

## דרור נחמיאס

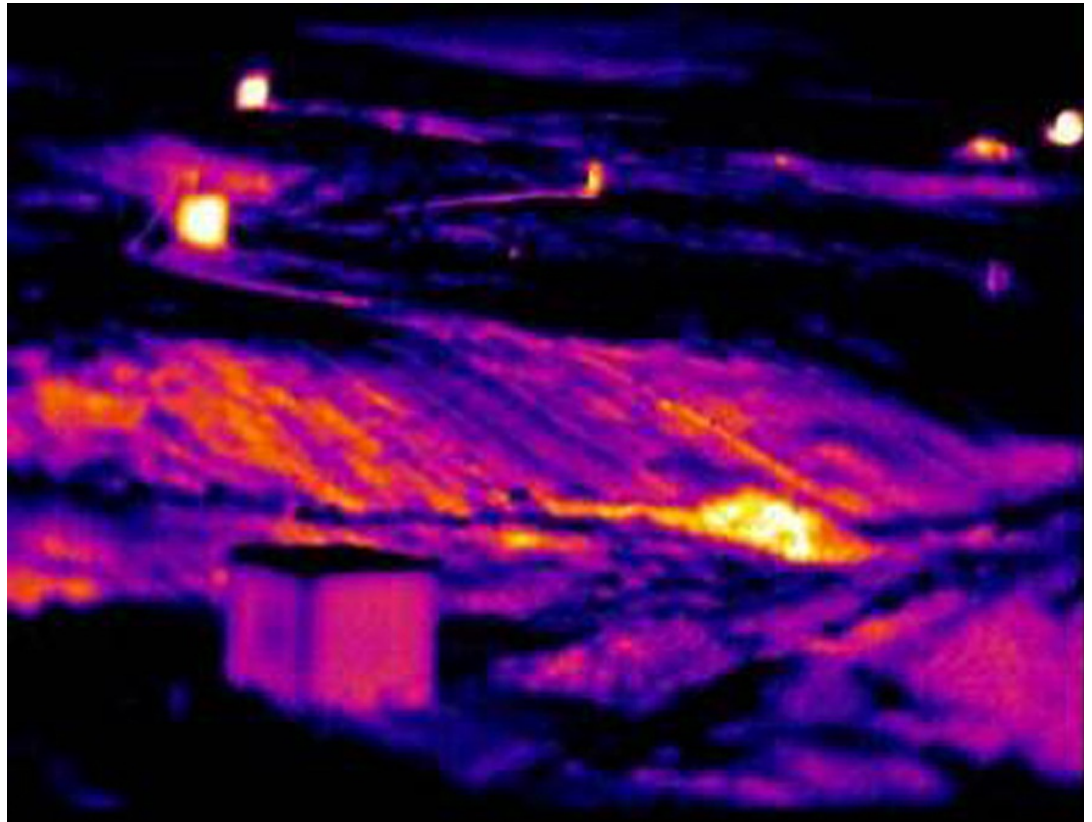
משרד אדמה מדעי הסביבה  
והגיאולוגיה בע"מ

## יובל עשת

משרד אדמה מדעי הסביבה  
והגיאולוגיה בע"מ

## ציטוט מומלץ

נחמיאס ד ועשת י. 2020. צילום  
תרמי כאמצעי לזיהוי בעירות  
פנימיות ושחרור ביוגז באתרי הטמנת  
פסולת. *אקולוגיה וסביבה* 11(4):  
66-67.



מתוך סקר בעירות באתר הטמנת פסולת

## צילום תרמי כאמצעי לזיהוי בעירות פנימיות ושחרור ביוגז באתרי הטמנת פסולת

[בקצרה](#)

