

# בדיקת יעילות פלטר של חברת קולורס בהפחתת פליטת ננו חלקיקים ממדפסות ליזר

**תוצאות ניסוי**

**24.8.14**

**נערך ע"י ד"ר בני מלנקי**



## רקע כללי

התפתחות הננוטכנולוגיה הובילה לפיתוח של חומרים רבים בתחום ה- "ננו חלקיקים" (**בגודל של  $10^{-9}$  של המטר**), ועלה הצורך להבין את פוטנציאל הנזק הסביבתי / בריאותי של חומרים אלו. יישום ננו-חומרים במחקר ובתעשייה מחייב הבנה עמוקה של השפעת חומרים אלו על בריאות בני האדם ועל סביבת החיים. הידע הנצבר בתחום זה מאפשר לקבוע כללי בטיחות ביישום ושימוש בחומרים בתחום הננו-חלקיקים. יש להבדיל בין תחום ננו חלקיקים מהונדסים שניתן לשלוט בגודלם ותכונותיהם לבין חלקיקים "על עדינים" (ultrafine particles) שגודלם הינו בתחום הננו חלקיקים אך נוצרים בתהליכים טבעיים או מלאכותיים באופן מקרי ובלתי מבוקר כדוגמת תוצרי שריפה של חומר.

דוגמאות לכך הם חלקיקים הנפלטים בעת ריתוך, פיח מתהליכי בעירה וכן חלקיקים מתהליכי בניה.

אחד התחומים שבהם קיימת בעיית חשיפה לתוצרים לא מבוקרים של ננו חלקיקים, המכילים פיח ומתכות שונות, הינו תחום **מדפסות הלייזר** שבהן משתמשים בטונרים הפולטים לאוויר חומרים אלה. החלקיקים הנפלטים מטונרים מכונים **printer-emitted particles (PEP's)** ואליהם נתייחס בסקירה זו.

## סקירת ספרות

מחקרים רבים עוסקים בבעייתיות בחשיפה לחלקיקים לא מבוקרים בגודל ננו חלקיקים או כפי שהן מכונים **חלקיקים "על עדינים" (ultrafine particles)**. קיימות מספר הנחות יסוד:

1. חלקיקים בגודל הזה חודרים למערכת הנשימה ולראות.
2. לחלקיקי ננו יש יכולת לחדור תאים ולהגיע לזרם הדם ומשם למערכות אחרות בגוף, בין השאר, למוח.
3. העובד לא מרגיש שהוא חשוף לאבק המורכב מחלקיקים בגודל ננו חלקיקים.
4. ההשפעה הבריאותית תלויה בהרכב הכימי של החומר בגודל הננו חלקיקים.
5. אין תקן חשיפה מקובל לחלקיקים בגודל המוגדר ננו חלקיקים
6. קיים קושי רב לבצע ניטור סביבתי תעסוקתי לחלקיקים בגודל המוגדר ננו חלקיקים.



נסקור את המחקרים הרלוונטיים שפורסמו בשנים האחרונות לגבי חשיפה לחלקיקים בגודל ננו חלקיקים

מחקר מיפן של **Morimoto** וחבריו (**Morimoto et al 2010**), מציין שבהמשך למידע שמדפסות לייזר פולטות חלקיקים בגודל "על עדינים" (**ultrafine particles**) וקיימות תלונות על גירוי בריריות הוחלט לבדוק השפעות החלקיקים הנפלטים מהטונר ותוצרי הפירוק שלהם.

לפי תוצאות המחקר:

1. נמדדו כמויות גדולות של חלקיקים בגודל ננו בהפעלת מדפסות לייזר.
2. במחקר נבדקו גם רמות החשיפה לכלל החומרים האורגנים הנדיפים (VOC's).
3. אין מספיק מידע לגבי הסיכון הבריאותי של פליטת החלקיקים.
4. קיים צורך בהמשך מחקר.

מחקר מסינגפור של **Betha** וחבריו (**Betha et al 2011**) בחן את הקשר בין כמות החלקיקים הקטנים מ-100 ננומטר ורמות ה-VOC's הנפלטים ממדפסות לייזר באולם המשמש כמרכז הדפסות. תוצאות המחקר מראות שהכמות הגדולה ביותר של חלקיקים בגודל שבין 100-560 ננומטר נמדדה הרחק מהמדפסת ואילו חלקיקים מתחת ל-100 ננומטר נמדדו בעיקר בסמיכות למדפסת. כמו כן נמדדו רמות גבוהות של ממיסים כגון קסילן, סטירן ואתיל בנזן בשעות השיא של ההדפסות לעומת רמה גבוהה של טולואן שנמדדה לא בזמן שיא ההדפסות.

