

לכבוד:

עפרי חזיז, מנהל תחום קרקעות מזוהמות
אגף קרקעות מזוהמות, שפכי תעשייה ודלקים
המשרד להגנת הסביבה
באמצעות דוא"ל: OfriH@sviva.gov.il

הנדון: סקירת ספרות – נהלים לסגירה וכיסוי של מטמנות

סימוכין: תאור תכולת העבודה המבוקשת, עפרי חזיז באמצעות מייל, 5.9.2019

חברת "אל. די. די. טכנולוגיות מתקדמות בע"מ" (LDD) התבקשה על ידי המשרד להגנת הסביבה, במסגרת "מכרז פומבי מס' 4/16 לקבלת שירותי ייעוץ מקצועי בתחום קרקעות מזוהמות" להכין סקירת ספרות בנושא שיטות כיסוי במטמנות בקרב מדינות ה-OECD וה-EU.

תהליך סגירה של מטמנה הוא תהליך ארוך הכולל בשלבים הראשונים הכנה וביצוע של תכנית לחקירה ואיפיון גוף הפסולת והתשטיפים, חקירת קרקע ומי תהום באזור העבודה, ובמידת הצורך – ביצוע שיקום של אזורים מזוהמים. השיקום יכול להתבצע במספר דרכים, בכל המטמנה או באזורים ספציפיים, בהתאם לממצאי איפיון הפסולת המוטמנת וההשפעות הסביבתיות שלה (באם קיימות) לאורך השנים. בהתאם לזאת, יכול לכלול השיקום הקמת מערכות של איסוף גזים ותשטיפים, חפירת קרקע מזוהמת ופינויה לאתר טיפול או טיפול באתר עצמו במגוון טכנולוגיות, וכן הקמת מערך ניטור וטיפול במי תהום מזוהמים, בגזי קרקע וכד'. במהלך ביצוע העבודה לא נמצאו מקרים לדוגמה בהם היתה התייחסות לתשתית בבסיס המטמנות, בין אם לתשתית שהיתה קיימת מתחילת פעילות המטמנות, ובין אם תשתית שהוקמה במסגרת שיקום המטמנה לאחר סגירתה. כיסוי המטמנה מהווה את השלב האחרון והסופי של תהליך סגירה של מטמנה שאינה פעילה עוד. מטרת הכיסוי הינו לייצר חיץ בין הפסולת הטמונה לבין הסביבה – מניעת שחרור גזים וחומרים מזוהמים לאוויר, ייצוב מדרונות, מניעת מגע בין גשם ו/או נגר עילי לגוף הפסולת ובכך יצירת תשטיפים שיכולים להגיע למי תהום ולזהמם, וכן שיקום סביבת-נופי.

מסמך זה מהווה סקר של רגולציה והנחיות מדיניות באירופה ובארצות הברית, ומציג מקרים לדוגמה של מטמנות בארצות הברית ובאירופה שנסגרו ובוצע בהם תהליך שיקום באמצעות שיטת הכיסוי. מהסקר ומהתקשרות אישית עם גורמים העוסקים בנושא המטמנות, כפי שיפורט בהמשך, נראה כי הרגולציה האירופית כמעט ואינה מתייחסת באופן פורמלי למטמנות המכילות פסולת מסוכנת. ההנחיות האירופאיות מתייחסות למטמנות פסולת מעורבת ומנוסחות כהנחיות כלליות, שאינן מגדירות דרישות מפורטות למבנה וטכנולוגיית הכיסוי. לעומת אירופה, בארצות הברית הרגולציה הפדרלית מפורטת מאוד, וכוללת הנחיות מדויקות לביצוע הכיסוי במטמנה, ולניטור ומעקב ארוך טווח לאחר הסגירה. ההנחיות של המדינות הספציפיות בארצות הברית נשענות על הרגולציה הפדרלית.

במידה ונדרש מידע נוסף – נשמח לספקו.

בברכה,

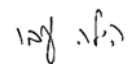
ד"ר מיכל שכטר
מנהלת מקצועית



052-7444674

michals@liddtech.com

ד"ר הילה עבו
הידרולוגית



054-4846905

hilaa@liddtech.com

בודק ומאשר הדוח:
אורן רינת



054-6777982

orenr@liddtech.com

1	1	רקע
2	2	סקירת רגולציה בנושא סגירה וכיסוי של מטמנות באירופה
2	2.1	האיחוד האירופי EU
2	2.2	גרמניה
3	2.3	הולנד
4	2.4	איטליה
5	3	סקירת רגולציה בנושא סגירה וכיסוי של מטמנות בארצות הברית
5	3.1	החוק הפדרלי וה- EPA
7	3.2	אינדיאנה
8	4	השלמת חקירה לפני התחלת שיקום וכיסוי
8	4.1	דיגום גוף הפסולת והתשטיפים
8	4.2	דיגום קרקע
9	4.3	דיגום מי תהום
9	5	תכנון מערכות כיסוי (CAPPING) ומערכת לאיסוף גז מטמנות
12	6	ניטור ארוך טווח
12	6.1	גז מטמנות
13	6.2	מי תהום
16	7	דוגמאות מאתרים בעולם
16	7.1	מטמנת TRIQ SANT' ANTIN, מלטה, אירופה
21	7.2	מטמנת "FRESH KILLS LANDFILL", סטון איילנד, ניו יורק, ארה"ב (NYC PARKS)
27	7.3	מטמנת OTTILIO, ניו ג'רסי
27	7.4	מטמנת GEMS, ניו ג'רסי
30	8	סיכום, מסקנות והמלצות
32	9	מקורות

רשימת תרשימים

- תרשים 1 - דוגמא לכיסוי פני השטח במטמנה סוג II בגרמניה (German Landfill Directive, 2019) 3.....
- תרשים 2 - הגדרת שכבות הכיסוי למטמנת פסולת לא מסוכנת לפי הנחיות RCRA (MIT 2004) 5.....
- תרשים 3 - הגדרת שכבות הכיסוי למטמנת פסולת מסוכנת לפי הנחיות RCRA (MIT 2004) 6.....
- תרשים 4 - שכבות כיסוי מטמנת פסולת מסוכנת, עם שכבת FML לניקוז (EPA, 1989) 7.....
- תרשים 5 - מערכת ניקוז מי גשמים מעל יריעת האיטום (Arab et al, Draintube.net) 10.....
- תרשים 6 - מערכת איסוף גזי מטמנה (ASTDR) 11.....
- תרשים 7 - תצלום אוויר עדכני של אתר נופש למשפחות במלטה, הממוקם על מטמנה משוקמת (Google Maps, 2019) 16.....
- תרשים 8 - מפה טופוגרפית (Malta 2009) 17.....
- תרשים 9 - מפת קידוחי נסיון (Malta 2009) 18.....
- תרשים 10 - מפת בארות מי תהום (כחול) וקידוחי גז מטמנות (צהוב) (Malta 2009) 19.....
- תרשים 11 - שכבות הכיסוי במטמנת GEMS 29.....

רשימת טבלאות

- טבלה 1 - דרישות כיסוי למטמנות באיטליה (Rambol, 2019) 4.....
- טבלה 2 - רשימת מזהמים לניטור מי תהום במטמנת פסולת מוצקה לא מסוכנת (CRF part 258) 13.....
- טבלה 3 - סיכום דיווחים וניטור נדרשים עבור מטמנת "Fresh Kills Landfill", סטטן איילנד, ארה"ב (NYC, 2002) 26.....

1 רקע

במסגרת מכרז פומבי מספר 4/16 "לקבלת שירותי ייעוץ מקצועי בתחום קרקעות מזהמות", נשכרה חברת LDD לצורך מתן שירותי ייעוץ להכנת סקירת ספרות בקרב מדינות ה-OECD או ב-EU, איסוף מידע כללי אחר היקפי ביצוע הקפסולציה במהלך שלושים השנים האחרונות ותיעוד ופירוט מסמכי תקינה או הנחיות מטעם מדינות ה-OECD וה-EU העוסקות בביצוע קפסולציה.

מסמך זה כולל סקירה ספרותית של טכנולוגיות לסגירה וכיסוי של מטמנות ישנות (מינוחים מקבילים: קפסולציה, Capping), כך שלא יהוו סיכון לבריאות האדם והסביבה. כמו כן מוצגים במסמך זה תיאורי מקרה של ביצוע קפסולציות למטמנות בהן הוטמנה פסולת תעשייתית מסוכנת באירופה ובארצות הברית, מסקנות והמלצות לאור תיאורי המקרה.

יצוין כי תהליך הסגירה של מטמנה, הוא תהליך ארוך הכולל בשלבים הראשונים הכנה וביצוע של תכנית לחקירה ואיפיון גוף הפסולת והתשטיפים, חקירת קרקע ומי תהום באזור העבודה, ובמידת הצורך – ביצוע שיקום של אזורים מזהמים.

לאחר איפיון סוג הפסולת וטיפול בסיכונים קיימים, ולאחר קבלת היתר הרשויות הרלוונטיות (המשרד להגנת הסביבה, רשות המים), ניתן להתחיל בתכנון הכיסוי, מערכת לאיסוף וטיפול בתשטיפים ובגזים של מזהמים נדיפים, ומערך ניטור ארוך טווח.

כאמור, סקר ספרות זה מתמקד בשיטות קפסולציה. המרכיבים הנוספים של תהליך סגירת האתר, טרום ביצוע הכיסוי ולאחריו, ידונו בקצרה בפרקים האחרונים של המסמך. מרכיבים אלה כוללים איסוף תשטיפים, ניטור גז מטמנות וניטור מי תהום.

2 סקירת רגולציה בנושא סגירה וכיסוי של מטמנות באירופה

פרק זה כולל סקירה של הנחיות לסגירה וכיסוי מטמנות, הן במסמכי הרגולציה של איחוד האירופי, והן במדינות ספציפיות.

2.1 האיחוד האירופי EU

במסגרת מדיניות האיחוד האירופי לתקינה סביבתית, נכלל גם נושא הטיפול בפסולת. התקינה האירופאית קובעת סטנדרטים לאיסוף, שינוע, טיפול וסילוק של פסולת, על מנת לצמצם את ההשפעות על בריאות האדם ועל הסביבה. הדירקטיבה לטיפול בפסולת Waste Framework Directive 2008/98/EC מגדירה את הבסיס החוקי לניהול הפסולת. הדירקטיבה לסילוק פסולת Directive 1999/31/EC on the Landfill of Waste, והחלטה Decision 2003/33/EC on Waste Acceptance Criteria (WAC), מגדירות את התנאים לרישוי, תכנון, תפעול, סגירה וטיפול המשך של מטמנות (EU 2010).

הדירקטיבה לסילוק פסולת (Directive 1999/31/EC) מגדירה קריטריונים לקבלת פסולת לאתר בהתאם לסיווג הפסולת. פסולת מסוכנת יכולה להיכנס למטמנה רק לאחר שעברה טיפול כך שימנע נזק בריאותי וסביבתי בטווח הקצר, וכך שהפסולת המטופלת תהיה יציבה מספיק בטווח הארוך, לאורך כל חיי המטמנה.

דירקטיבה זו מגדירה גם תנאים כלליים לסגירת האתר ולטיפול המשך. המדינות החברות באיחוד צריכות להתחיל בתהליך הסגירה בהתאם לתנאי ההיתר שקיבלו, ו/או לפי החלטת הרשות הלוונטית. המטמנה תוגדר כסגורה באופן סופי לאחר בדיקת הרשויות (ביקור באתר, בדיקת דו"חות), ומתן אישור סגירה למפעיל. לאחר הסגירה, המפעיל יהיה אחראי לתחזוקה, ניטור (גז מטמנות, תשטיפים, מי תהום), וכל פעילות אחרת הנדרשת כל עוד האתר מהווה סיכון פוטנציאלי. נספח III למסמך זה מתאר באופן כללי את הפרמטרים לדיגום ואת תדירות הדיגום הנדרשת לאחר סגירת האתר וכל עוד הוא מהווה סיכון. יחד עם זאת, לא מופיעות במסמך הנחיות לשיטת כיסוי האתר, כחלק מתהליך הסגירה.

התאגיד לקביעת אסטרטגיית ניהול עקבית באירופה (COCOON – Consortium for a Coherent European Landfill Management Strategy) הינו ארגון מטעם האיחוד האירופי שקם במטרה לקבוע מדיניות טיפול בפסולת במדינות החברות בארגון (לא כל מדינות האיחוד: בלגיה, גרמניה, קפריסין, מלטה, הולנד, ספרד).