גיליון חורף 2020 / כרך 11(4) / פסולת

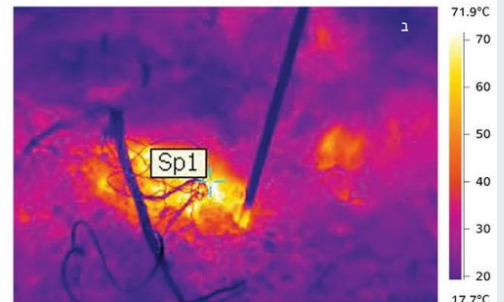
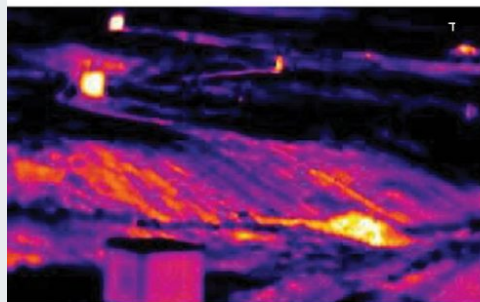
19 בינואר, 2021

אתרי הטמנת פסולת סגורים ופעילים מחוללים מפגעי ריחות, פליטות ביוגז ושרפות תת-קרקעיות ועל-קרקעיות. מפגעים אלה יוצרים סכנה בריאותית לאוכלוסייה הסמוכה. הסיבה העיקרית להתלקחויות היא הטמנה לקייה ועלייה בכמות החמצן בגוף הפסולת, הגורמים להתגברות פירוק חיידקי ולעליית טמפרטורה. בעירות מתלקחות בדרך כלל בגלל מגוון סיבות – חומרים אסורים להטמנה, הידוק לא נכון, חישוף מקטעים בגופי פסולת, תנאי הידוק קשים מלכתחילה, כגון תא פסולת הצמוד למסלע דוק, ועוד. התלקחות שרפות באתרים נחשבת בדרך כלל לעבירת תפעול של האתר.

הבעירות הפנימיות מתאפיינות בבעירה לאורך זמן (שבועות עד חודשים), ובעלייה גדולה של ריכוזי גז פחמן חד-חמצני (CO). השיטה המקובלת לזיהוי בעירות פנימיות היא מדידת רמת CO באמצעות דוגמי שדה. שיטה זו אינה מספקת ודאות לקיום בעירה פנימית. לחוסר הוודאות מספר סיבות: ראשית, הגז הנפלט מתפזר, ולכן קשה לדייק בקביעת מקור הפצתו. סיבה נוספת היא שרק בריכוז גבוה (1,000 חלקים למיליון – ppm) ניתן לומר בוודאות כי מתרחשת בעירה פנימית, בעוד שרמת CO נמוכה יותר תיחשב חשודה בלבד.

אנו משתמשים בזיהוי בעירות ונקודות שחרור של מתאן (CH<sub>4</sub>) וגזי בעירה מאתרי פסולת באמצעות מצלמה תרמית (איור 1). הצילום התרמי מאפשר בחינת מוקדי חום בהקשר של פליטת גזים מגוף הפסולת לסביבה. לגז טמפרטורה גבוהה יחסית, ולכן הנחת העבודה היא שבמוקדי השחרור של הגז לסביבה טמפרטורת הקרקע בנקודת היציאה גבוהה לעומת אזורים אטומים שלא נפלט מהם גז.

**איור 1. תמונות מסקר בעירות באתר הטמנת פסולת**  
 בתמונה א', שצולמה באור נראה, ניתן להבחין בפליטת עשן ובסימני חריכה על הקרקע. בתמונה ב', שצולמה באותו מקום בחת-אדום – הכתם הבהיר, בעל טמפרטורה גבוהה באופן משמעותי מהסביבה, משחרר עשן וגזי שרפה ומקרין חום. בתמונה ג' מצולמים אתר הטמנת פסולת וסביבותיו באור נראה. בתמונה ד' מופיע אותו אתר בצילום בחת-אדום. המדרון משוקם ללא מוקדי חום, מלבד פסולת חשופה הפולטת ביוגז ומקרינה חום (הכתם הצהוב). בפינה השמאלית העליונה ניתן לזהות מערכת איסוף ביוגז שחמה מסביבתה.