מחקר נוסף של **Morimoto** וחבריו משנת 2013 (**Morimoto et al 2013**), טוען שטונרים הפולטים סיליקה או טיטניום דיאוקסיד בגודל ננו חלקיקים בכמויות גדולות, עלולים לגרום לדלקות בראות.

מחקר של **Pirela** וחבריו (**Pirela et al 2014**) טוען שסוג המדפסת והטונר וכן גיל המדפסת קובעים את מידת שחרור החלקיקים בגודל ננו. הריכוזים יכולים לנוע בין 3,000 לבין 1,300,000 חלקיקים לסמ"ק כאשר מרביתם מתחת לגודל של 100 ננומטר.



צוות חוקרים **מאוניברסיטת קווינסלנד באוסטרליה, בראשות פרופ' Lidia Morawska** מזהיר מפני סכנה הטמונה בשימוש במדפסות לייזר, הדומה בהשלכותיה לעישון פסיבי. בבדיקה מדגמית של 62 מדפסות נתגלה כי בשליש המקרים הן פלטו חלקיקי טונר בכמות העלולה להיות מסוכנת לבריאות.

הצוות ערך סדרה של ניסויים, במסגרתם נבדקו 62 מדפסות מ-42 דגמים של יצרנים שונים HP, Canon, Ricoh, Mita ו-Toshiba. נמצא ש-25 מדפסות מבין ה-62 פולטות לאוויר ננו-חלקיקים, 17 מהן בכמות גדולה שעלולה להוות, לטענתם, סיכון בריאותי.

לדברי מוראווסקה, החלקיקים שפולטות מדפסות הלייזר עשויים להיות מסוכנים אפילו בכמויות קטנות, כי הם יכולים להישאף ולחדור עמוק לתוך הריאות. הנזק האפשרי עלול להיות כל דבר שבין גירוי של מערכת הנשימה, דרך מחלות לב ועד סרטן, זה תלוי בסוג הטונר וסוג החומרים הנפלטים בזמן ההדפסה.

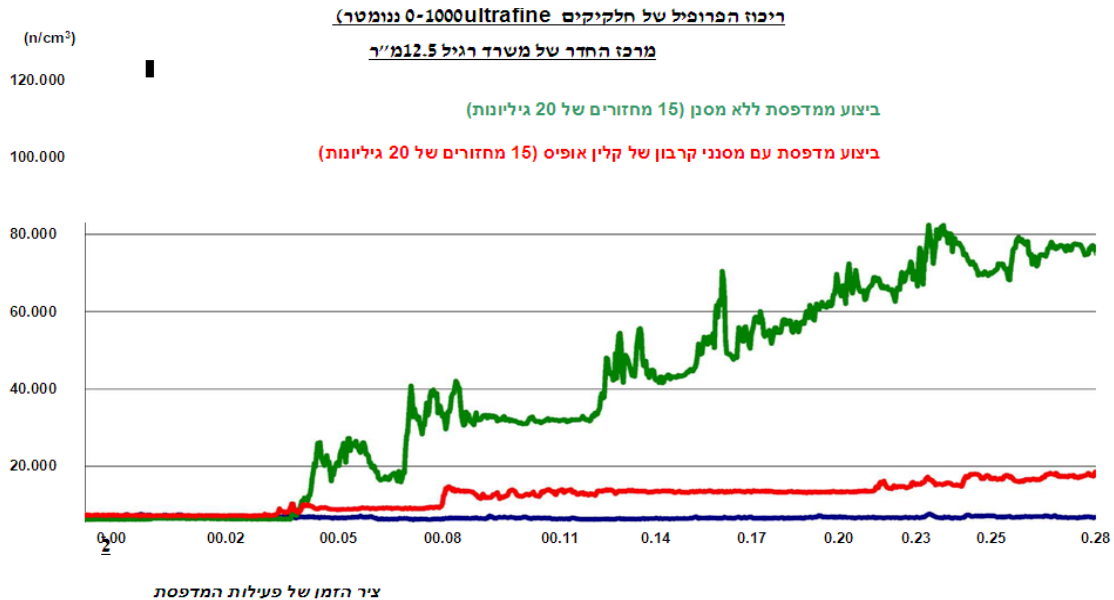
### **הניסויים מגרמניה**

בגרמניה נערכו מספר ניסויים לבדיקת כמות החלקיקים הנפלטים ממדפסות לייזר. הניסוי אשר תוצאותיו מובאות בגרף להלן מציג שלושה מצבים:

1. רמת הרקע (מספר חלקיקים לסמ"ק) בחדר בו בוצע הניסוי – הקו הכחול
2. רמת פליטת החלקיקים (מספר החלקיקים לסמ"ק) ללא פילטר – הקו הירוק
3. רמת פליטת החלקיקים (מספר החלקיקים לסמ"ק) עם פילטר – הקו האדום

בשלושת המקרים נמדדו חלקיקים על עדינים בגודל שבין 0-1000 ננומטר. בוצעה הדפסה של 15 מחזורים של 20 גליונות. הפילטר שנעשה בו שימוש הינו פילטר Clean Office Carbon המכיל פחם פעיל.