2.2 גרמניה

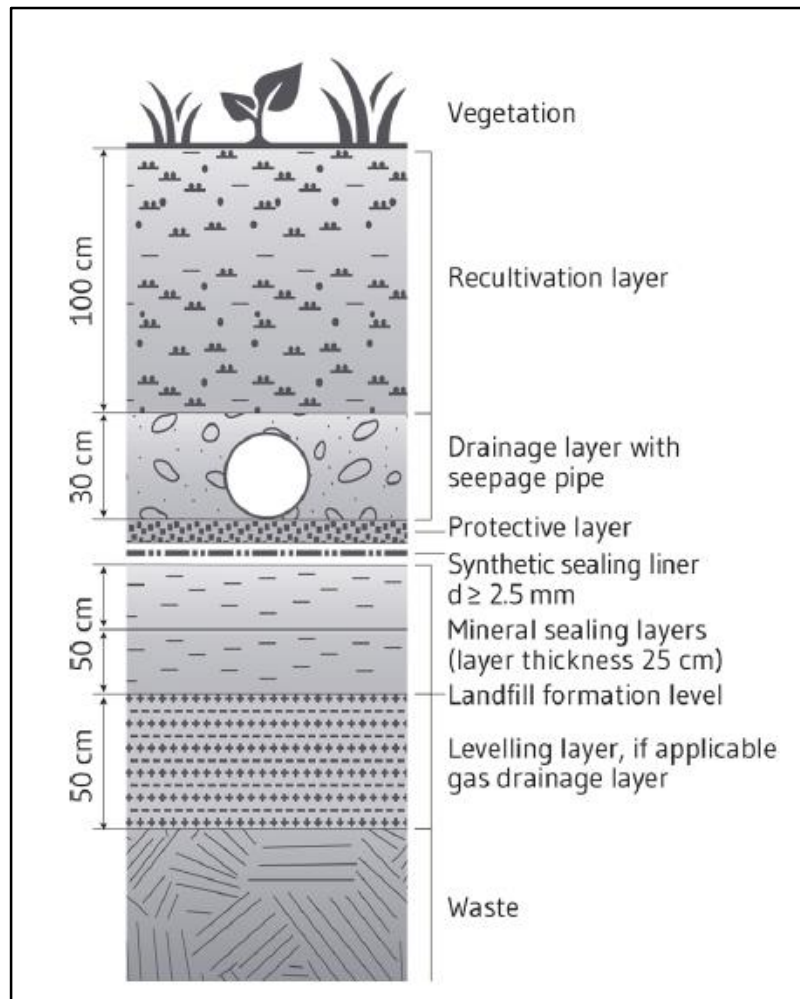
הדירקטיבה הגרמנית למטמנות (German Landfill Directive, 2019), מגדירה את הצורך בסגירה וכיסוי של מטמנה כאמצעי למניעה או צמצום פליטות לאוויר, מניעת חלחול מפני השטח לתוך גוף הפסולת, וצמצום סכנות ומטרדים לאדם ולסביבה.

החוק הגרמני מגדיר חמש קטגוריות למטמנות (EU Brussels, 2009):

1. DK 0 – מטמנה עילית, פסולת אינרטי
2. DK I – מטמנה עילית, פסולת מינרלית, ריכוז נמוך של חומר אורגני וריכוז נמוך של מזהמים במבחני שטיפה (leaching tests)
3. DK II – מטמנה עילית, ריכוז בינוני של חומר אורגני ותשטיפים
4. DK III – מטמנה עילית לפסולת מסוכנת ושאינה מסוכנת, עם ריכוז גבוה של חומר אורגני ותשטיפים
5. DK IV – אתרי הטמנה תת קרקעיים

תרשים 1 מתאר דוגמא לכיסוי של מטמנה מקטגוריה 2 – פסולת מינרלית, חומר אורגני $TOC < 3\%$ ותשטיפים קיימים במבחני שטיפה:

תרשים 1 - דוגמא לכיסוי פני השטח במטמנה סוג II בגרמניה (German Landfill Directive, 2019)



2.3 הולנד

הולנד חברה בתאגיד COCOON. במסמך התאגיד המפרט באופן ספציפי את ניהול המטמנות בהולנד (COCOON 2018), מוגדרים שני סוגי מטמנות לפי זמן סגירתן:

- א. מטמנות שנסגרו לפני 1.9.1996, לא חל עליהן חוק הניהול הסביבתי ההולנדי,
- ב. מטמנות חדשות, עליהן חל חוק הניהול הסביבתי. מאז, תחילת שנות השמונים כל המטמנות המאושרות בהולנד הינן מטמנות סניטריות (Sanitary Landfills), ככל הנראה המקבילה לפסולת מעורבת בישראל. מטמנות אלה כפופות לדירקטיבה האירופית (Directive 1999/31/EC).

ממידע שהתקבל ממנהל פרויקט COCOON (Jan Frank Mars, janfrank.mars@rws.nl, project manager of the interreg EC COCOON project), פרויקט זה מתייחס למטמנות סניטריות ולא לפסולת מסוכנת. מטמנות ישנות, שרובן הכילו פסולת ביתית ופסולת בניין, היו תמיד תחת הסמכות של המחוז בו הן נמצאות. עבור רובן יישום תכנית ניטור וביצוע כיסוי עליון היו אמצעים מספיקים לצורך בקרת סיכונים. המטמנות שהכילו חומרים מסוכנים שוקמו תחת החוק ההולנדי להגנה על קרקעות (לא נמצא מידע על שיטות השיקום למטמנות חומרים מסוכנים). התכנית ההולנדית לשיקום מטמנות ישנות מתוארת בדף האינטנט <https://www.interregeurope.eu/policylearning/good-practices/item/2290/navos-remediation-strategies-for-former-landfills-in-the-netherlands/>.

לפי סקר שביצעה חברת Rambol בנושא סגירת מטמנות (Rambol, 2019), כיסוי מטמנות באיטליה כולל את השכבות המפורטות בטבלה 1. השיטה הנהוגה באיטליה דומה לשיטה האמריקאית, המתוארת בפירוט בפרק הבא.

טבלה 1 - דרישות כיסוי למטמנות באיטליה (Rambol, 2019)

Layer	D.LGS.36/2003 Annex 1 – Paragraph 2.4.3 – Non-hazardous waste landfill	Note
Superficial cover	1) thickness ≥ 1 m to facilitate the grass cover growth and providing thermal and erosion protection;	<i>No layer with equivalent characteristics is mentioned</i>
Drainage	2) drainage layer (protected from clogging) Thickness ≥ 0.5 m to avoid a water layer above the layers 3) and 4);	<i>No layer with equivalent characteristics is mentioned</i>
Mineral	3) compacted mineral layer thickness ≥ 0.5 m and hydraulic conductivity (K) $\leq 10^{-8}$ m/s or of equivalent characteristics; supplemented by an impermeable layer (typically HDPE layer) for hazardous waste landfills;	<i>Equivalent layer is mentioned (equal characteristics of typology and specification)</i> [Allowed mineral layer with K $\leq 10^{-8}$ m/s]
Biogas drainage	4. biogas drainage layer (protected from clogging) thickness ≥ 0.5 m;	<i>No layer with equivalent characteristics is mentioned</i>
Surface regularization	5. Landfill surface regularization layer to facilitate the construction of the capping.	

3 סקירת רגולציה בנושא סגירה וכיסוי של מטמנות בארצות הברית

פרק זה כולל סקירה של הנחיות לסגירה וכיסוי מטמנות בארצות הברית, בגופים הפדרליים ובמדינות ספציפיות.

3.1 החוק הפדרלי וה-EPA

החוק לשימור ושיקום משאבים (RCRA – Resource Conservation and Recovery Act) מהווה את הבסיס החוקי לניהול פסולת מוצקה, מסוכנת ולא מסוכנת, ונותן ל-EPA את הסמכות לניהול אתרי פסולת מתחילת התהליך ועד לסגירת האתר (RCRA website).

רגולציה של **פסולת מוצקה לא מסוכנת** בחוק זה נעשית תחת Subtitle D – Non-hazardous Waste, ומגדירה, בין היתר, הנחיות לסגירת האתר. החוק הפדרלי לסגירה של מטמנות מוניציפליות לפסולת מוצקה (eCFR 2019 – part 258) מחייב את מפעלי האתר להתקין מערכת כיסוי סופית שמטרתה מניעה של חלחול מי גשם וארוזיה של גוף הפסולת. מערכת הכיסוי תכלול את האלמנטים הבאים, מפני השטח ועד גוף הפסולת:

- א. שכבת צמחיה – הקטנת ארוזיה, הקטנת חלחול עקב טרנספירציה של הצמח.
 - ב. שכבה למניעת ארוזיה: שכבת קרקע בעובי 6 inch לפחות (כ- 15 ס"מ), אשר מאפשרת גידול ארוך טווח של צמחיה.
 - ג. שכבה להקטנת חלחול: שכבת קרקע בעובי 18 inch לפחות (כ- 46 ס"מ), בעלת מוליכות הידראולית נמוכה או שווה למוליכות התשתית הקיימת של המטמנה (טבעית או מלאכותית), ולכל היותר 1×10^{-5} cm/sec (0.00864 מ"מ/יום).
- המכון הטכנולוגי של מסצ'וסטס (MIT) כלל את הנחיות כיסוי המטמנות לפי חוק RCRA במסגרת קורס. התרשימים הבאים לקוחים מתוך חומר ההרצאה בקורס (MIT 2004). תרשים 2 מתאר את שכבות הכיסוי הנדרשות במטמנת פסולת מוצקה שאינה מסוכנת. שיטת הכיסוי לא תלויה בתשתית המטמנה, כלומר – ההתייחסות למטמנות עם תשתית או ללא תשתית היא זהה.

תרשים 2 - הגדרת שכבות הכיסוי למטמנת פסולת לא מסוכנת לפי הנחיות RCRA (MIT 2004)

	Vegetative Cover
	Topsoil (6 inches minimum)
	Infiltration Cover with $K < 1 \times 10^{-5}$ (18 inches minimum)
	Solid waste

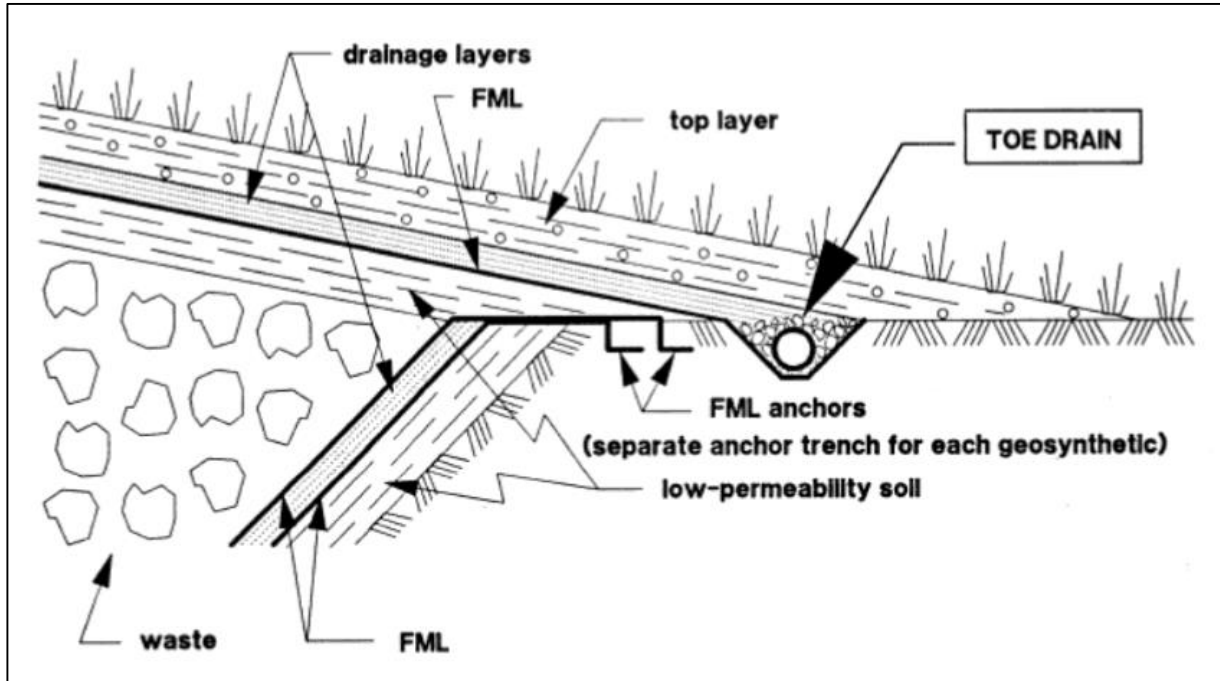
רגולציה של **פסולת מוצקה מסוכנת** מוגדרת ב - RCRA תחת Subtitle C – Hazardous Waste. הנחיות לסגירת האתר פסולת מסוכנת מפורטות בחלק Subpart G – 264 לחוק (eCFR 2019 – part 264).
שכבות הכיסוי של מטמנת פסולת מוצקה מסוכנת כוללת את האלמנטים הבאים (תרשים 3):

- א. שכבת צמחיה להקטנת ארוזיה וחלחול
- ב. שכבת קרקע עליונה למניעת ארוזיה
- ג. שכבת הגנה מחלוקים/חצץ: שכבה אופציונלית שמטרתה לשמש כתווך להתפשטות שורשים, הגנה מפני יצירת מחילות ע"י מכרסמים, והגנה מפני תופעות של קפאון (קפיאת מים, התרחבות וסידוק. לא רלוונטי לתנאים בישראל). שכבת החלוקים מונחת מעל יריעת גיאוטקסטיל.
- ד. (המנקזת את המים כן חלחלו דרך השכבות העליונות. שכבה זו מונחת geonet שכבת חלחול: חצץ או רשת)
(המובילה בשיפוע אל תעלות הניקוז FML - Flexible Membrane Liner מעל יריעה אטומה)
- ה.
- ו.
- ז. (תרשים 4) (EPA, 1989)
- ח. שכבת חרסית מהודקת בעובי 60 ס"מ לפחות, מעל גיא-טקסטיל בעובי 40 mil (כ – 1 ס"מ).
- ט. שכבת נידוף גזים: שכבת חול גס, או רשת מעל גיאוטקסטיל שמייצב את השכבה.

