדם. חישובים אלה מובילים לערך ESL כרוני של $5.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

מבין 2 הערוצים שנבדקו נמצא כי ערך ה- ESL הכרוני, על בסיס אפקט לא-קרצינוגני במערכת הנשימה הוא היותר נמוך (3.3 לעומת 5.5 מיקרוגרם למ"ק). משום כך הוא נבחר לשמש ערך ESL השנתי של טקסס.

3.5.3 תקנים בעולם: ערכי יעד וסביבה בגופים רגולטורים חשובים בעולם:

USEPA - יחידת סיכון של פורמאלדהיד (חשיפה נשימתית) $\text{RU} = 1.3 \times 10^{-5} / \mu\text{g}/\text{m}^3$ (עבור סרטן לוע - אפי)

ערך ייחוס שנתי $0.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (מבוסס על IRIS, 1991)

WHO – המלצה להשפעה לא מסרטנת עבור חשיפה חצי-שעיתית של $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ משנת 2000.

EEA – אין ערך סביבה

ישראל

ערך יעד: יממתי – 0.8 מק"ג/מ"ק (כמו השנתי)

שנתי – 0.8 מק"ג/מ"ק (מבוסס על USEPA- Unit risk, CFR)

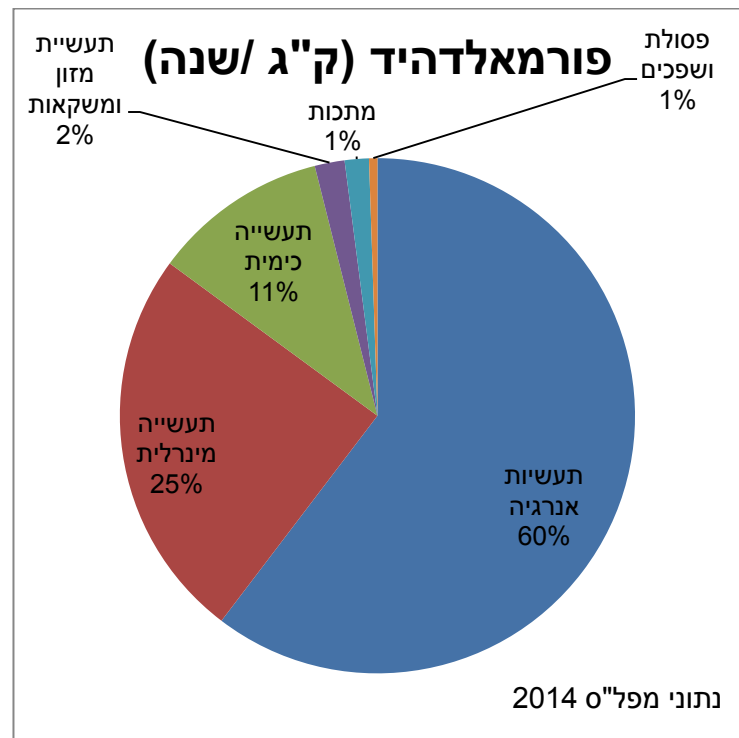
ערך סביבה: חצי-שעתי 100 מק"ג/מ"ק

תקנים נוספים:

מדינה	משך חשיפה	ערך הייחוס ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	איבר המטרה	הערות
EPA / IRIS 1991	ערך סביבה 8 שעתי	0.8	סרטן לוע-אפי	עדיין בתוקף
Health Canada 2005	ערך סביבה 8 שעתי	50	סימפטומים נשימתיים בילדים	residential indoor air quality guideline
	ערך סביבה 8 שעתי	123	איריטציה של העיניים	residential indoor air quality guideline
California 2008	acute REL (1 hr)	55	איריטציה של העיניים	
	REL (8 hr)	9	איריטציה של העיניים ודרכי נשימה עליונות	
	chronic REL	9	איריטציה של העיניים ודרכי נשימה עליונות	
Texas 2014	acute ESL (1 hr)	15	איריטציה של העיניים ודרכי נשימה עליונות	
	chronic ESL	3.3	איריטציה של העיניים ודרכי נשימה עליונות	
	chronic ESL	5.5	סרטן לוע אפי	

3.5.4 מקורות הפליטה של פורמאלדהיד

פורמאלדהיד נפלט ישירות לאוויר ממקורות פליטה שונים, כדוגמת שריפת דלקים בתחנות הכוח ובתעשייה, תהליכי ייצור בתעשייה מינרלית, תעשייה כימית ותעשיית מזון ומשקאות ועוד. יחד עם זאת, רובו של החומר נפלט כתוצר פירוק של פחממנים לפני הפיכתם ל- CO_2 ומים.



3.5.5 חיזוי ערכי סביבה של פורמאלדהיד לפי תרחיש "עסקים כרגיל"

אין למשרד מודל חיזוי מתאים למזהם זה. מודלים כאלה נמצאים בשלבי מחקר בעולם. מדובר במודלים מורכבים ביותר.

3.5.6 אמצעי מדיניות להפחתת המזהם, חיזוי ערכי סביבה של פורמאלדהיד לאחר הפעלת אמצעי המדיניות

בתעשייה - צמצום הפליטות בא כחלק מהפחתה של תרכובות אורגניות נדיפות במסגרת היתרי פליטה.