Auswertung Raummitte - Standardfilter (2).xlsx

## גרף המתאר את הניסוי שבוצע בגרמניה

מהניסוי שנערך לאורך 28 דקות ניתן לראות שכמות החלקיקים בחדר בגודל 0-1000 ננומטר עולה ככל שמחזורי ההדפסה גדלים ומגיע לשיא של מעל 80,000 חלקיקים לסמ"ק לאחר 24 דקות של הדפסה ללא פילטר.

בין מחזור הדפסה אחד לשני קיימת ירידה מסוימת בריכוז החלקיקים, אם כי היא לא משנה משמעותית את התמונה הכוללת של הימצאות כמות גבוהה מאוד של חלקיקים מתחת ל-1,000 ננומטר בחדר במרחק של יותר משני מטר מהמדפסת.

לעומת תמונת ריכוז החלקיקים הנוצרת במהלך ההדפסה, ריכוז החלקיקים המשתחרר לחדר עם התקדמות מחזורי ההדפסה הינה נמוכה משמעותית ומגיעה לפיק של 10,000 חלקיקים לסמ"ק לאחר 8 דקות הדפסה ואילו לאחר 25-28 דקות מתייצבת סביב ריכוז של 18,000 חלקיקים לסמ"ק.

יש לציין שעד הדקה הרביעית (4 דקות מתחילת ההדפסה) כלל לא עלה ריכוז החלקיקים במרחק של 2 מטר מהמדפסת.



עיקר ריכוז החלקיקים בתחילת ההדפסה מרוכזים באזור הקרוב למדפסת ולכן הוחלט לבצע את הניסוי בארץ בצמוד לפתח המדפסת (כ- 30 ס"מ ממנה) מצב שמדמה יותר את מיקום המדפסות בחדרי המשרדים בארץ.

### **הניסוי שבוצע בארץ**

בתאריכים 29.7.14 (רמת גן) ו- 21.8.14 (מודיעין) נערכו ניסויים לבדיקת יעילות הפילטר של חברת קליין אופיס בהדפסה באמצעות מספר מדפסות.

הבדיקה נערכה בעזרת מונה ריכוז חלקיקים - P-Trak דגם 8525 של חברת TSI (ארה"ב). המכשיר מודד חלקיקים בגודל שבין 0-1,000 ננומטר.

בניסוי שנערך בגרמניה שתואר לעיל נעשה שימוש במכשיר מאותו סוג.

### **מדפסת BROTHER HL 5250DN עם טונר TN 3170 ראה תדפיס הניסוי (קובץ אקסל ניסוי 29.7.14) – ניסוי מס' 2**

### **רמת הרקע הממוצעת בתחילת הניסוי היתה 2,520 חלקיקים לסמ"ק.**

זו מדפסת עם שני מאווררים הפולטת חלקיקים משני פתחים.

ריכוז החלקיקים בניסוי זה כאשר התחילה ההדפסה היה 45,000 חלקיקים לסמ"ק. בהמשך הריכוזים ירדו ל- 22,000 חלקיקים לסמ"ק כאשר נעשה שימוש בפילטר אחד.

כאשר מוקמו שני פילטרים במקום עם מקסימום אטימה, ניתן לראות שריכוז החלקיקים ירד במהירות - תוך 5 דקות היתה ירידה מ- 6,290 חלקיקים לסמ"ק ל- 3,050 חלקיקים לסמ"ק, גם לאחר 5 מחזורי הדפסה של 20 דפים כ"א.

יעלות הפילטרים של קליין אופיס מורידה את ריכוז הננו חלקיקים היוצא מהמדפסת.

מדפסת מסוג זה פולטת את מרבית החלקיקים בגודל שבין 1,000-2 ננומטר דרך פתחי האוורור והפילטר פותר את בעיית החשיפה לגודל זה של חלקיקים הנכנסים לריאות.