תרשים 3 - הגדרת שכבות הכיסוי למטמנת פסולת מסוכנת לפי הנחיות RCRA (MIT 2004)

	Vegetative Cover
	Top Soil Cover
	Protection (cobble) layer
	Geotextile
	Drainage Layer
	FML
	Compacted clay
	Geotextile
	Gas Vent Layer (optional)
	Geotextile
	Solid waste

תרשים 4 – שכבות כיסוי מטמנת פסולת מסוכנת, עם שכבת FML לניקוז (EPA, 1989)



3.2 אינדיאנה

הגוף האחראי על הטיפול במטמנות במדינת אינדיאנה הוא IDEM – Indiana Department of Environmental Management. הנחיות IDEM מיועדות למטמנות חוקיות ואתרי פסולת פיראטיים בתחום המדינה, שאינם תחת הרגולציה הפדרלית של חוק CERCLA וחוק RCRA (Indiana, 2018). חשוב להדגיש כי ככל הנראה המסמך מתייחס למטמנות שאינן מכילות חומרים מסוכנים, אם כי הדבר אינו מצויין במפורש במסמך. הנחיות לשכבת הכיסוי המופיעות במסמך דומות להנחיות RCRA עבור אתר פסולת שאינה מסוכנת.

לצורך סגירת אתר (מטמנה חוקית או אתר פיראטי), בעל השטח צריך להגיש בקשה הכוללת את תיאור השטח, סוג הפסולת, תוצאות ניטור קרקע ומי תהום, ושימוש עתידי בשטח. הבקשה תלווה בתכנית סגירה וטיפול עתידי, ותכנית דיגום קרקע ומי תהום לבחינת גבולות גוף הפסולת, הערכה של סוגי הפסולת באתר, ותכנית לביצוע עבודות הסגירה והשיקום כך שימנעו נזק בריאותי לעובדים באתר (כמו סכנת פיצוץ עקב קדיחה במרבצי מתאן, חשיפה לחומרים מסוכנים, וכדומה): HASP – Health and Safety Plan.

כחלק מתהליך סגירת יש לבצע כיסוי סופי של האתר באמצעות:

- א. שכבת קרקע חרסיתית בעובי 2 feet לפחות (כ – 60 ס"מ), ומעליה
 - ב. שכבת קרקע לכיסוי סופי בעובי 6 inch לפחות (כ – 15 ס"מ), אשר מאפשרת גידול ארוך טווח של צמחיה.
- שכבות אלה יהיו בשיפוע של לא פחות מ – 2% (שיפוע קטן מאד, כך מופיע במקור), ולא יותר מ – 33%, והמשטח יהיה מיושר על מנת למנוע הצטברות של מים.

IDEM שומר לעצמו את הזכות לדרוש חקירה משלימה של מי תהום, קרקע, גז קרקע ומתאן, אם תוצאות הדיגום השוטף מצביעות על שחרור מזהמים לסביבה.

4 השלמת חקירה לפני התחלת שיקום וכיסוי

פרק זה יסקור את דרישות החקירה והניטור של גוף הפסולת, הקרקע מתחתיו, ומי התהום סביב אזור המטמנה, כחלק מתהליך קבלת החלטות בנוגע לצורך בפעולות שיקום מקומיות או אזוריות לפני הכיסוי, ובנוגע לסוג הכיסוי הנדרש.

4.1 דיגום גוף הפסולת והתשטיפים

המלצות מדינת אינדיאנה (Indiana, 2018) כוללות תיחום של גוף הפסולת, בעיקר במטמנות ישנות, שגבולותיהן לא ברורים. התיחום יתבצע באמצעות קידוחים בשולי גוף הפסולת כל 200 feet (כ – 60 מ'), ובכל מקום בו יש עיקול בגבול המשוער. מטרת הקידוחים היא לוודא נוכחות של פסולת לצורך תיחום, ולא נלקחות בשלב זה דגימות למעבדה.

לצורך איפיון גוף הפסולת לפני סגירה ושיקום, ההמלצות כוללות ביצוע של מינימום שלושה קידוחים לאקר (כ – 4 דונם), תוך נקיטת כל אמצעי הזהירות הנדרשים. בכל קידוח יש לבדוק נוכחות מתאן (המרכיב העיקרי בגז המטמנות) כל 5 רגל (כ – 1.5 מ'), אלא אם כן ניתן להוכיח שאין חשש לנוכחות מתאן. בכל קידוח יש לבדוק את סוג הפסולת לאורך החתך (ככל הנראה הכוונה היא לאיפיון הפסולת תוך כדי קדיחה. אין בטקסט הפניה מפורשת לשליחת דוגמאות לאנליזת מעבדה הקידוח צריך לעבור דרך שכבת התשטיפים ולהגיע עד תחתית המטמנה. במידה ונתקלים בשכבת תשטיפים נזלית, יש לקחת דגימה לבדיקת הפרמטרים הבאים:

- א. חומרים אורגניים נדיפים
- ב. חומרים אורגניים חצי נדיפים
- ג. PCB's – Polychlorinated Biphenyls
- ד. יונים ראשיים
- ה. מתכות: ארסן, בריום, קדמיום, כרום, עופרת, סלניום, אבץ, ניקל, כסף, נחושת, מנגן, ברזל, בורון
- ו. אמוניה
- ז. ציאנידים
- ח. פנולים
- ט. pH

יש לסתום את כל הקידוחים בבנטוניט לאחר תום הדיגום.

דיגום התשטיפים יתן מידע על המוביליות של המזהמים בקרקע, ויסייע בתכנון דיגום מי התהום. הנחיות מדינת אינדיאנה קובעות כי פעולות הניטור והשיקום של מטמנה יארכו לפחות 30 שנים, החל מהתאריך האחרון לקבלת פסולת במטמנה. דרישות הניטור שלאחר סגירת המטמנה כוללות התייחסות לניטור מי תהום בלבד.

4.2 דיגום קרקע

במקורות המידע שנסקרו בעבודה זו לא נמצא מידע על דיגום מעבדתי-אנליטי של קרקע בשלב איפיון גוף הפסולת, לפני תחילת השיקום. יחד עם זאת, מהנסיון והידע שנצבר בחברת LDD עולה הצורך באנליזה של דוגמאות קרקע וגז קרקע אקטיבי מקידוחים לאיפיון גוף הפסולת, בעיקר במטמנות בהן ידוע, או שקיים חשש סביר, להטמנת חומרים מסוכנים.

4.3 דיגום מי תהום

הן באירופה והן בארצות הברית מושם דגש על חקירת מי תהום באזור המטמנה, מתוך חשש לזליגת מזהמים ופגיעה באיכות מי תהום. הנחיות לדיגום מי תהום בשלב החקירה המקדימה דומות להנחיות הדיגום בתקופה שלאחר סגירת המטמנה, כפי שיפורט להלן בפרק 6.

5 תכנון מערכות כיסוי (Capping) ומערכת לאיסוף גז מטמנות

החומר הנפוץ ביותר המשמש לאיטום וכיסוי מטמנות הינו יריעות HDPE מולחמות בעובי 2.5 מ"מ (Meggyes et al, 1998), המשמשות כ – FML)

(תרשים 4).

היבטים סטרוקטורליים בבחירת היריעה: אחת הבעיות בטכנולוגיה של כיסוי מטמנות היא תהליך השקיעה עקב דחיסה (קונסולידציה) ותהליכי פירוק המתרחשים בגוף הפסולת. יריעות HDPE המאושרות לשימוש ככיסוי למטמנות בגרמניה צריכות לאפשר דפורמציה של 3% ללא היווצרות כשלים בטווח הארוך (Federal Institute for Materials Research and Testing, 1994, Germany).

יציבות וחיכוך של היריעה עם שכבות הקרקע המינרלית הם פרמטרים קריטיים במדרונות. יריעות בעלות פני שטח לא חלקים מתאימות במקרה זה עקב מקדם החיכוך הגבוה. במקרים של שיפוע תלול יש להסתייע בחישובים.

ניקוז: בשכבת הניקוז שמעל היריעה ניתן להניח צינורות ניקוז (Draintubes) המחוברים לגיאוטקסטיל במרווחים קבועים (דוגמא ממטמנה בצרפת (Arab et al), שימוש בגיאוטקסטיל בעל עמידות ל - UV, על מנת לצמצם נזק ליריעת האיטום. מפרטים טכניים בדף האינטרנט <https://www.draintube.net/downloads/>).

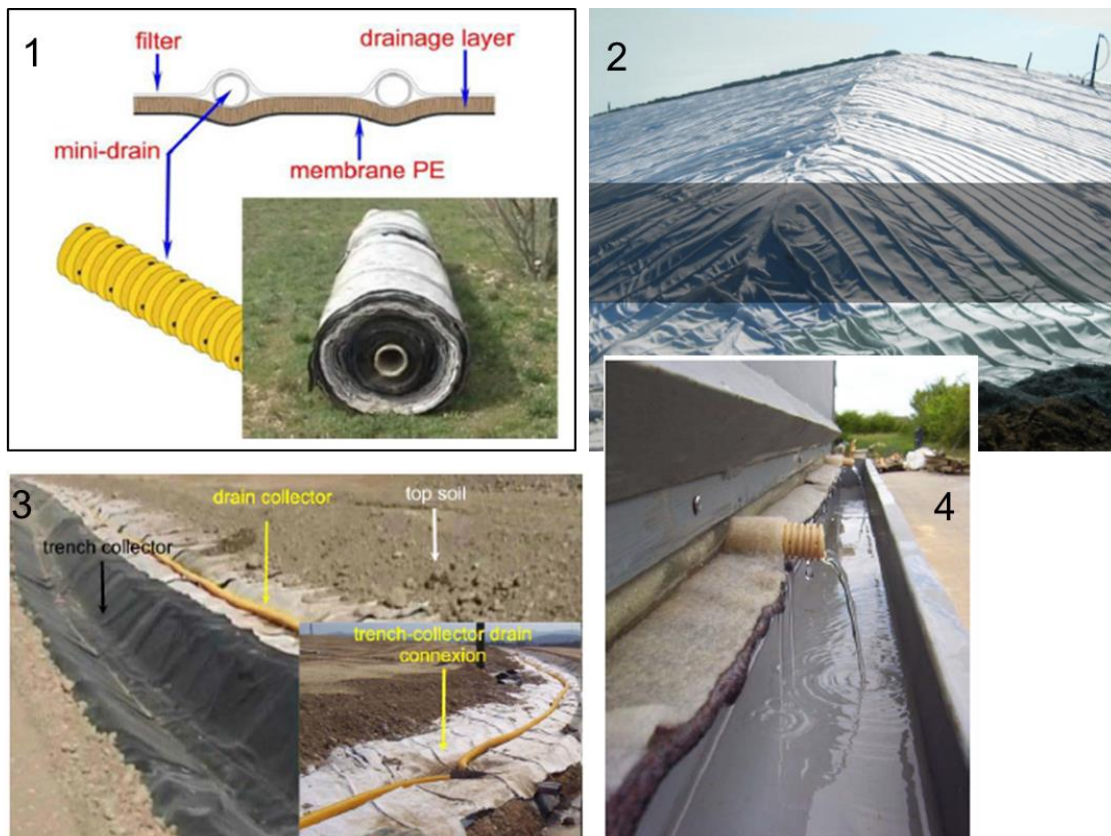
שכבת הקרקע העליונה (Top Soil) מונחת מעל יריעת הגיאוטקסטיל המשולבת עם צינורות ניקוז)

תרשים 5).