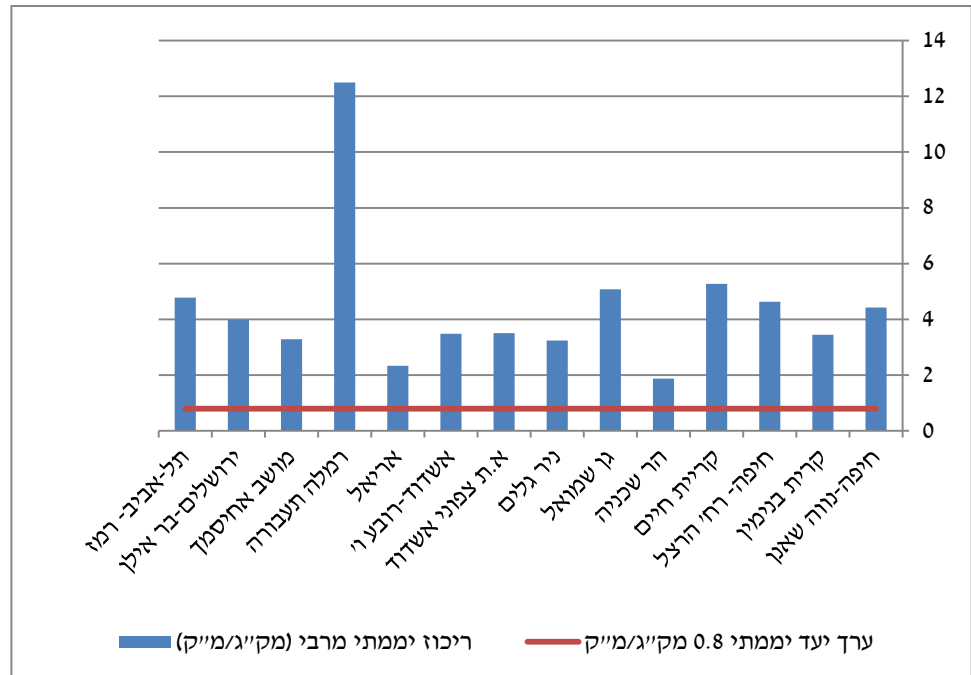
תחבורה - מעבר לאמצעי הנעה חלופית במיוחד בכלי רכב כבדים (כגון גז טבעי והנעות חשמליות) לאוטובוסים עירוניים ומשאיות אשפה. הפעולות שנעשות לעידוד כלי רכב נקיים באמצעות מיסוי ירוק ואימוץ תקני יורו מתקדמים. פעילות לצמצום יוממות ברכב פרטי (שימוש באופניים ושאתלים).

3.5.7 תמונת מצב של פורמאלדהיד באוויר

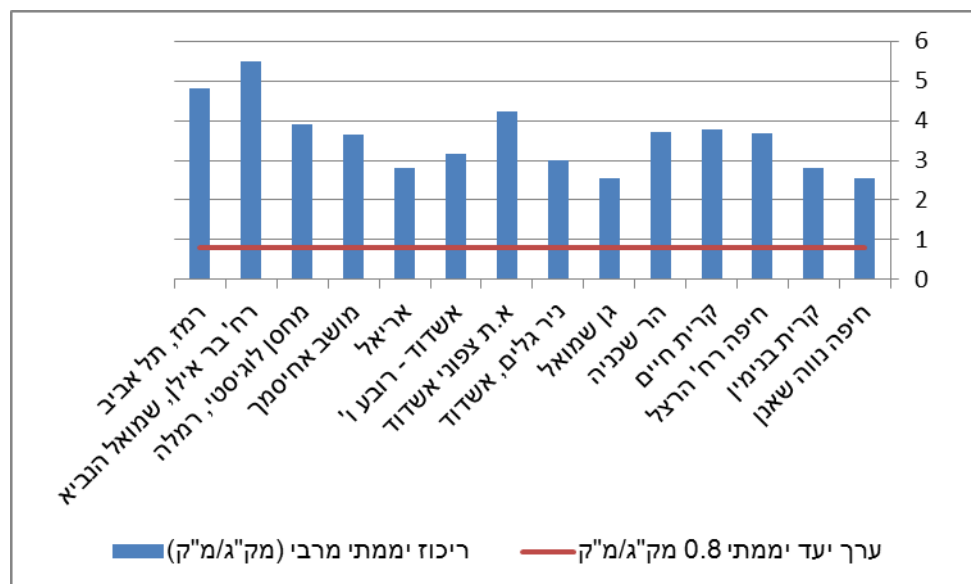
ריכוזי פורמאלדהיד יממתיים ושנתיים עולים על ערכי היעד בכל נקודות הדיגום בשנים 2014 ו-2015 וגם בשנים עברו (איוורים 17 - 20). מספר הערכים היממתיים העולים על ערך היעד היממתי נע בין 15 – 24 (26 סבבים) בשנת

2014 ובכל הדיגומים הסביבתיים בשנת 2015 (14 תוצאות סבבים מתוך 20 הגיעו עד כה) - (איורים 21 - 22). לא התקבלו ריכוזים העולים על ערך הסביבה החצי-שעתי בשנים 2014 – 2015 (איורים 23 – 24).