**ריכוז החלקיקים היה 3,050 חלקיקים לסמ"ק לעומת הרקע של 2,520 חלקיקים לסמ"ק ו- 45,000 חלקיקים לסמ"ק ללא פלטרים.**

**מדפסת XEROX דגם 3420 עם טונר שחור 106R01034**

**ראה תדפיס הניסוי (קובץ אקסל ניסוי 21.8.14) – ניסוי מס' 2 + 3**

**רמת הרקע הממוצעת בתחילת הניסוי היתה 4,840 חלקיקים לסמ"ק.  
(ניסוי מס' 1)**

**נערכו 2 מחזורי הדפסה של 20 דפים שנמשכו 2 דקות ללא פילטר (ניסוי מס' 2).**

ריכוז הננו חלקיקים עלה במהירות מ- 5,000 חלקיקים לסמ"ק ותוך 2 דקות הגיע ל- 312,000 חלקיקים לסמ"ק. הממוצע לאורך הניסוי היה 66,560 חלקיקים לסמ"ק.

במשך 2 דקות ועשר שניות הריכוז היה גבוה מ- 100,000 חלקיקים לסמ"ק.

עם הפסקת ההדפסה התחילה ירידה מהירה של הריכוז עד שהתייצב על 6,560 חלקיקים לסמ"ק.

כאשר נערכה אותה כמות הדפסה עם פילטר של קלין אופיס (ניסוי מס' 3) הריכוזים נעו בין 4,375 ל- 8,584 חלקיקים לסמ"ק עם ממוצע של 5,793 חלקיקים לסמ"ק.

**הריכוז הממוצע עם הפילטר מהווה 8.7% מהריכוז המתקבל ליד המדפסת כאשר עובדים ללא פילטר.**

**ניסוי עם מדפסת HP דגם 1320**

**ראה תדפיס הניסוי (קובץ אקסל ניסוי 29.7.14) – ניסוי מס' 1**

**רמת הרקע הממוצעת בתחילת הניסוי היתה 2,140 חלקיקים לסמ"ק.  
(ניסוי מס' 1)**



הניסוי הזה לא הצליח, ככל הנראה בגלל שימוש במדפסת ישנה, רוב החלקיקים בגודל שבין 1,000-2 ננומטר יוצאים מאזור יציאת הדפים והפלטור שסגר את פתח המאוורר לא מנע את פליטת החלקיקים בגודל ננו חלקיקים.

הפיקים שרואים בגרף הינם של הריכוזים המתקבלים מאזור יציאת הדפים.

## מסקנות

1. מדפסות לייזר פולטות כמות גדולה של חלקיקים בגודל שבין 1,000-2 ננומטר.

2. המחקרים שהובאו בדו"ח זה מראים שקיימת בעיה בריאותית בחשיפה לאבק בגודל ננו חלקיקים הנפלטים ממדפסות לייזר.

3. בניסוי שנעשה בארץ בשתי המדפסות שנבדקו של **XEROX ו-BROTHER** הפילטר של קליין אופיס נראתה יעילות טובה מאוד בהפחת כמות החלקיקים בגודל המוגדר - ננו חלקיקים בסביבת המדפסת.

4. במדפסת **XEROX** שנבדקה יעילות ההפחתה היתה של 93.3% בממוצע ואילו במדפסת של **BROTHER** היתה הפחתה של 74.5% בממוצע כאשר השתמשו בשני פילטרים ההפחתה בריכוז הננו חלקיקים היתה 97%.

## מקורות

**Betha R, Selvam V, Blake DR, Balasubramanian R.**: Emission characteristics of ultrafine particles and volatile organic compounds in a commercial printing center; J Air Waste Manag Assoc. 2011 Nov;61(11):1093-101.

**Morimoto Y, Ogami A, Kochi I, Uchiyama T, Ide R, Myojo T, Higashi T.**: Continuing investigation of effect of toner and its by-product on human health and occupational health management of toner; Sangyo Eiseigaku Zasshi. 2010;52(5):201-8. (Abstract)

**Morimoto Y, Oyabu T, Horie M, Kambara T, Izumi H, Kuroda E, Creutzenberg O, Bellmann B, Pohlmann G, Schuchardt S, Hansen T,**





**Ernst H.:** Pulmonary toxicity of printer toner following inhalation and intratracheal instillation; Inhal Toxicol. 2013 Oct;25(12):679-90

**Pirela SV, Pyrgiotakis G, Bello D, Thomas T, Castranova V, Demokritou P:** Development and characterization of an exposure platform suitable for physico-chemical, morphological and toxicological characterization of printer-emitted particles (PEPs); Inhal Toxicol. 2014 Jun;26(7):400-8.

24.8.14

ד"ר בני מלנקי  
מנהל מקצועי