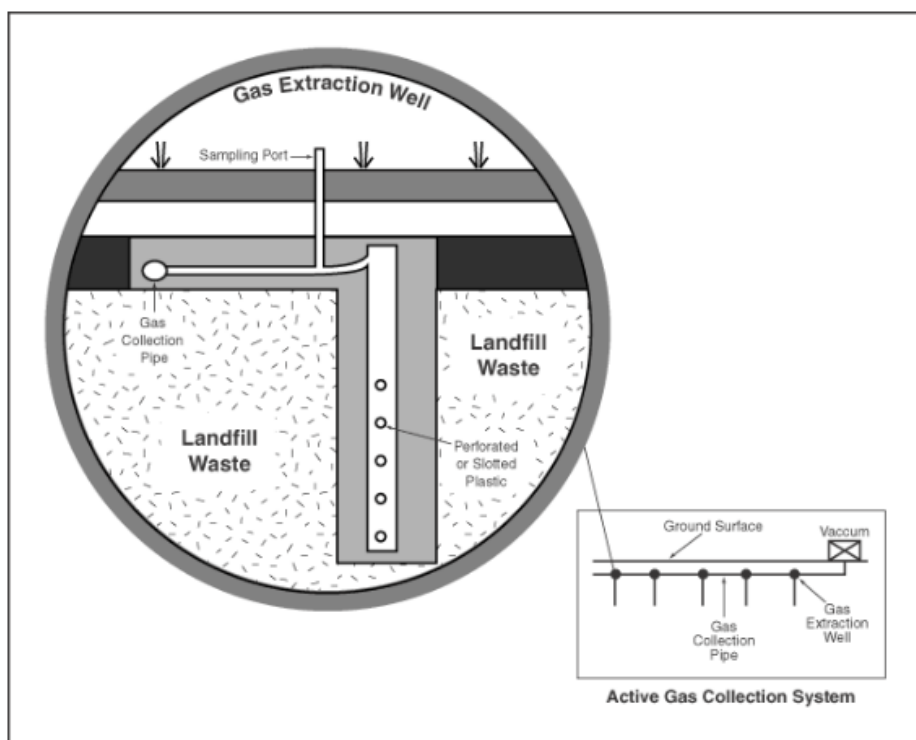
מערכת לאיסוף גז המטמנות מורכבת מקידוחי הפקה אנכיים או אופקיים, רשת צינורות לאיסוף הגז, משאבות, עיבוי להרחקת נוזלים, לפיד לשריפת הגז (או לחילופין הפניית הגז למערכת הפקת אנרגיה). צנרת איסוף הגז מותקנת בשכבת נידוף הגזים, שהיא השכבה הראשונה מעל גוף הפסולת במערכת הכיסוי, ומנוקזת דרך השכבות העליונות בכיסוי אל מערכת ההובלה העילית (תרשים 6).

תרשים 5 – מערכת ניקוז מי גשמים מעל יריעת האיטום (Arab et al, Draintube.net).

1: צינור ניקוז חדיר, 2: יריעת גיאוטקסטיל משולבת עם צנרת ניקוז, 3: תעלת איסוף בשולי המטמנה, בניצב לנקזים המשולבים ביריעה, 4: איסוף המים לתעלה מרכזית



תרשים 6 – מערכת איסוף גזי מטמנה (ASTDR)



הדירקטיבה האירופית 1999/31/EC מגדירה בפרק 13 (Closure and after-care procedures), כי כל עוד הרשות האחראית על מטמנה סבורה כי האתר ממשיך להוות סיכון, ממשי או פוטנציאלי, הגורם האחראי על המטמנה ימשיך בניטור גז מטמנות, תשטיפים ומי תהום. דרישות הניטור מפורטות בנספח III למסמך, וכוללות:

- א. מידע מטאורולוגי
 - ב. דיגום תשטיפים ומים עיליים
 - ג. ניטור גז מטמנות בכל תא/אזור של המטמנה
 - ד. דיגום מי תהום
 - ה. מעקב אחר הטופוגרפיה של האתר לצורך זיהוי שקיעות
- החוק האמריקאי מגדיר באופן מפורט את הנהלים, הדרישות המקצועיות, הפרוצדורות והמימון של מנגנוני הסגירה של מטמנות ותחזוקת האתר בתקופה שלאחר הסגירה. מטרות החקיקה הן:
- א. להקטין ככל האפשר את פעולות התחזוקה הנדרשות בטווח הארוך
 - ב. להקטין ככל האפשר נדידה של מזהמים מתוך האתר הסגור אל מי התהום, הקרקע והאוויר, במידה שתהווה סיכון לבריאות האדם ולסביבה.

6.1 גז מטמנות

גז מטמנות, המהווה תוצר לוואי של תהליכי פירוק מיקרוביאליים בגוף הפסולת, נוטה להצטבר בחללים סגורים בעומק גוף הפסולת. המרכיב העיקרי בגז המטמנות הוא מתאן, תוצר פירוק אנאירובי שריכוזו עולה עם הזמן ועם העומק, ועלול להגיע לריכוזים שמעל לסף הנפיצות. היווצרות סדקים, חדירת חמצן, מקורות חום מקומיים וגורמים נוספים עלולים לגרום לבעירה ולהתפוצצות של מאגרי גז. מרכיב עיקרי נוסף הוא פחמן דו חמצני, שעלול לגרום לקשיי נשימה בריכוזים גבוהים. מרכיבים קטנים יותר בגז המטמנות הם מימן, חנקן, חמצן, מימן גופרתי, אמוניה, ומרכיבים אורגניים אחרים. לפיכך, חובה לבצע ניטור של גז מטמנות, כל עוד ממצאי הניטור מראים באופן עקבי, לאורך תקופת זמן מסויימת, שלא נוצר יותר גז.

לפי הנחיות מדינת ניו-זילנד (New Zealand, 2001), קיימות מספר שיטות לזיהוי וניטור גז מטמנות:

- א. ניתוח חזותי – אזורים בהם ניכרת מצוקה של הצמחיה הטבעית, זיהוי סדקים בכיסוי המטמנה, ריחות
 - ב. ניטור גז על-פני השטח – באמצעות מכשירי שדה כמו FID
 - ג. ניטור גז בתת-הקרקע – באמצעות קידוחי גז קרקע. במטמנות שנסגרו יש לבצע ניטור גם בשולי המטמנה, לזיהוי נדידה של גזים
 - ד. ניטור מבנים באזור המטמנה - במרתפים ובחללים סגורים
 - ה. ניטור מערכת האיסוף של הגזים (במידה וקיימת) – לבדיקת חלקי המערכת ויעילות מערכת הבעירה
- המתאן נפיץ בריכוז נפחי של 5% עד 15% באוויר. החוק הפדרלי RCRA מגדיר את הערכים המותרים לריכוז מתאן:
- א. בגוף הפסולת – לא יעלה על 25% מגבול הנפיצות התחתון (LEL), דהיינו 1.25% נפחי באוויר
 - ב. בשולי גוף הפסולת – לא יעלה על LEL, דהיינו 5% נפחי באוויר.
- מעל ריכוזים אלה, חובה להתקין מערכת לאיסוף הגז.

ניטור שגרת (Detection Monitoring) של מי תהום מחייב לפי החוק הפדרלי האמריקאי RCRA לאורך כל תקופת הפעילות של המטמנות, ובתקופת הטיפול שלאחר הסגירה (Post Closure Period). החוק מתייחס גם כאן באופן שונה למטמנות פסולת מוצקה שאינה מסוכנת (Subtitle D), ולמטמנות פסולת מוצקה מסוכנת (Subtitle C).

מטמנות פסולת שאינה מסוכנת

החוק הפדרלי RCRA לרגולציה של פסולת מוצקה לא מסוכנת (Subtitle D) מחייב ניטור מי תהום שגרת של מינימום פעמיים בשנה במטמנות פעילות או כאלה שנסגרו. תכנית הניטור צריכה לכלול לכל הפחות את המזהמים המופיעים בטבלה הבאה (eCFR 2019 – part 258, App.I), בדיגום של בארות ניטור במורד הזרימה ובאר ניטור המהווה רקע. לרגולטור בכל מדינה שמורה הזכות לשנות את תדירות הניטור כתלות בליתולוגיה של האקוויפר והתווך הלא רווי, פרמטרים הידראוליים, ניצול המים באקוויפר, ופרמטרים נוספים. כמו כן רשאי הרגולטור לקבוע רשימת מזהמים אנו-אורגניים אלטרנטיבית (כלומר – במקום רשימת המתכות בטבלה), בהתאם למידע על סוג הפסולת והמזהמים הצפויים.

טבלה 2 - רשימת מזהמים לניטור מי תהום במטמנת פסולת מוצקה לא מסוכנת (CRF part 258)

Appendix I to Part 258—Constituents for Detection Monitoring

Common name ¹	CAS RN ²
<i>Inorganic Constituents:</i>	
(1) Antimony	(Total)
(2) Arsenic	(Total)
(3) Barium	(Total)
(4) Beryllium	(Total)
(5) Cadmium	(Total)
(6) Chromium	(Total)
(7) Cobalt	(Total)
(8) Copper	(Total)
(9) Lead	(Total)
(10) Nickel	(Total)
(11) Selenium	(Total)
(12) Silver	(Total)
(13) Thallium	(Total)
(14) Vanadium	(Total)
(15) Zinc	(Total)

<i>Organic Constituents:</i>	
(16) Acetone	67-64-1
(17) Acrylonitrile	107-13-1
(18) Benzene	71-43-2
(19) Bromochloromethane	74-97-5
(20) Bromodichloromethane	75-27-4
(21) Bromoform; Tribromomethane	75-25-2
(22) Carbon disulfide	75-15-0
(23) Carbon tetrachloride	56-23-5
(24) Chlorobenzene	108-90-7
(25) Chloroethane; Ethyl chloride	75-00-3
(26) Chloroform; Trichloromethane	67-66-3
(27) Dibromochloromethane; Chlorodibromomethane	124-48-1
(28) 1,2-Dibromo-3-chloropropane; DBCP	96-12-8
(29) 1,2-Dibromoethane; Ethylene dibromide; EDB	106-93-4
(30) o-Dichlorobenzene; 1,2-Dichlorobenzene	95-50-1
(31) p-Dichlorobenzene; 1,4-Dichlorobenzene	106-46-7
(32) trans-1, 4-Dichloro-2-butene	110-57-6
(33) 1,1-Dichloroethane; Ethylidene chloride	75-34-3
(34) 1,2-Dichloroethane; Ethylene dichloride	107-06-2
(35) 1,1-Dichloroethylene; 1,1-Dichloroethene; Vinylidene chloride	75-35-4
(36) cis-1,2-Dichloroethylene; cis-1,2-Dichloroethene	156-59-2
(37) trans-1, 2-Dichloroethylene; trans-1,2-Dichloroethene	156-60-5
(38) 1,2-Dichloropropane; Propylene dichloride	78-87-5
(39) cis-1,3-Dichloropropene	10061-01-5
(40) trans-1,3-Dichloropropene	10061-02-6
(41) Ethylbenzene	100-41-4
(42) 2-Hexanone; Methyl butyl ketone	591-78-6
(43) Methyl bromide; Bromomethane	74-83-9
(44) Methyl chloride; Chloromethane	74-87-3
(45) Methylene bromide; Dibromomethane	74-95-3
(46) Methylene chloride; Dichloromethane	75-09-2
(47) Methyl ethyl ketone; MEK; 2-Butanone	78-93-3
(48) Methyl iodide; Iodomethane	74-88-4
(49) 4-Methyl-2-pentanone; Methyl isobutyl ketone	108-10-1
(50) Styrene	100-42-5
(51) 1,1,1,2-Tetrachloroethane	630-20-6
(52) 1,1,2,2-Tetrachloroethane	79-34-5
(53) Tetrachloroethylene; Tetrachloroethene; Perchloroethylene	127-18-4
(54) Toluene	108-88-3
(55) 1,1,1-Trichloroethane; Methylchloroform	71-55-6
(56) 1,1,2-Trichloroethane	79-00-5
(57) Trichloroethylene; Trichloroethene	79-01-6
(58) Trichlorofluoromethane; CFC-11	75-69-4
(59) 1,2,3-Trichloropropane	96-18-4
(60) Vinyl acetate	108-05-4
(61) Vinyl chloride	75-01-4
(62) Xylenes	1330-20-7

התקנות המתפרסמות ע"י הרשויות המדינות השונות, מתבססות על הגדרות החוק הפדרלי, בתוספת הנחיות מקומיות הנוגעות לתהליכי קבלת ההיתרים המתאימים, סמכות מתן הקלות ושינויי, ועוד.

במדינת וויסקונסין למשל, המשרד למשאבי טבע מגדיר הנחיות לניטור ארוך טווח של מטמנות פסולת מוצקה שאינה מסוכנת, ואת התהליך להקטנת תדירות הניטור והפסקתו (Wisconsin DNR, 2014). במטמנות שהוקמו לפני שנת 1996, נדרש ניטור בתדירות רבעונית, כל שלושה חודשים, לאורך כל שנות הפעילות של המטמנה. לאחר 1996, ובעקבות שדרוג של לתקנות לתכנון והקמה של מטמנות, ירדה תדירות הניטור השוטף לפעמיים בשנה. במידה ולאורך תקופה של מספר שנים, ממצאי הניטור מראים שאין סכנה למי תהום, המשרד יכול לתת היתר להקטנת תדירות הניטור ואף להפסקתו.

חשוב לציין בהקשר זה, כי פסולת מסוכנת במדינת וויסקונסין צריכה להיות מטופלת במתקני טיפול, ובאופן רשמי המדינה מצהירה כי אין מטמנות פסולת מסוכנת בתחומה (<https://dnr.wi.gov/topic/Waste/Hazardous.html>).