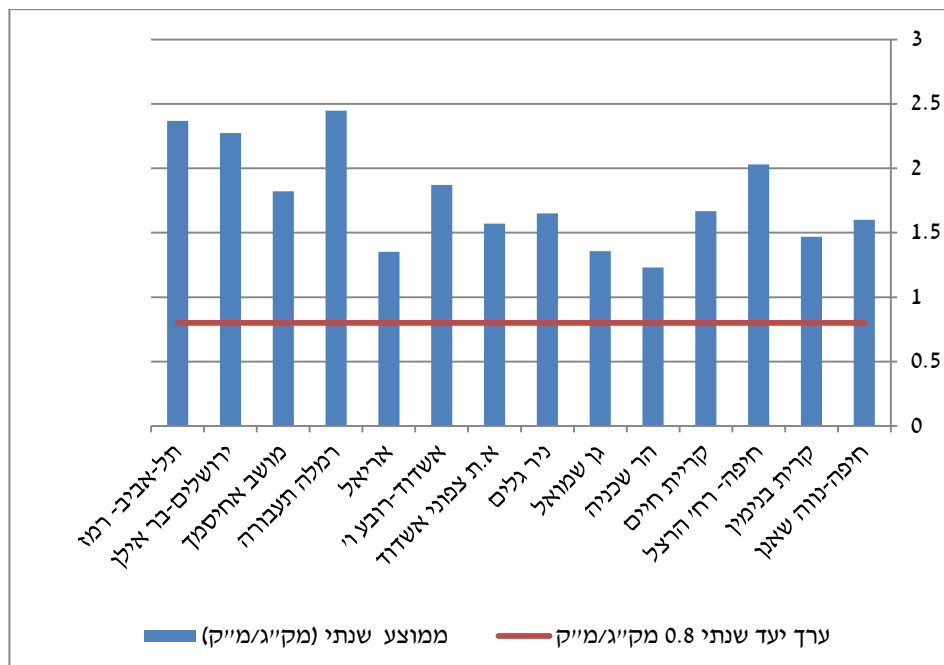
איור מס' 17: ריכוזי פורמאלדהיד יממתיים מרביים שנמדדו במהלך 2014



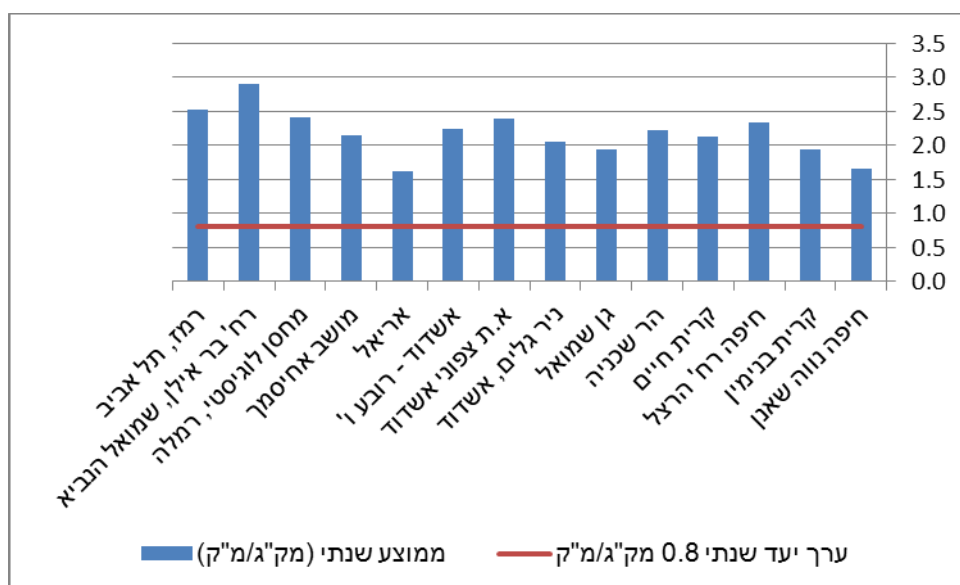
איור מס' 18: ריכוזי פורמאלדהיד יממתיים מרביים שנמדדו במהלך 2015



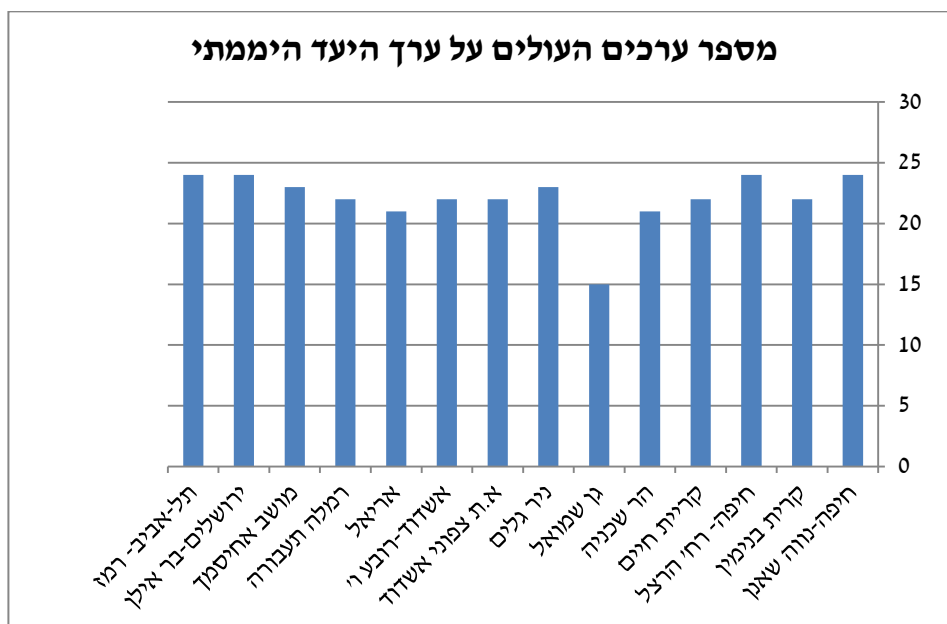
איור מס' 19: ריכוזי פורמאלדהיד שנתיים שנמדדו במהלך 2014