## איור 1

### תמונות מסקר בעירות באתר הטמנת פסולת

בתמונה א', שצולמה באור נראה, ניתן להבחין בפליטת עשן ובסימני חריכה על הקרקע. בתמונה ב', שצולמה באותו מקום בחת-אדום – הכתם הבהיר, בעל טמפרטורה גבוהה באופן משמעותי מהסביבה, משחרר עשן וגזי שרפה ומקרין חום. בתמונה ג' מצולמים אתר הטמנת פסולת וסביבותיו באור נראה. בתמונה ד' מופיע אותו אתר בצילום בחת-אדום. המדרון משוקם ללא מוקדי חום, מלבד פסולת חשופה הפולטת ביוגז ומקרינה חום (הכתם הצהוב). בפינה השמאלית העליונה ניתן לזהות מערכת איסוף ביוגז שחמה מסביבתה.

בסקר שביצעה הרשות הסביבתית באנגליה נמצא כי מוקדים בגוף הפסולת שאותרה בהם דליפת מתאן באמצעות בדיקות מעבדה, התגלו וזוהו גם בעזרת צילום תרמי. בנקודות אלה נמדדה בעזרת המצלמה טמפרטורה הגבוהה בשתי מעלות צלזיוס מקרקע שלא נצפתה בה דליפת גז.

במהלך הצילום התרמי נקלטות קרני תת-אדום מהאובייקטים המצולמים. מצלמה מתאימה מודדת טמפרטורה בפני שטח של גופים ברמת הפרדה של 0.1 מעלות. המצלמה ממירה מיפוי טמפרטורות לצבעים, וכך ניתן לקבל כלי איכותי לזיהוי מוקדי חום באתרי פסולת, שמייצגים אזורי שחרור גזים בשל בעירות תת-קרקעיות.

יש לבצע את הצילום התרמי בשעות לילה מאוחרות או בשעות בוקר מוקדמות, לאחר שפני השטח הספיקו להתקרר מחום השמש ביום החולף, כדי לאפשר משרע טמפרטורה גדול בין המוקדים לבין פני האתר שאין בהם חימום מתת-הקרקע. התצלומים נעשים מזווית רחבה כדי לקבל תמונה תרמית כללית של אתר הפסולת. בשלב הבא, על פי זיהוי אזורים חמים, ניתן לצלם תמונות תקריב של פני גוף הפסולת ולמדוד את טמפרטורת האוויר והקרקע. יש לדגום מוקדי חום באמצעות דוגם גז שדה לזיהוי המקור – שרפה תת-קרקעית או אזור פליטת ביוגז – ובהתאם למקור להציע פתרון הולם. שיטת הצילום התרמי מתאימה בייחוד לאתרי פסולת ביתית (מעורבת), המתאפיינים בבעירות רדודות יחסית בשל זמינות חמצן לבעירה. מניסיון העבר להלן מספר דוגמאות למקרים מעודדי בעירות באתרים שונים:

- אתר הטמנת פסולת יבשה הצמוד לקיר סלע בטופוגרפיה חריפה, שמעודדת כניסת אוויר במגע שבין גוף הפסולת לבין קיר הסלע וכן בסידוק הפתוח לחמצן בגוף סלע זה;
- אתר הטמנת פסולת הממוקם על מצע חולי שמאפשר הסעת חמצן בקלות;
- אתר הטמנת פסולת יבשה עם פרגמנטים רבים וגדולים של פסולת בניין שקשה להדקה ולאטמה;

- גדילת צמחייה שיצרה בשורשיה אזורי כניסת חמצן;
- התחזרות ערוצי ניקוז בגוף הפסולת ויצירת מוקדי בעירה בהתאם.

בדיקה ראשונית של אתר הטמנת פסולת פעיל או משוקם בעזרת צילום תרמי מאפשרת היכרות ראשונית משמעותית של תכונותיו, כגון: איכות כיסוי הפסולת, קיום פליטות ביוגז, קיום מוקדים המעידים על בעירות תת-קרקעיות, אזורים רטובים מתשטיפים שבדרך כלל מוצגים בטמפרטורה שונה, פוטנציאל מפגעים לסביבה ורמת ההידוק של הכיסוי.

הכלי יעיל בשגרת בקרה שוטפת של אתרים וכן בחקירה סדורה לקראת שיקום. השיטה משמשת את משרדנו בהצלחה ככלי איכותי אמין בעשרות אתרי פסולת ללימוד ראשוני של מאפייני אתרים והבעיות שבהם.