מטמנות פסולת מסוכנת

החוק הפדרלי האמריקאי לטיפול באתרי פסולת מוצקה מסוכנת (eCFR 2019 – part 264) מגדיר את ההנחיות לניטור מי תהום בתקופת הטיפול לאחר הסגירה בפרק 264 – Subpart G. תקופה זו מוגדרת כתקופה שמיד לאחר הסגירה ולמשך 30 שנים (264.117). באופן עקרוני המחוקק האמריקאי מתייחס לדרישות התחזוקה והניטור לאחר הסגירה, באופן דומה לדרישות במהלך תקופת הפעילות של המטמנה.

רשימת המזהמים המהווה את הבסיס לתכנית ניטור של מטמנות פסולת מסוכנת מופיעה ב - Appendix IX לתקנות בפרק 264 (הרשימה אינה מצורפת כאן עקב אורכה. מכילה מתכות, חומרים אורגניים נדיפים, חומרים אורגניים חצי נדיפים וביניהם חומרי הדברה רבים, 1,4-דיאוקסן). הן במהלך תקופת הפעילות של המטמנה והן בתקופה שלאחר הסגירה, הגורם האחראי על המטמנה צריך לבצע אנליזה תקופתית (בתדירות נמוכה יותר מהניטור השוטף) לכל המזהמים המופיעים ברשימה זו. על פי הממצאים, תקבע תכנית הניטור השוטפת. במידה והאנליזה התקופתית הבאה מראה נוכחות של מזהמים מרשימה זו, שלא זוהו באנליזה הקודמת, יתבצע עדכון של תכנית הניטור השוטפת על סמך הממצאים החדשים.

במדינת ווירג'יניה, המשרד לאיכות הסביבה פרסם הנחיות לסגירה ולתקופת הטיפול שאחרי הסגירה במתקני טיפול בפסולת מסוכנת, ובכלל זה מטמנות (Virginia DEQ, 2001). כל מתקני הטיפול בפסולת המסוכנת נדרשים באופן מפורש לעמוד בהנחיות הסגירה של פרק 264, כולל הקמת מערכת ניטור מי תהום, על מנת לקבל היתר לסגירה. מסמך הנחיות זה מהווה "מדריך למשתמש" לנוסח הפורמלי של החוק (CFR) ונועד לספק הבהרות בנוגע לתהליך.

7 דוגמאות מאתרים בעולם

פרק זה סוקר דוגמאות לשיקום מטמנות באירופה (מלטה) ובארה"ב.

7.1 מטמת Triq Sant' Antnin, מלטה, אירופה

במלטה, החברה גם היא בתאגיד COCOON, בוצע פרויקט גדול לשיקום מטמנה והפיכתה לפארק למשפחות (Malta 2009), ובקרבתו אתר לטיפול בפסולת (mallia et al, 2013). תצלום אוויר עדכני בתרשים 7. התכנון הסביבתי של הפרויקט אושר על ידי הרשות לסביבה ותכנון במלטה (MEPA). לפני הפיכתו למטמנה, שימש האתר כמחצבה, ובין השנים 1974-1979 שימש כמטמנה בה הוטמן נפח של כ- 200,000 טון פסולת על שטח כולל של כ- 75 דונם. לא קיים תיעוד לגבי סוג הפסולת שהוטמנה בשנים אלה. מאז 1979 הופנתה לאתר פסולת בניין, שכיסתה חלקית את פני האתר. תסקירי השפעה על הסביבה והערכת סיכונים בוצעו על ידי יועצים בתחומים הבאים: זיהום קרקע וסקרי סיכונים, גיאולוגיה/גיאומורפולוגיה/גיאואידרולוגיה, אקולוגיה, תכנון נוף, איכות אוויר, רעש, ומומחים בתחום מדעי החברה, וזאת על מנת להפוך את האתר למתחם בילוי למשפחות (Malta 2009).

תרשים 7 - תצלום אוויר עדכני של אתר נופש למשפחות במלטה, הממוקם על מטמנה משוקמת (Google Maps, 2019)

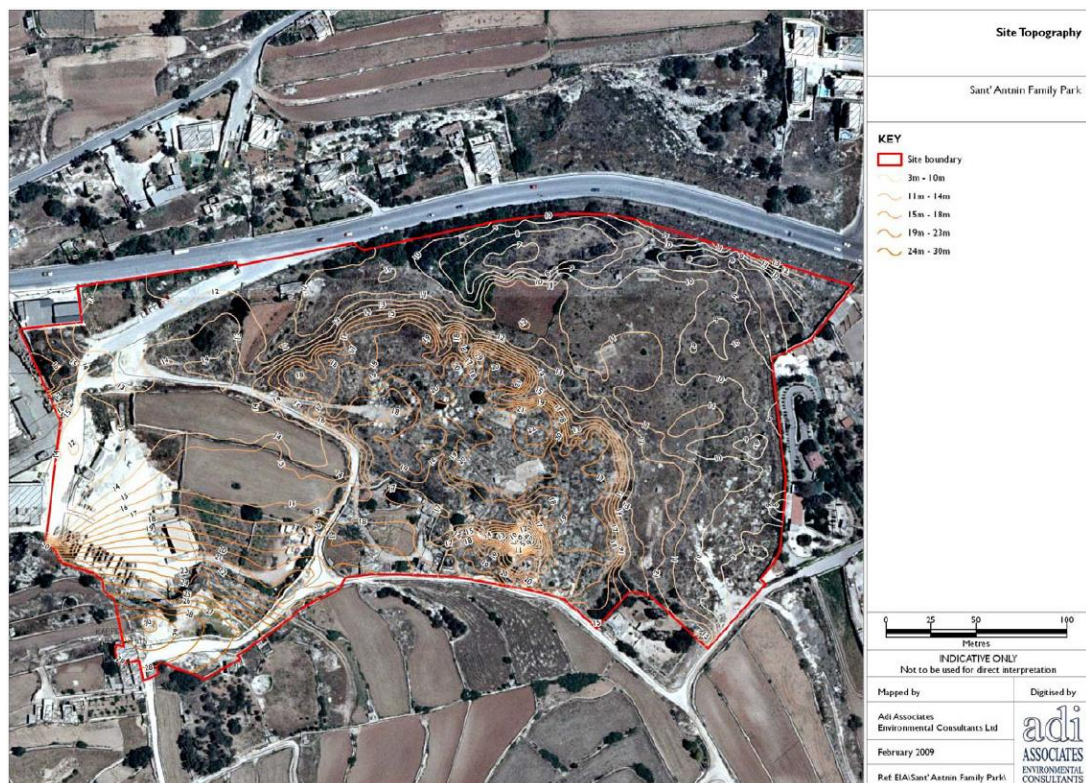


חקירת האתר כללה שלבים רבים, ורק מקצתם יתוארו במסגרת סקר ספרות זה. בוצעה סקירה של תצלומי אוויר היסטוריים, סקר היסטורי, היסטוריה של הפקת מי תהום, והפקו מפות טופוגרפיות (

תרשים 8).

תכנית החקירה בוצעה בהתאם להנחיות הדירקטיבה האירופית 1999/31/EC.

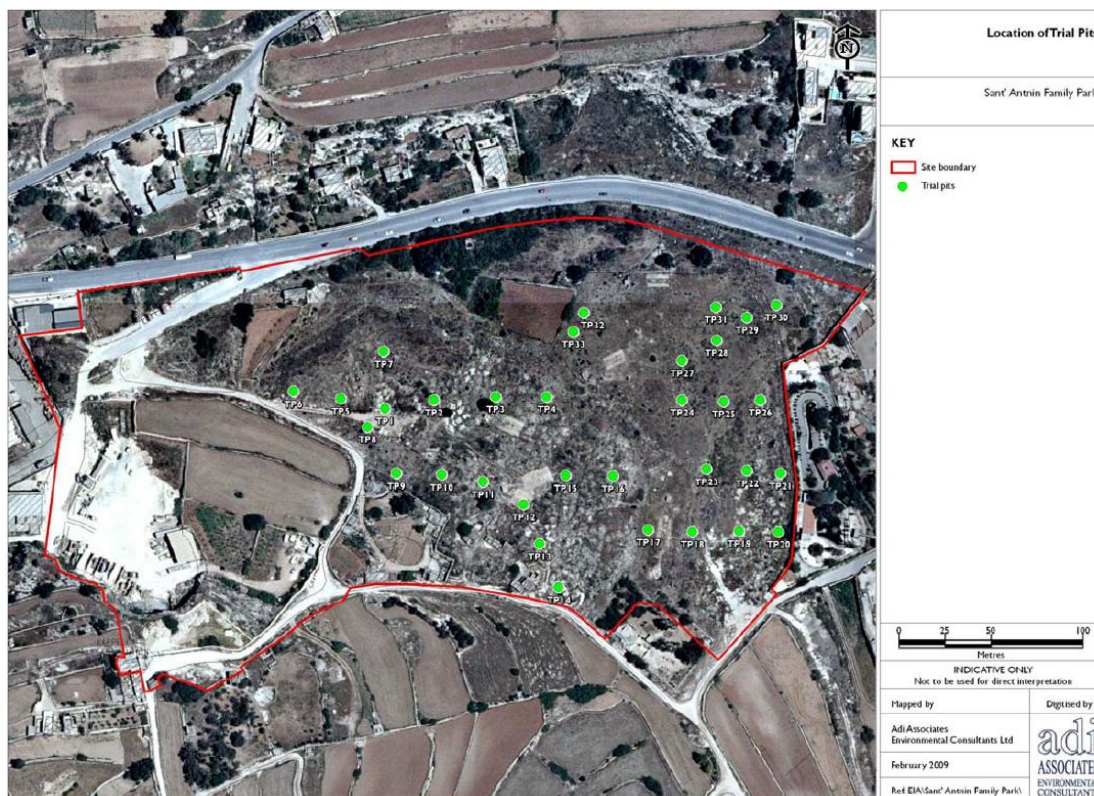
תרשים 8 - מפה טופוגרפית (Malta 2009)



לצורך איפיון הפסולת בוצעו 33 קידוחי ניסיון באתר)

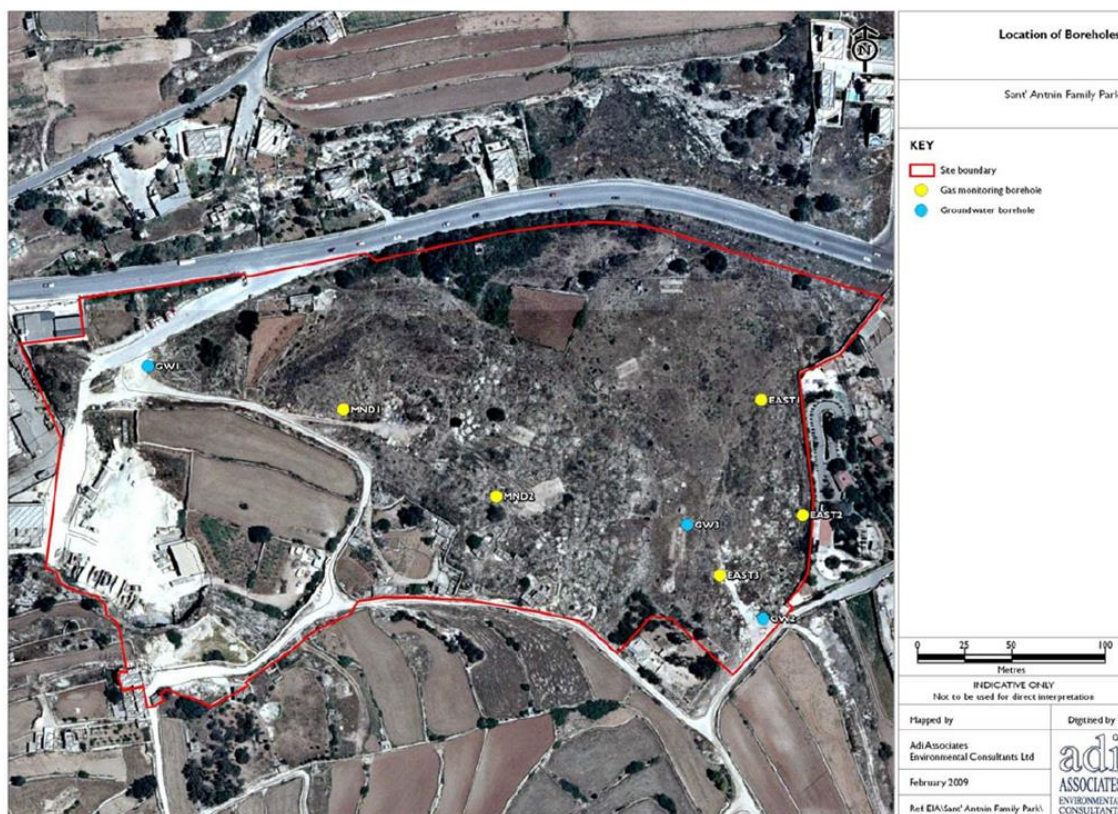
תרשים 9), מהם 16 קידוחים באזור הגבעה המרכזית בדרום-מערב האתר, ונחפרו כמה תעלות לרוחב גוף הפסולת. רק באזור המזרחי אותרו שאריות פסולת ביתית ותעשייתית, בעיקר כבלים חשמליים.