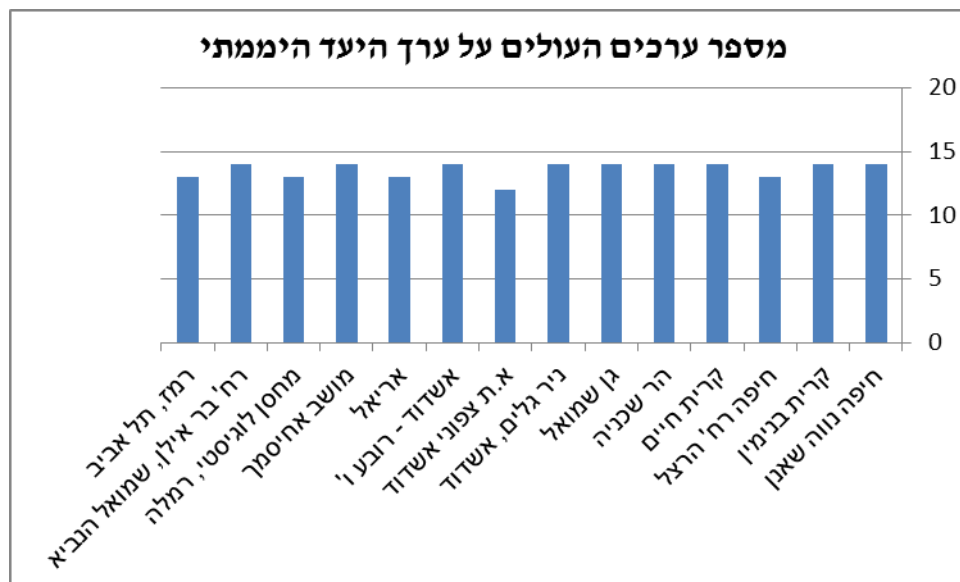
איור מס' 20: ריכוזי פורמאלדהיד שנתיים שנמדדו במהלך 2015



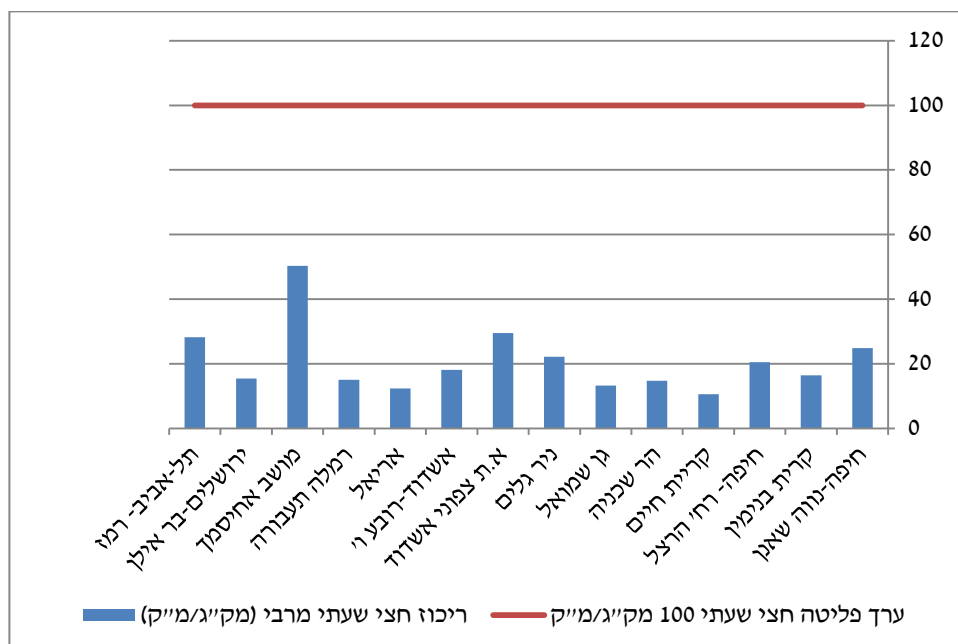
איור מס' 21: מספר ערכי פורמאלדהיד העולים על ערך היעד היממתי במהלך 2014



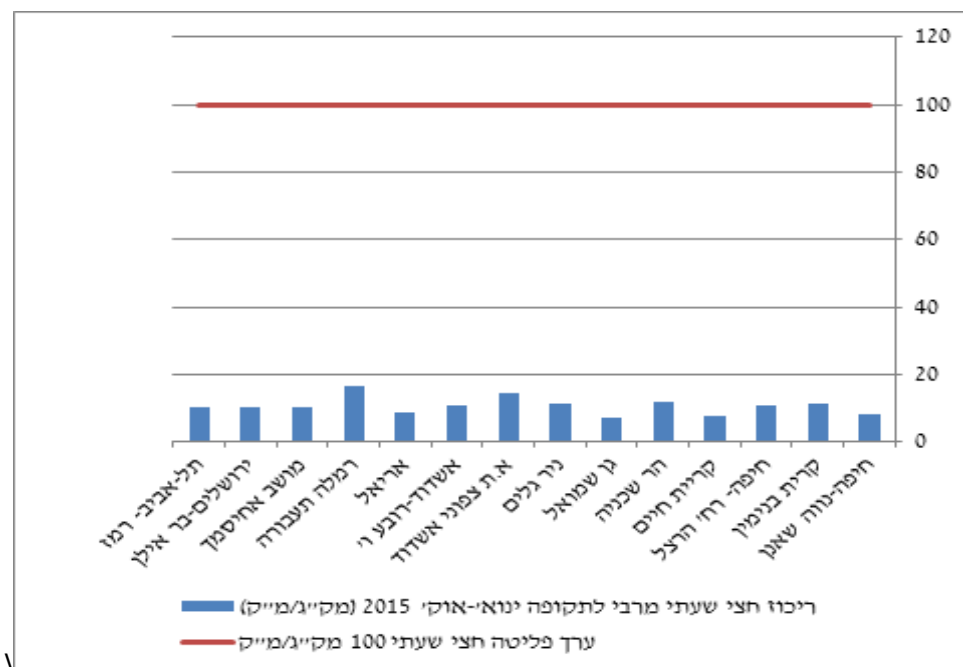
איור מס' 22: מספר ערכי פורמאלדהיד העולים על ערך היעד היממתי במהלך 2015



איור מס' 23: ריכוזי פורמאלדהיד חצי שעתיים מרביים שנמדדו במהלך 2014



איור מס' 24: ריכוזי פורמאלדהיד חצי שעתיים מרביים שנמדדו במהלך 2015





מספר חריגות מעל הערך השעתי של מדינת טקסס (ערך שעתי – 15 מק"ג/מ"ק שווה ערך לחצי-שעתי – 17 מק"ג/מ"ק):

נקודת דיגום	שנה	מספר חריגות	ערכים מרביים (מק"ג/מ"ק)
כרמיאל	2013	1	20.3
חיפה, נווה שאנן	2014	1	24.8
חיפה, רחוב הרצל	2014	1	20.5
אזור אשדוד, ניר גלים	2013	1	18.2
	2014	1	22.2
אזור תעשיה צפוני, אשדוד	2014	2	18.2
			29.5
אשדוד, רובע ו'	2014	1	18.1
רמלה, תעבורה	2013	1	18.4
מושב אחיסמך	2013	1	22.7
	2014	3	19.0
			17.1
			50.3
תל אביב רבתי, רמז	2014	1	28.2

3.5.8 ההמלצה של המשרד להגנת הסביבה

ערך יעד: לאחר בחינת כלל המידע המפורט לעיל נמצא כי בהתאם לדוח ועדת אלמוג אין מידע חדש בספרות ולכן ערך היעד נשאר ללא שינוי כערך הייחוס של ה-USEPA.

יממתי – 0.8 מק"ג/מ"ק שנתי ; שנתי – 0.8 מק"ג/מ"ק

ערך סביבה: לאחר בחינת הספרות המקצועית העדכנית, מקורות הפליטה של המזהם, מתוך שאיפה להתקרב ככל הניתן לערך היעד ולאור המצב הקיים בסביבה, נמצא כי ניתן לאמץ את ערך הייחוס של מדינת טקסס (משנת 2014) כערך הסביבה. יחד עם זאת, נמצא כי לאור העובדה שפורמאלדהיד הינו מזהם שעיקרו שניוני ונמצא כי עלולות להגרם חריגות מערך הייחוס השעתי של מדינת טקסס בעונה החמה. זאת מכיון שבעונה החמה קרינת השמש חזקה והיא מאיצה את התגובה הפוטוכימית המגבירה את היווצרות של הפורמאלדהיד. לכן, מוצע לקבוע 10 ימי חריגה בדומה לזה שנקבע עבור אוזון.

שעתי – 15 מק"ג/מ"ק עם 10 ימי חריגה מותרים ;

שנתי – 3.3 מק"ג/מ"ק

הערות חברי הוועדה המייעצת

להלן התייחסות המשרד להערות שהועברו ע"י חברי הוועדה. תמצית ההערה מופיעה בתחילת כל סעיף ומודגשת בקו תחתון. בהמשכה מופיעה התייחסות המשרד.

הערות כלליות

1. ערכי היעד מבוססים על תוספת סיכון של 1:100,000 לאפקטים מסרטנים. אדם, טבע ודין מעיר כי יש לקבוע את ערכי היעד לפי תוספת סיכון של 1:1,000,000 ולעדכן את הערכים בהתאם (אדם, טבע ודין, אלה נווה) (אמהות ואבות מצילים את חיפה והקריות עם "הפורום הישראלי לשמירה על החופים")

באשר לחומרים מסרטנים, אדם טבע ודין הציעה לקבוע ערכי איכות אוויר המבוססים על תוספת סיכון של 1:1,000,000. הגישה של ה-WHO (אירופה) ושל ה-EPA האמריקאי (כפי שבאה לידי ביטוי ב-IRIS) היא אחידה. כל אחד משני הגופים מציג לכל חומר מסרטן שלושה ערכי ייחוס המבוססים על תוספת סיכון של 1:10,000 ; 1:1,000,000 ; 1:1,000,000 ומאפשרים לכל מדינה לבחור מדיניות לאומית המתאימה לצרכיהם. בפועל, ה-EPA הפדראלי קבע ערכי ייחוס

(Risk Specific Doses; RSD)

באוויר המבוססים על 1:100,000 כמוהו גם רוב מדינות העולם המערבי, ראה הקישור המצורף

E-CFR. 40CFR - Chapter I - Part 266, Appendix V: Risk Specific Doses.
<http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/text-idx?c=ecfr;sid=813dad59b6f1de4d78faba3cecad6e76;rgn=div5;view=text;node=40%3A25.0.1.1.1;i dno=40;cc=ecfr#40:25.0.1.1.1.10.27.24.5>

2. העדר התייחסות גם להגנה על מערכות אקולוגיות (אדם טבע ודין)

בהתאם להוראת השעה, תיקון תקנות זה עוסק בעדכון של ערכי איכות אוויר של ששת המזהמים המפורטים במסמך זה. בעת העדכון הבא הכולל של התקנות, נפעל לבחון את המשמעויות הסביבתיות – האקולוגיות של ערכי איכות האוויר.

3. המלצות המשרד לערכי איכות אוויר נעשו באמצעות בחירה של ערכים מחמירים מבין כלל הערכים שנסקרו בעולם (cherry picking) ומציעים לאמץ סט אחד של ערכים ממדינה אחת (משרד הכלכלה, התאחדות התעשיינים)

מהצגת חומר הרקע עולה כי נעשתה בחירה של ערכי איכות אוויר אקראיים מתוך הספרות, אך למעשה אך כפי שיוסבר להלן המלצות המשרד לערכי יעד מבוססות על מתודולוגית ועדת אלמוג, בה מוצע אימוץ ערכי ייחוס סביבתיים שנקבעו ע"י רגולטורים מובילים בעולם, על בסיס הערכת סיכונים מובנית, על פי סדר עדיפויות כדלקמן:

1. גופים מקבוצה א' (USEPA, WHO, ATSDR).