תרשים 9 - מפת קידוחי נסיון (Malta 2009)



נקדחו חמישה קידוחי ניטור לגז מטמנות ושלוש בארות למי תהום (תרשים 10). בבארות הגז בוצעו מבחני שאיבה לבחינת כושר ההפקה של גז.

תרשים 10 - מפת בארות מי תהום וקידוחי גז מטמנות (צהוב) (Malta 2009)



ממצאי הערכת הסיכונים:

מי תהום: ממצאי הניטור הצביעו על כך שמי התהום באזור הינם באיכות ירודה ומושפעים ממקורות זיהום אחרים, מחוץ לאתר. יחד עם זאת הצפי היה כי במידה ופעולות השיקום יכללו הסרה של כיסוי פסולת הבניין, צפוי חלחול של מי גשמים והסעת תשטיפים למי התהום. לפיכך הומלץ על פיזור מחדש של פסולת הבניין על כל פני השטח.

נגר עילי: ניקוז הנגר העילי סביב האתר לא מוסדר, וקיים חשש לזרימת מי נגר לתוך האתר. לפיכך תכנית ההסדרה כללה פיתוח תכנית הניקוז סביב האתר, כולל תעלות ומעברי מים.

בריאות האדם: מזהמים אנ-אורגניים, כגון מתכות כבדות, עלולות להוות סיכון בריאותי במגע ישיר, בליעה, או נשימת אבק מזוהם. סיכון משמעותי יותר קיים במהלך עבודות השיקום וההקמה של אתר הנופש המתוכנן, בעיקר דרך שאיפת אבק מזוהם.

הקמת מבנים חדשים: קיימת סכנת שקיעה של מבנים מתוכננים באזורים בהם הפסולת אינה דחוסה מספיק.

תכנית שיקום:

תכנית שיקום האתר כללה:

- א. כיסוי האתר בשכבה של 1 מ' לפחות פסולת בניין שתיחפר מאזורים בהם הכיסוי של פסולת הבניין עבה מספיק. כיסוי זה מתייחס בעיקר לחלק המזרחי, בו הפסולת האורגנית קרובה לפני השטח או גלויה לגמרי.
- ב. מעל שכבת פסולת הבניין תונח שכבה של 1 מ' לפחות של חומר לא מזוהם. יש לוודא שחומר זה יאפשר גידול צמחים ובעל טופוגרפיה שתאפשר את השימוש המתוכנן. לכן החומר הבלתי מזוהם יורכב משאריות ממיונות של פסולת בניין, ו/או פסולת בניין שתיגרס באתר. במידת הצורך תיובא קרקע נקיה ויוספו חומרים לטיוב הקרקע (שיפור תאחיזת מים).
- ג. למרות שלא נמצאו שאריות אסבסט באתר, עובדי ההקמה באתר יוכשרו לזהות אסבסט ולהרחיקו באמצעים בטוחים.
- ד. עובדי ההקמה באתר יצוידו באמצעי מיגון.

7.2 מטמנת "Fresh Kills Landfill", סטטן איילנד, ניו יורק, ארה"ב (NYC Parks)

אנו מביאים את המידע אודות אופן סגירת מטמנה זו בשל גודלה והיקפי הפסולת שהוטמנה בה לאורך השנים, והעובדה כי בפעולות הסגירה התייחסו לכלל ההיבטים הסביבתיים כתוצאה מפעילותה לאורך השנים.

המטמנה, הנחשבת למטמנה הגדולה בעולם, פעלה החל משנת 1948 ונסגרה בשנת 2001. המטמנה השתרעה על שטח של כ- 9 קמ"ר (2,200 acres). סך הפסולת שהוטמנה בה מוערך ב- 150 מיליון טון, אשר הוטמנה לעומק של 27-

68 מ'.



תהליך השיקום של המטמנה צפוי להיערך כ- 30 שנים. בתהליך סגירת ושיקום המטמנה יושמו מערכות הנדסיות לאיסוף וטיפול תוצרי הלוואי של המטמנה (גזים, תשטיפים) ולהגנה על בריאות הציבור והסביבה. על פי התכנון, בסופו של תהליך השיקום צפוי שטח המטמנה להיות פארק ציבורי פתוח.

טיפול בגזים

סה"כ כמות חומרים אורגנים נדיפים (VOCs) שנפלטים מהמטמנה הינה

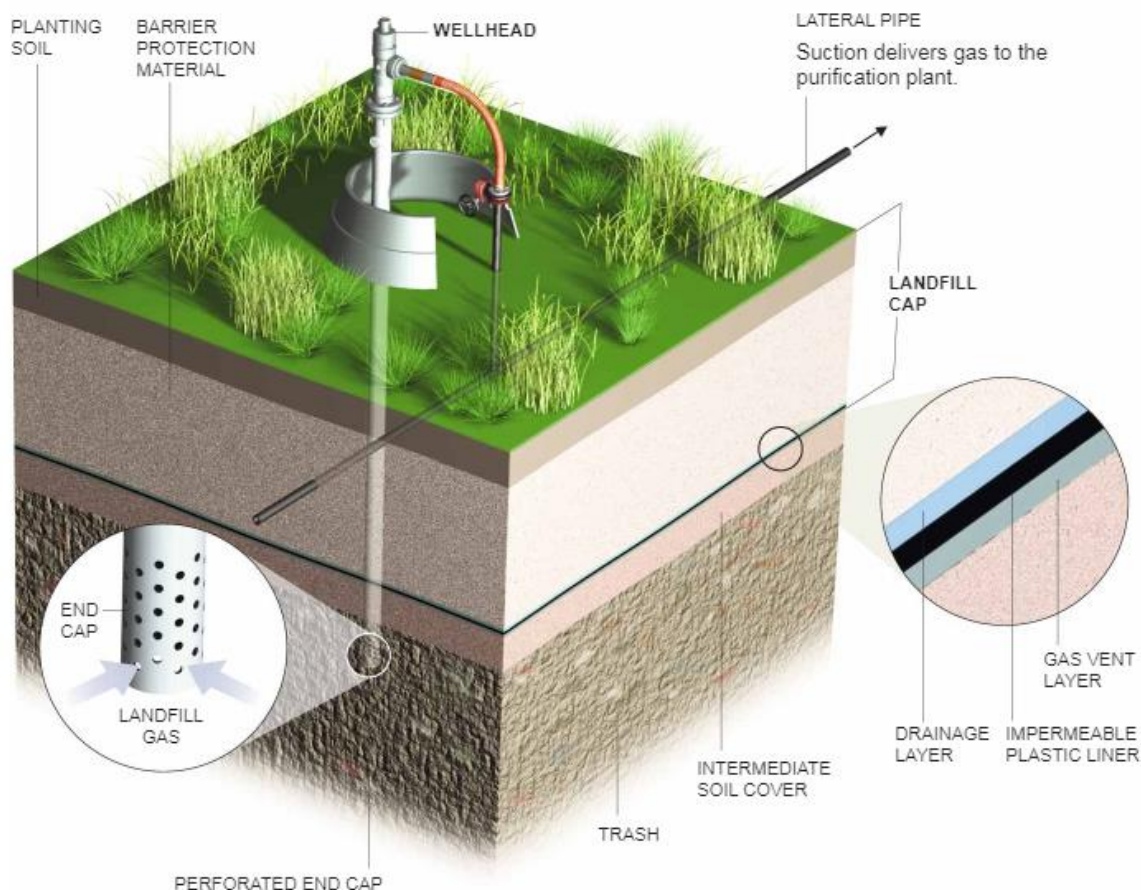
6,020 ק"ג/שנה, וכמות הפחמימנים הרב טבעתיים (PAHs) הנפלטת הינה 1,430 ק"ג/שנה.

לאיסוף הגזים הנפלים מהמטמנה (מתאן, פחמן דו חמצני, מים, תרכובות אורגניות נדיפות וכד') הותקנה מערכת לאיסוף הגזים הכוללת רשת של בארות המחוברות על ידי צינורות מתחת לפני השטח ואוספת את הגז באמצעות ואקום. הגז הנאסף נשרף או מועבר לשימוש כאנרגיה במפעל המחזור באתר. באמצעות מערכת זאת, נאספים גזים, תרכובות אורגניות שאינן מתאן ומזהמים מסוכנים אחרים, ונמנעת פליטתם לאוויר החופשי, וכן נמנעים מטרדי ריח.

גזים הנפלים מהמטמנה כוללים מתאן, פחמן דו חמצני, מים ותרכובות אורגניות אחרות. מערכת לאיסוף גזים באתר (Landfill Gas, LFG) אוספת את הגזים ומבקרת את הפליטה שלהם לאוויר, באמצעות מערכת של צינורות מתחת לפני השטח, אשר מעבירה את הגז באמצעות ואקום. לאחר איסוף הגז, הוא נדחס. בתהליך אשר מפריד את הלחות ומרכיבים נוזלים שמקורם במזהמים. המרכיבים הנוזליים נאספים ומועברים למתקן לטיפול בתשטיפים הנמצא בתוך האתר. מימן סולפידי, אשר תורם לגשם חומצי, מוסר גם הוא. הגז מטוהר בהמשך על ידי קירור, פחמן דו חמצני ופחמימנים לא רצויים אחרים מופרדים בתהליכי מיצוי עם ממסים. הגז שנותר הינו גז מתאן שניתן לשימוש להפקת אנרגיה.

על פי הנתונים שנאספו, מידי יום במטמנה נאספים כ- 425 מיליון ליטר, אשר מכילים כ- 59% מתאן, 40% פחמן דו חמצני, 0.1% חמצן ו- 0.8% חנקן.

"Fresh Kills Landfill" גזים במטמנת "Fresh Kills Landfill" תרשים סכמטי המתאר את המערכת לאיסוף



מקור:

<https://archive.nytimes.com/www.nytimes.com/interactive/2013/09/15/nyregion/from-garbage-to-energy-at-fresh-kills.html>

תשטיפים



התשטיפים הינם תוצרי לוואי של תהליכי הפירוק במטמנה. אמנם, כיסוי המטמנה במהלך שיקומה מונע מגע בין גשם לגוף הפסולת ליצירת תשטיפים חדשים, אולם בתוך גוף הפסולת נוצרים תשטיפים כתוצר לוואי של תהליכי הפירוק הטבעיים של הפסולת במטמנה. הסכנה בתשטיפים הינה נדידה שלהם בתוך גוף הפסולת עד להגעה למי תהום וזיהום מי התהום באתר.

לצורך טיפול בתשטיפים הוקמה מערכת לאיסוף תשטיפים (תמונה) הכוללת בארות,

צנרת ומשאבות שתוכננו לאסוף את התשטיפים. התשטיפים הנאספים מובלים לטיפול בשתי מערכות טיפול הכוללות ריאקטורים מנתיים, נטרול וסינון חול. המים המטופלים מוזרמים באישור בשטח האתר. לא נמצא מידע בנוגע להרכב (איכות) התשטיפים. מערכת האיסוף כוללת צינורות מחוררים שהותקנו בעומק של 1.8-2.4 מ' מסביב לגבולות האתר. בשני צדדים של האתר (מזרח ומערב) הותקנו גם קירות סלארי לכליאת התשטיפים באתר ומניעה של נדידה שלהם אל מחוץ לגבולות האתר. צינורות האיסוף מחוברים למשאבה ששואבת את התשטיפים למתקן טיפול.

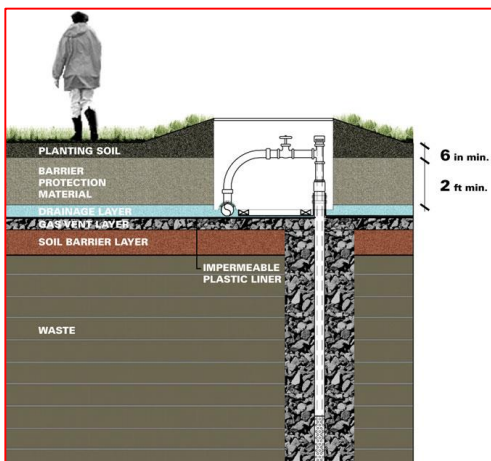
המתקן לטיפול בתשטיפים הוקם בשנת 1994. מנתונים שנאספו בשנת 2008 עולה כי כמות התשטיפים הנאספת והמטופלת בו הינה כ- 300,000 גלון ליום (כ- 1.13 מיליון ליטר ליום). מערכת לטיפול בתשטיפים כוללת טיפול ביולוגי באמצעות חיידקים אנאירוביים לפירוק החומר האורגני המזוהם, הוספת סודיום הידרוקסיד ואלומיניום סולפאט להפיכת

מתכות ממצבם המסיס למצבם המוצק, סינון המוצקים, הוצאת מים ודחיסה ליצירת בוצה, אשר מועברת לטיפול מחוץ לאתר. שארית הנוזל עוברת סינון להוצאת מוצקים לפני סילוקם לנחל Arthur Kill (לאחר ביצוע אנליזות לבדיקת עמידת בפרמטרים שהוגדרו כמותרים לסילוק לנחל).