2. גופים מקבוצה א'2 (מדינות מערביות).

כך נעשה בהמלצת המשרד לגבי ערכי היעד.

באשר לערכי הסביבה, כפי שנעשה בעבר, קביעת ערכי הסביבה נעשתה בהתחשב במערכת השיקולים כמפורט בתחילת המסמך, הכוללת השפעות בריאותיות של המזהם (ערכי יעד), ערכי איכות אוויר מקובלים בעולם, יכולת היישום לפי תמונת מצב איכות אוויר, מקורות הפליטה ואמצעי מדיניות להפחתת הזיהום.

בהתאם למערכת שיקולים זו נבחן כל מזהם במטרה לאזן בין השאיפה לקבוע את ערך היעד כערך סביבה לבין יכולת היישום. מכיוון שלמדינות שונות יש מערכות תקינה שונות הקובעות סוגים שונים של תקנים (ערכי סביבה, ייחוס ואחרים) למזהמים שונים ולישראל יש תנאים ייחודיים, לא ניתן באופן מעשי לאמץ סט ערכים ממדינה אחת.

כדוגמא: פורמאלדהיד – ערך היעד אומץ מה- USEPA, ערך זה אינו ישים כיום בישראל ולא ניתן לאמצו כערך סביבה. יחד עם זאת, ערך הסביבה הקיים הוא מקל מאד ביחס למצב הסביבתי באופן שאינו מוצדק או נחוץ ולא מספק הגנה מרבית על בריאות הציבור. לכן, המשרד בחן ערכים שונים אשר מייצגים את האיוון בין הגנה על הבריאות ובין הישימות המשקית.

4. החמרה מעבר לתקנים ולדרישות המקובלות בעולם המערבי (משרד הכלכלה) והתנגדות ל"המצאות ישראליות" ללא הצדקה סביבתית או בריאותית מובהקת (התאחדות התעשיינים)

בעולם מקובל לקבוע ערכי ייחוס (ערכים בריאותיים) לכלל המזהמים וערכי סביבה רק למזהמים אשר שכיחים באוויר. לכן, קביעת ערכי סביבה למזהמים שלהם אין ערכי סביבה בעולם נעשית לפי שיקול דעת, כפי שהוצג במסמך לעיל. יחד עם זאת, להבנתנו אופן יישום החוק בהיבט זה משקף את המקובל בעולם, היכן שלא נקבע ערך סביבה, בחינת ההשפעה הסביבתית של מקורות הפליטה נעשית למול ערכי הייחוס.

גם באשר למזהמים להם ערכי סביבה בעולם, לפי חוק אוויר נקי יש לשאוף לקביעת ערך הסביבה כערך היעד בכפוף לישימות. בנוסף לאמור לעיל, באשר לבנון נציין כי מדובר במזהם נפוץ שהינו מסרטן וודאי לאדם וככל שהדבר מתאפשר יש לשאוף לתת הגנה מרבית לבריאות הציבור.

5. יש לפרסם רשימת שיטות דיגום (קניסטרים, שפופרות, low-vol sampler, hi-vol sampler, ושיטות אנליזה מעבדתית, כולל רגישות דרושה (השלטון המקומי, איגודי ערים)

הנחיות מפורטות יפורסמו בפרק על דיגום סביבתי בגרסה הקרובה במסגרת הנחיות הממונה להקמה והפעלה של תחנות ניטור שהינן חלק מהמערך הארצי, לפי חוק אוויר נקי, התשס"ח – 2008.

6. הפליטות שמוצגות במסמך כרקע לשינוי ערכי הסביבה עשויות להיות מטעות מכיוון שההשפעת מקור הפליטה על הריכוז הסביבתי תלויה לא רק בכמות הנפלטת אלא גם בפיזור המזהמים (חברת חשמל).

בחינת ההשפעה הסביבתית של מקורות הפליטה על ריכוזים בסביבה נעשית בהתאם לאופי מקורות הפליטה ומביאה בחשבון את המאפיינים השונים של מקורות הפליטה (כמויות, פיזור, קירבה למקורות אחרים וכו'). משום כך, בין היתר, מציג המשרד ניטור ודיגום שמאפיין מקורות שונים לרבות תחנות דלק, תחבורה ומקורות פליטה נייחים גדולים של המזהם.

7. בשל חוסר בניטור רציף ויכולת חיזוי במודלים של המזהמים השונים נמנעים בעולם מקביעת ערכי סביבה. קביעת ערכי סביבה בהתאם לערכי היעד שהם ערכים בריאותיים מחמירים עשויה ליצור פניקה בציבור (חברת חשמל).

לפי החוק ולצורך הגנה על בריאות הציבור יש לשאוף לאמץ את ערכי היעד כערכי סביבה. קביעת ערכי הסביבה נעשית במערכת השיקולים כמפורט בתחילת המסמך, הכוללת השפעות בריאותיות של המזהם (ערכי יעד), ערכי איכות אוויר מקובלים בעולם, יכולת היישום לפי תמונת מצב איכות אוויר, מקורות הפליטה ואמצעי מדיניות להפחתת הזיהום. בהתאם למערכת שיקולים זו נבחן כל מזהם במטרה לאזן בין השאיפה לקבוע את ערך היעד כערך סביבה לבין יכולת היישום.

8. בהצעת המשרד ערכי היעד הם לממוצעים יממתיים ושנתיים אך ערכי הסביבה המוצעים הם לממוצעים שעתיים ושנתיים. זה המזהם היחיד שאין אחידות בהתייחסות לאותם פרקי זמן במעבר מתקני יעד לתקני סביבה. יש לשמור על קונסיסטנטיות (חברת חשמל).

ערכי היעד נקבעים בהתאם למתודולוגית ועדת אלמוג וערכי הסביבה בהתאם למערכת השיקולים שהוזכרה לעיל.

9. בחינת התקנים המוצעים, מלמדת כי המשרד להגנת הסביבה אינו מבקש לשפר את מצב זיהום האוויר בישראל או לצמצמו כמוצהר בתכניות שונות, אלא להשאיר את המצב הגרוע על כנו, וא להרע אותו. חמישה מתוך ששה המזהמים הנכללים בעדכון החוק בשלב זה – מוכרים כמסרטנים ודאיים לאדם. למרות זאת מבוקשת הקלה עבור שניים מהם (אלה נווה, אמהות ואבות מצילים את חיפה והקריות עם "הפרום הישראלי לשמירה על החופים").

בטיטות התקנות יש הקלה במזהם אחד בלבד 1,3 בוטאדיאן וזאת לאור מידע עדכני שפורסם ע"י הסוכנות האמריקאית להגנה על הסביבה. ערך זה אומץ ע"י המשרד להגנת הסביבה בתמיכה של משרד הבריאות. כאמור, ערכי היעד נקבעים בהתאם למתודולוגית ועדת אלמוג וערכי הסביבה בהתאם למערכת השיקולים שהוזכרה לעיל.

קדמיום

10. מוצע לקבוע את ערכי הסביבה של קדמיום על בסיס TSP ולא על גבי חלקיקי PM10, על מנת להגביל את הכמות המרבית של של קדמיום באוויר על גבי כל סוגי החלקיקים ושיפור ההגנה על בריאות הציבור, ולהתאים לערכי היעד (אדם טבע ודין).

ערכי הסביבה לקדמיום אומצו מהדירקטיבה האירופאית כולל הפרקציה. ערך היעד נקבע לפי מתודולוגית ועדת אלמוג ובהתחשב בערך האירופאי.

3.1 בוטדיאן

11. מוצע להשאיר את ערכי היעד של של המזהם 1.3 בוטדיאן כפי שהוא. על פי המלצות המשרד התאמתו של ערך היעד ליחידת סיכון של 1:100,000 תביא להקלה ביחס לערך הקיים כיום. מוצע כי על מנת לתת הגנה טובה יותר לציבור יש לקבוע את ערכי היעד לפי יחידות סיכון של 1,000,000 ולכל הפחות לא להקל את הערך הנוכחי (אדם טבע ודין).

כאמור בסעיף 1 לעיל, כמקובל בעולם המערבי ערכי היעד להגנה מפני השפעות מסרטנות נקבעות לפי תוספת סיכון של 1:100,000 לתחלואה בסרטן. ערכים אלו נקבעים על פי הידע המדעי העדכני בין אם הידע העדכני מצביע כי נדרשת החמרה או הקלה בערכי היעד על מנת לעמוד על תוספת סיכון של 1:100,000.

פורמאלדהיד

12. מוצע כי ערכי הסביבה עבור פורמאלדהיד יקבעו כערך זמני בהוראת שעה לשנתיים וחצי שבמהלכם ייעשה מהלך מרוכז לשיפור תשתית הידע הדרושה ליצירת תכנית הפחתה משמעותית למזהם זה (אדם טבע ודין).

פורמאלדהיד הינו מזהם אוויר נפוץ שנמצא בריכוזים דומים בכל הארץ. מזהם זה הוא ראשוני ושניוני אשר נפלט ממקורות פליטה מגוונים (טבעיים, נייחים וניידים) ונוצר באוויר בתהליכים פוטוכימיים. בעולם לא מקובל לקבוע ערכי סביבה למזהם זה. בהערת אדם טבע ודין מוצע לקבוע טווח של שנתיים וחצי לשיפור תשתית הידע הדרושה ליצירת תכנית הפחתה משמעותית. לאור כל האמור, ובמיוחד מכיוון שחסרה ידע בנושא בעולם, שנתיים וחצי הן לא זמן מספיק ליצירת תשתית ידע מספיקה לקביעת תכנית הפחתה, ובכל מקרה לא זמן מספיק לבחינה מחדש של ערך סביבה זה. לכן, לוח הזמנים המוצע הינו קצר מידי, בחינה מחדש של ערכי איכות האוויר תעשה מעת לעת ולפחות ל- 5 שנים בהתאם לחוק.

13. אין מספיק דגימות יממתיות (ושעתיות) על מנת להציג תמונת מצב של ריכוזים שנתיים ולקבל על בסיסם החלטה על ערכי סביבה. ערכי היעד השנתי נמוכים כנראה מריכוז הרקע בישראל ויש חריגות ממנו בכל התחנות (חברת חשמל).

מבחינת הדגימות היממתיות, המשרד עורך מידי שנה כ- 26 סבבים של בדיקות יממתיות ב- 14 נקודות דיגום שונות. אנו סבורים שמידע זה הינו מייצג מבחינת הזמן והמרחב.

מבדיקה של נתוני הדיגום החצי-שעתיים עולה כי מספר החריגות מעל הערך השעתי המוצע הם בודדות בלבד.