כיסוי

מטרת הכיסוי הינה לסייע ביציבות המדרון ועמידות המטמנה ומערכותיה לטווח הארוך. אלה מושגים על ידי צמצום חדירת נגר עילי, מניעת שחיקה, והפרדת שכבת הפסולת מהסביבה לשמירה על בריאות הציבור, כמו גם לכידה ומניעת פליטה של גזים מזהמים מהמטמנה לאוויר.

להלן תיאור השכבות שהונחו על גוף הפסולת (מלמטה למעלה):



- שכבת קרקע (Soil Barrier Layer) – שכבת מחסום אדמה, המסייעת לשמור על יציבות המדרון וניקוז תקין.
- שכבת אוורור גז (Gas Venting Layer) – בנויה מחומר גיאוקומפוזיט (geocomposite) כדי להקל על תנועת הגז לעבר פתחי הגז הטמונים או לעבר בארות איסוף הגז.
- שכבה בלתי חדירה (Impermeable Liner) – זהו המרכיב הקריטי ביותר בכיסוי הסופי. הוא מונע כניסת מים (גשם, נגר עילי) לגוף הפסולת, על ידי עצירת זרימת המים ומניעת חלחול דרך שכבה זו. שכבה זו גם מונעת נידוף גזים לאוויר. השכבה עשויה מחרסית עם מוליכות נמוכה ויריעת פלסטיק.
- שכבת ניקוז (Drainage Layer) – נדרשת באזורים מסוימים של הכיסוי. השכבה מורידה את לחץ המים על שכבת ההגנה שמתחתיה, מגבירה את החיכוך ומורידה את הסיכום להחליק. בכך מסייעת השכבה לנקז את המים ומקטינה את הסיכוי לרווית יתר של קרקעות הכיסוי מעל.
- שכבת הגנה (Barrier Protection Layer) – מגנה על המכשול ההידראולי ממזג אוויר קיצוני, אשר עלול לגרום לשכבות הבסיס להיסדק. השכבה אוגרת עודפי מים עד שהם מתנקזים או נקלטים על ידי צמחים הנשתלים בבסיס. השכבה מורכבת מאדמה בעובי מינימלי של 24 אינץ' (כ- 60 ס"מ), ויש בה מקום לשתילת עצים, המסייעים גם הם ליציבות הקרקע.
- שכבת אדמה (Planting Soil Barrier) – שכבת אדמה עליונה בעובי של 6ft לפחות (1.80 מ'). האדמה בה נעשה שימוש היא טין חולי (Sandy loam), וזאת בשל היכולת למנוע אירוזיה של הקרקע ולשמש מצע טוב לגידול צמחיה. המטרה של שכבה זו היא להגן על שלמות הכיסוי הסופי באמצעות הקרקע והצמחים, אשר מסייעים ליציבות הקרקע ומניעת סחף.

תחזוקה

המטרה היא להקפיד כי כל המערכות יפעלו ביעילות במהלך שנות שיקומה (כ- 30 שנים). לכן יש צורך בתחזוקה שוטפת, ניטור והערכת מצב האתר וכלל המערכות, בעיקר מעקב אחרי הכיסוי העליון, מערכת איסוף הגזים והתשטיפים.

איכות אוויר

על פי חוק אוויר נקי משנת 1970, הסוכנות להגנת הסביבה של ארצות הברית (EPA) הקימה תקנים לאיכות הסביבה האווירית (NAAQS) לשישה מזהמי אוויר להגנה מפני השפעות לרעה על בריאות הציבור ורווחתם. התקנות כוללות הנחיות לפליטות של תרכובות אורגניות שאינן מתאן ושל מתאן. מערכת איסוף הגזים במטמנה כוללת תעלות איסוף המעבירות את הגז לנקודת איסוף אחת או יותר, לייצור חשמל או לשריפה בתנאים מבוקרים. תכנית הניטור הרב שנתית מגדירה את תדירות הניטורים (יומית, חודשית, רבעונית, שנתית) וסוגי המזהמים הנבדקים, אשר מנוטרים באמצעות מערכת של 57 נקודות פליטה ברחבי המטמנה.

מי תהום

למעקב ובקרה על איכות מי התהום הותקנו בשטח המטמנה 238 בארות ניטור למי תהום, מהן 116 רדודות, 61 בעומק ביניים ו- 61 בארות עמוקות. בבארות אלה מבוצע ניטור כל ארבעה חודשים.

ניטור

נקבעה תכנית ניטור רב שנתית למשך 7 שנים, הכוללת בהיבטים הסביבתיים שלה ניטור רבעוני ודיווח של איכות מי התהום, איכות מי נגר עילי, דיגום סדימנטים וניטור גזים נפלטים)

טבלה 3). הדיגום והניטור מבוצע מ- 14 תחנות דיגום, 4 מהן משמשות גם למחקר אקולוגי.

טבלה 3 - סיכום דיווחים וניטור נדרשים עבור מטמנת "Fresh Kills Landfill", סטטן איילנד, ארה"ב (NYC,)
(2002)

Table 2-2
Summary of Post-Closure Reporting and Record Keeping Information

Reporting				
	Document Description	Performance¹ Frequency	Reporting Frequency	Applicable Regulations
1	Final Cover Monitoring Reports	Quarterly	With Registration Renewal	360-2.15(k)(8)
2	Annual Summary Report for Environmental Monitoring	Quarterly	Annually	360-2.15(k)(4)
3	Annual Financial Estimate and Adjustment	Annually	Annually	360-2.19(c)(1)(ii)
4	Registration Renewal	Every 5 Years	Every 5 Years	360-2.15(l)
Record Keeping²				
Category	Document Description	Performance Frequency	Retention Time	Applicable Regulations
General Information	Post-Closure Monitoring and Maintenance Operation Manual	N/A ³	Throughout P-C period (30 years)	360-2.17(k)
	Data Used To Support Permit Application	N/A	Throughout P-C period (30 years)	360-1.14(i)(3)
	Annual Financial Assurance Update	Annual	7 years	360-1.14(i)(4)
	Final Cover Monitoring	Quarterly	7 years	360-1.14(i)(3)
	Registration Renewal	Every Five Years	7 years	360-1.14(i)(4)
Environmental Monitoring	Groundwater Monitoring Results	Quarterly	7 years	360-1.14(i)(4)
	Surface Water Monitoring Results	Quarterly	7 years	360-1.14(i)(4)
	Sediment Sampling Results	Quarterly	7 years	360-1.14(i)(4)
	Landfill Gas Migration Monitoring Data	Quarterly	7 years	360-1.14(i)(4)
	Existing Water Quality Data	N/A	Throughout P-C period (30 years)	360-1.14(i)(4)
Leachate Control	Inspection Records for Leachate Collection and Containment System	Quarterly	7 years	360-1.14(i)(4)
	Summary Report for Maintenance, Operation, and Monitoring Activities.	Quarterly	7 years	360-1.14(i)(4)
Landfill Gas Control	Stack Test Results	One-Time Test	7 years	208.9
	Landfill Cover Inspection	Quarterly	7 years	208.9(e)
	Surface Monitoring	Quarterly	7 years	208.9(e)
	Wellhead Monitoring	Quarterly	7 years	208.9(e)
	Flare Operation Monitoring Records	Monthly	7 years	208.9
	Facility Operation, Maintenance, and Repair Records.	As Needed	7 years	360-1.14(i)(4)

Note:

¹ Task will be performed throughout the post-closure period, except otherwise specified by NYSDEC

² Will be maintained in the Facility Operating Record at The Landfill

³ N/A-Not Applicable

7.3 מטמנת Ottilio, ניו ג'רסי

המטמנה משתרעת על שטח של כ- 24 דונם (6 acres). המטמנה החלה לפעול בתחילת שנות ה-60 של המאה הקודמת והיא פעלה עד לשנת 1979. בסקרי קרקע שבוצעו במטמנה לאורך השנים התגלו ריכוזים גבוהים של חומרים אורגניים נדיפים וחצי נדיפים, חומרי הדברה, מתכות כבדות, דלקים. חומרים אלה התגלו בגוף המטמנה, בסדימנטים, במי תהום ובנגר עילי. בנוסף התגלו אזורים של הטמנת חביות ובתוכם פסולת חומרים מסוכנים מסוגים שונים.

לא נמצא תיעוד של ייעוד הקרקע לאחר השיקום.

בהליך השיקום ננקטו האמצעים הבאים:

- כיסוי המטמנה עם כיסוי של geomembrane בעל חדירות נמוכה.
- חפירה של משקעים וסדימנטים מתעלה שהיתה באזור הכיסוי.
- ניטור ארוך טווח של מי התהום.
- איסוף פאסיבי של גז עם איוורור לאטמוספירה.

הכיסוי של המטמנה הורכב מהשכבות הבאות:

- כיסוי עליון להגן על הממברנה.
- 6 אינץ' קרקע לשתיית צמחים.
- 12 אינץ' קרקע עם קוטר חלקיקים קטן מ- 3/8 אינץ' להגנה על הממברנה.
- רשת פולימרית מפוליאטילן לניקוז מים מעל הממברנה.

שכבות הכיסוי לבידוד הפסולת מהסביבה כללו:

- יריעה בעובי 40 mil עשוי מ- (LLDPE) Low Density Polyethylene
- שכבת איסוף גז על ידי שאיבה פאסיבית והעברת האוויר דרך פחם פעיל.
- 6 אינץ' של קרקע עם קוטר חלקיקים קטן מ- 3/8 אינץ'

7.4 מטמנת GEMS, ניו ג'רסי

המטמנה השתרעה על שטח של 242 דונם (60 acres). היא פעלה מסוף שנות ה-50 של המאה הקודמת עד לסגירתה בשנת 1980. המטמנה הוגדרה כאחד מ- 10 האתרים המזהמים ביותר בניו ג'רסי. שיקום המטמנה נעשה במסגרת הליך ה- Superfund של ה- EPA.

חקירות סביבתיות העלו כי מי תהום, מים עיליים, קרקע וסדימנטים באתר מזהמים עם חומרים אורגניים, מתכות כבדות וחומרי הדברה.

לא נמצא תיעוד של ייעוד הקרקע לאחר השיקום.



בהתבסס על חקירה לבדיקת שיטות ישימות לשיקום המטמנה, ננקטו בתהליך השיקום האמצעים הבאים:

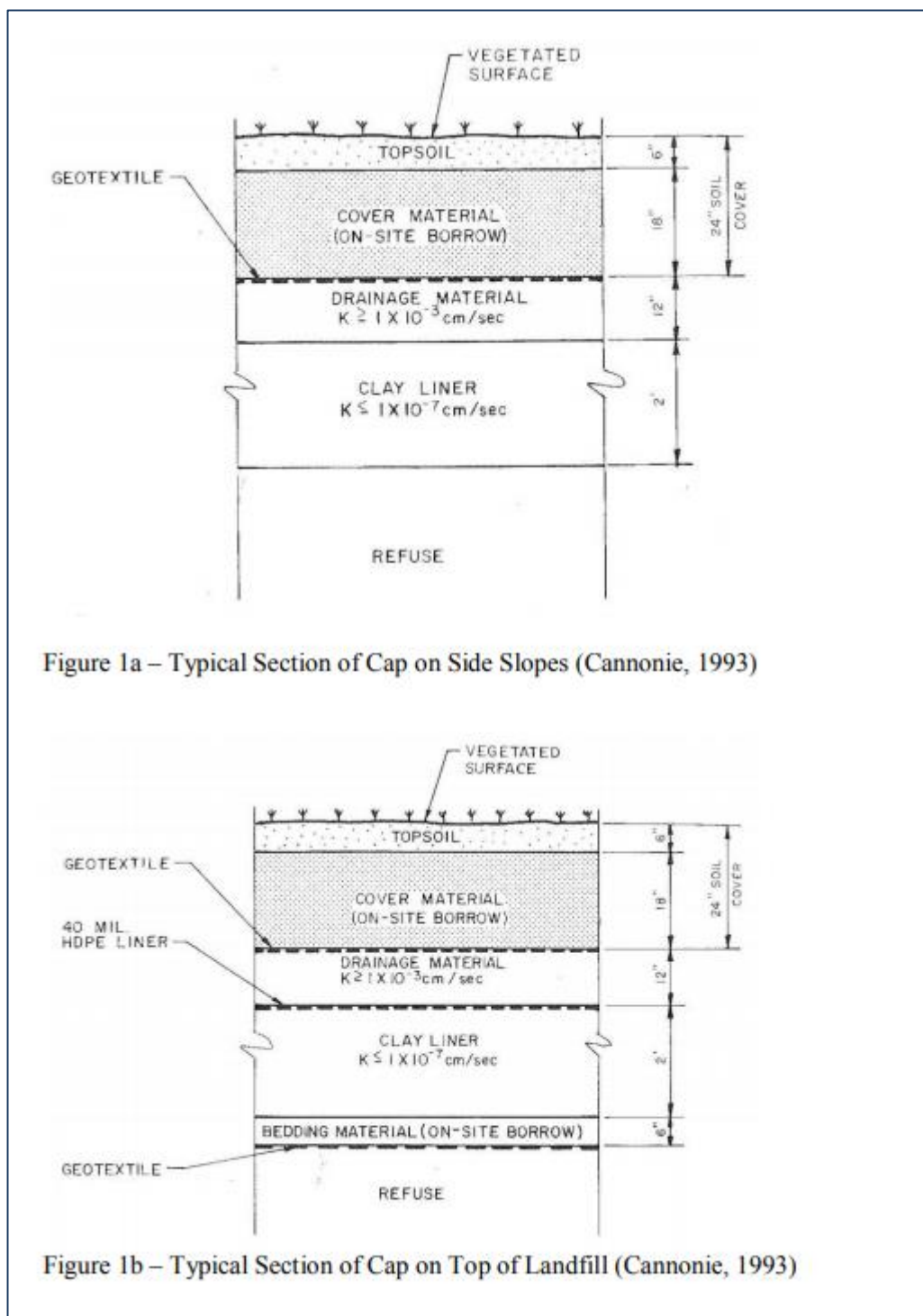
- כיסוי המטמנה עם כיסוי בעל חדירות נמוכה.
- חפירה של סדימנטים מתחת לחלק מאזורי הכיסוי.
- התקנה של מערכת איסוף גזים אקטיבית.
- התקנת מערכות לטיפול במי תהום, תשטיפים ומים עיליים.
- ניטור מי תהום ארוך טווח.