14. המלצת המשרד לגבי מזהם זה היא לאמץ את התקינה במדינת טקסס כאשר למזהמים אחרים השתמש בתקינה של מדינת קליפורניה, בטענה שמדינה זו מתאימה ביותר מבחינת אקלימה ופרמטרים אחרים למדינת ישראל. לטענת המשרד התקן למזהם זה נלקח מעדכון חדש (2014) של מדינת טקסס בעוד שבקליפורניה התקן ישן יותר. לא כך הוא הדבר והעדכון האחרון של התקנים במדינת קליפורניה (יוני 2014) מדבר על ערך יעד שעתי של 55, 8 שעות של 9 ושנתי אף הוא של 9. (מצ"ב צילום מהתקנים של קליפורניה ל- 2014 לגבי המזהמים שנבדקו) (חברת חשמל).

קביעת ערכי הסביבה נעשית בהתחשב במערכת השיקולים כמפורט בתחילת המסמך. בהתאם למערכת שיקולים זו נבחן כל מזהם ונקבעים ערכי הסביבה במטרה לאזן בין השאיפה לקבוע את ערך היעד כערך סביבה לבין יכולת היישום. מכיוון שלמדינות שונות יש מערכות תקינה שונות הקובעות סוגים שונים של תקנים (ערכי סביבה, ייחוס ואחרים) למזהמים שונים ולישראל יש תנאים ייחודיים, לא ניתן באופן מעשי לאמץ סט ערכים ממדינה אחת.

בנו

15. קיים קושי בחיזוי ריכוזי בנו באמצעות מודלים לפיזור מזהמים המשמשים בתסקירי השפעה על הסביבה ובמרבית המקרים אין אפשרות לאימות של תוצאות המודל למול ניטור סביבתי, לכן עלולות להתקבל חריגות מערכי הסביבה המוצעים בתסקירים ועיכוב באישור כבישים מתנגדים לקביעת הערך עד להרחבת המידע על ניטור בסמוך לכבישים ועדכון מתודולוגיה ביצוע הסקרים (הערות נתיבי ישראל, התאחדות התעשיינים)

ככלל לא נדרש הרצת מודל חיזוי לבנון מלבד במקרים מיוחדים. בהרצת מודל שנעשה לחיזוי ריכוזי בנון מתחבורה באזור חיפה לא נמצאו חריגות מערכי הסביבה המוצעים כפי שנתקבל גם בניטור. לפי המידע שהוצג במסמך זה, לא קיימות חריגות רבות מערך היעד המצביעות על אי ישימות. במידה מתגלות חריגות כאלה, יש לפעול באופן נקודתי לשיפור המצב.

16. ערך הסביבה המוצע נמוך מערכים רבים, שנמדדים לצד כבישים ולא בוצעו מדידות לצד תחנות דלק. ערכי הסביבה המוצעים הם כנראה הנמוכים בעולם ויש חשש שלא ניתן יהיה לעמוד בהם (חברת חשמל).

כלל המידע לגבי ניטור ודיגום של בנזן הינו מידע מייצג בזמן ובמרחב. לפי מידע זה שמוצג במסמך, מרביתם של הריכוזים שנמדדים ברחבי הארץ לרבות ליד מקורות פליטה רלוונטים הם נמוכים מערך היעד, למריכוזים גבוהים מערך היעד נמדדים במקומות נקודתיים כגון מרחק של 10 מטר מתחנות דלק או בתחנות למעט בתחנות תחבורתיות. בנוסף לכך, לאחרונה המשרד מתגבר את הניטור והדיגום סביב תחנות דלק במרחקים שונים. לפי המידע הקיים עד כה אנו צופים שערך הסביבה המוצע הינו ישים, ובמקומות הנקודתיים בהם נמדדים או צפויים ריכוזים גבוהים מערכי הסביבה המוצעים יהיה צורך לפעול מול מקורות הפליטה להפחתת הזיהום.

17. לגבי ערך יממתי באם נדרש ערך כזה מוצע לקבוע על פי מתודולוגית אלמוג ערך יומי פי 3 מערך שנתי (חברת חשמל)

ערך הסביבה היומי המוצע הינו פי 3 מערך הסביבה השנתי המוצע.

כספית

18. אין מספיק דגימות יממתיות ושעתיות על מנת להציג תמונת מצב שנתי של הריכוזים הסביבתיים ולקבל על בסיסם החלטה על ערכי סביבה. ערך היעד השנתי לכספית נמוך כנראה מריכוז הרקע בישראל ויש חריגות ממנו בכל התחנות. ערכי הסביבה המוצעים מתייחסים לכלל הכספית באוויר בעוד שהדיגומים נעשו ב-TSP מכיוון שרוב הכספית שנמדדה באוויר היא ב-TSP יש חשש שערך הסביבה המוצע נמוך מידי (חברת חשמל).

כפי שהוצג במסמך מקורות הפליטה לכספית הם ספורים וידועים. הדיגום נעשה הן בפרקציה החלקיקית והן בכלל כספית (חלקיקים + אדי כספית). הריכוזים השעתיים ב-TSP הם נמוכים מאד. בנוסף, נבדקו הערכים השעתיים בכלל כספית ומאחר וסף הגילוי של הדיגום והאנליזה היה קטן מ-1.7 מק"ג/מ"ק, לא המלצנו על ערך הסביבה השעתי בכלל הכספית אלא ב-TSP בלבד. יחד עם זאת, בבדיקה מול המעבדה ניתן לשפר את הרגישות של הבדיקות ולעיתיד לבוא נוכל לבחון ערך זה מחדש בפרקציה השונה.

מבחינת הדגימות היממתיות, המשרד עורך מידי שנה כ-26 סבבים של בדיקות יממתיות ב-14 נקודות דיגום שונות. אנו סבורים שמידע זה הינו מייצג בהתחשב בכמות מקורות הפליטה.

ערך הסביבה השנתי המוצע הוא לכלל הכספית ובמסמך זה הוצגו הדגימות המתייחסות לכך.