פרופיל הכסוי של המטמנה השתנה כתלות במיקום הכיסוי – במעלה המטמנה או במדרון (תרשים 10). שכבות הכיסוי מלמעלה למטה היו:

- 6 אינצ' של קרקע לשתילה.
- 18 אינצ' של קרקע מקומית.
- בד סינון גיאוטכני.
- 12 אינצ' של קרקע בעל חדירות גבוהה לניקוז.
- 40 mil של יריעת פוליאאתילן (HDPE) (רק במעלה המטמנה ולא במדרונות).
- 24 אינצ' של חרסית בעלת חדירות נמוכה
- 6 אינצ' של שכבת מצע קרקע מהאתר (רק במעלה המטמנה ולא במדרונות).

בנוסף הותקנה ברחבי המטמנה מערכת בארות לניטור מי תהום בתדירות שנתית, וכן הותקנה באר עמוקה למי תהום לתחם את פלומת הזיהום ולנטר את ריכוזי המזהמים.

תרשים 11 - שכבות הכיסוי במטמנת GEMS



מקור: Technical Guidance On The Capping Of Sites Undergoing Remediation. New Jersey Department of Environmental Protection

חברת "אל. די. די. טכנולוגיות מתקדמות בע"מ" התבקשה על ידי המשרד להגנת הסביבה, במסגרת "מכרז פומבי מס' 4/16 לקבלת שירותי ייעוץ מקצועי בתחום קרקעות מזהמות" להכין סקירת ספרות בנושא שיטות כיסוי במטמנות בקרב מדינות ה-OECD וה-EU. מסמך זה מציג את הסקירה המבוקשת. היא כוללת גם סקירה על מדיניות ורגולציה ותאורי מקרה בארה"ב.

הליך סגירת המטמנה הינו הליך מורכב אשר נמשך לרוב מספר רב של שנים, כתלות בגודל המטמנה, בכמות הפסולת המוטמנת בה, בסוגי המזהמים ובריכוזם. ההליך כולל בשלב הראשון ביצוע של חקירה סביבתית מקיפה, להבנת היקף הזיהום בקרקע, גזי קרקע ומי תהום, ובדיקות נוספות נדרשות בהתאם למאפייני האתר. לאחר מכן מוגדרים ומאופיינים הפרמטרים לסגירת המטמנה (ערכי יעד, במידה ומבוצע שיקום), כמו גם המערכות הטכניות וההנדסיות הנדרשות לאיסוף תשטיפים, טיפול בנגר עילי, כיסוי, איסוף גזים נדיפים וכד'. במסגרת זאת, במהלך פעולות שיקום המטמנה מקימים לרוב מערכות (אקטיביות או פאסיביות) לאיסוף גזים הנפלטים מהמטמנה וכן מערכות לאיסוף וטיפול בתשטיפים. בנוסף מוקמים מערכי ניטור של קרקע, גזי קרקע ומי תהום, מוגדרים תדירות הדיגום וסוגי המזהמים הנבדקים, וזאת במטרה לבדוק את יעילות מערכות הטיפול ולעקוב שאין שינוי לרעה במידת הזיהום בסביבה כתוצאה מתהליכים שמתרחשים במטמנה באופן טבעי או מאולץ.

כיסוי היא שיטה בה מקימים חיץ בין הפסולת המוטמנת לבין הסביבה. מטרת הכיסוי הינה לסייע ביציבות המדרון ועמידות המטמנה ומערכותיה לטווח הארוך. אלה מושגים על ידי צמצום חדירת נגר עילי, מניעת שחיקה, והפרדת שכבת הפסולת מהסביבה לשמירה על בריאות הציבור, כמו גם לכידה ומניעת פליטה של גזים מזהמים מהמטמנה לאוויר.

פרק 2 במסמך מציג את הדרכת ביבה הנהוגה באירופה. דריקטיבה זו לסילוק פסולת, מגדירה גם את אופן סגירת מטמנות. במסגרת זאת ניתנים תנאים פרטניים למטמנות הקובעים את הפעולות שיש לבצע במהלך פעולות השיקום לאחר סגירת המטמנה, דרך פעולות ניטור ארוך טווח ועד לסגירתה הסופית. במסגרת זאת מוגדרים פרמטרים לדיגום ותדירות נדרשת, כמו גם הנחיות לכיסוי האתר.

פרק 3 במסמך מציג את הדרכת ביבה הנהוגה בארה"ב. מוגדרת רגולציה של פסולת מסוכנת וסגירת מטמנות מוגדרת ב- RCRA תחת Subtitle C – Hazardous Waste. קיימת הנחייה למערך הכיסוי המיושם במטמנות פסולת מסוכנת (תרשימים 3, 4).

פרק 4 במסמך מציג את הפעולות הנדרשות להשלמת חקירה לפני תחילת שיקום וכיסוי. במסגרת זאת נדרש לבצע דיגום של גוף הפסולת לצורך תיחום הזיהום, בדיקת תשטיפים, ועוד.

פרק 5 במסמך מציג תכנון מערכות כיסוי. הכיסוי מורכב לרוב ממספר שכבות המונחות זו על גבי זו. במסמך מוצגות שיטות שונות של כיסוי.

פרק 6 במסמך מציג מערכות נדרשות לניטור ארוך טווח. מערכות תאלה כוללות ניטור גז מטמנות ומי תהום.

פרק 7 במסמך מציג דוגמאות מאתרים בעולם בהם יושמה שיטת הכיסוי לטיפול במטמנות, כמו גם חקירה לאיפיון האתר וניטור ארוך טווח לאחר הסגירה. הפרק סוקר מטמנת מלטה באירופה ומספר מטמנות בארה"ב, ומציג את השיטות שיושמו בהן לכיסוי, טיפול בגזים, איסוף תשטיפים, ניטור ארוך טווח ועוד.

המלצות לסיכום

על פי הסקירה המובאת במסמך זה, נראה כי שיטת כיסוי מטמנות (קפסולציה) לצורך הסדרתן ושיקומן הינה שיטה מקובלת בעולם ובעלת היתכנות גבוהה ליישום.

טרם ביצוע פעולות שיקום במטמנה נדרש להשלים חקירה סביבתית מקיפה, וזאת על מנת לאפיין את היקף הזיהום, סוגי המזהמים, ריכוזם ופיזורם בשטח המטמנה. לאחר מכן, בהתבסס על ממצאי החקירה הסביבתית ניתן יהיה לתכנן את כיסוי המטמנה, תוך בחינה פרטנית על ידי המתכנן של שכבות הכיסוי המתאימות למטמנה הספציפית בהתאם לממצאי החקירה הסביבתית. בנוסף, נדרש לתכנן מערכות לאיסוף וטיפול בתשטיפים, מערכות לאיסוף וטיפול בגזים נפלטים, ומערכות לניטור אורך טווח של מאפייני המטמנה – קרקע, גזי קרקע ומי תהום.

1. תכנית מתאר מקומית מס' בר/287/1, 2018, שיקום אתר סילוק פסולת "רתמים". הוראות התכנית.
2. ASTDR (Agency for Toxic Substances & Disease Registry) USA. Landfill gas Control Measures, website at: <https://www.atsdr.cdc.gov/HAC/landfill/html/ch5.html>
3. Arab, R., Fourmont, S., Gendrin, P. Lateral and Capping Landfills Drainage with Goecomposites. France.
4. COCOON Interreg Europe website at: <https://www.interregeurope.eu/cocoon/>
5. COCOON 2018. Landfill Management in the Netherlands.. EU Regional Development Fund.
6. Directive 1999/31/EC on the Landfill of Waste. Official Journal of the European Communities, 16.7.1999.
7. eCFR (Electronic Code of Federal Regulations) Nov. 2019, Title 40, Part 258, Subpart F – Closure and Post-Closure Care – Non- Hazardous Waste. web site at: <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=&SID=833a862b4fc90edf63775d112b7cb4e1&mc=true&n=sp40.27.258.f&r=SUBPART&ty=HTML>
8. eCFR (Electronic Code of Federal Regulations) Nov. 2019, Title 40, Part 264, Subpart G – Closure and Post-Closure Care – Hazardous Waste. web site at: <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=&SID=c94567294dff611654af7a3944a91d69&mc=true&r=PART&n=pt40.28.264#sp40.28.264.g>
9. EPA, 1989. Final Cover on Hazardous Waste Landfills and Surface Impoundments. eBook at: https://books.google.com.tr/books?id=ZDTB9CYdqe0C&pg=PA17&dq=fml+drainage+layer&hl=iw&sa=X&ved=0ahUKEwjZiJ_h9PrIAhWDyaQKHZWQAC4Q6AEIKDAA#v=onepage&q=fml%20drainage%20layer&f=false
10. EU Brussels, 2009. Assessing Compliance With and Implementation of the Waste Acceptance Criteria and Procedures by the EU-15. Annex to the Final Report.
11. EU Brussels, 2010. Assessing Compliance With and Implementation of the Waste Acceptance Criteria and Procedures by the EU-12. Final Report.
12. Freshkills Park Organization website at: <https://freshkillspark.org/landfill-engineering/collection-and-processing>
13. German Landfill Directive, 2019. Website at <https://www.pp-deponie.de/en/german-landfill-directive/>
14. Indiana Department of Environmental Management, 2018. Remediation Program Landfills and Open Dumps Guidelines. Office of Land Quality.
15. Mallia, E.A., Pulis, A., Spiteri, L., 2013. The Sant' Antrnin Waste Treatment Plant in Marsascala, Review of Operations. Malta.
16. Malta 2009, To Rehabilitate Existing Unused Dumpsite into a Family Park, Triq Sant' Antrnin, Marsaskala, Malta. Environmental Planning Statement, Addendum. Adi Associates, Environmental Consultants.
17. Meggyes, T., Simmons, E., McDonald, C., 1998. Landfill Capping: Engineering and Restoration – Part 2. Engineering of Landfill Capping Systems.
18. MIT 2004, Solid Waste Landfill Closure under RCRA, Lecture Presentation, website at: <https://ocw.mit.edu/courses/civil-and-environmental-engineering/1-34-waste-containment-and-remediation-technology-spring-2004/lecture-notes/lecture23.pdf>
19. NYC Parks, website at: <https://www.nycgovparks.org/park-features/freshkills-park/about-the-site>

20. New Zealand, 2001. *A Guide for the Management of Closing and Closed Landfills in New Zealand*.
21. NYC, 2002. *Fresh Kills Landfill, Post-Closure Monitoring and Maintenance Operations Manual*
22. Rambol 2019. *European Landfill closure Guidance*.
23. Resource Conservation and Recovery Act (RCRA), EPA website at: <https://www.epa.gov/rcra/resource-conservation-and-recovery-act-rcra-overview#how%20does%20rcra%20work>
24. Revised Final Remedial Investigation Report Ottilio Landfill Newark, New Jersey, 1995 (PDF)
25. Silivie.com news at: <https://www.silive.com/news/2019/07/fyisi-you-asked-whats-going-on-at-freshkills-park-the-smell-is-back.html>
26. Technical Guidance On The Capping Of Sites Undergoing Remediation. New Jersey Department of Environmental Protection. Revision 1.0, 14.7.2014 (PDF)
27. The new-York Times 2013, at: <https://archive.nytimes.com/www.nytimes.com/interactive/2013/09/15/nyregion/from-garbage-to-energy-at-fresh-kills.html>
28. The Publicly Funded Cleanups Site Status Report 2003. New Jersey Department of Environmental Protection's (NJDEP) (PDF)
29. Virginia DEQ, 2001. *Draft Guidance Manual for Closure Plans and Post-Closure Plans for Hazardous Waste Management Facilities*.
30. Wisconsin DNR, 2014. *Reducing or Terminating Groundwater Monitoring at Solid Waste Landfills*.