

המשרד להגנת הסביבה



الوزارة لحماية البيئة
Israel Ministry of Environmental Protection

מסמך מדיניות לקידום הקמת

מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת עירונית בישראל

A POLICY PAPER FOR DEVELOPING
WASTE TO ENERGY FACILITIES IN ISRAEL

2018



מסמך מדיניות לקידום הקמת
מתקנים להשבת אנרגיה
מפסולת עירונית בישראל

A POLICY PAPER FOR DEVELOPING
WASTE TO ENERGY FACILITIES IN ISRAEL

2018

המסמך נכתב על ידי תמר רביב - ראש תחום מיחזור במשרד להגנת הסביבה

צלמים: תמר רביב, גיא סמט, דודו גוזובסקי

עיצוב גרפי: סטודיו *Touch*

6	הגדרות
8	השבת אנרגיה מפסולת עירונית בישראל - עיקרי הדברים
<hr/>	
10	פרק 1 - השבת אנרגיה מפסולת - תיאור כללי
13	פרק 2 - המצב בעולם
19	פרק 3 - מצב הפסולת העירונית בישראל
22	פרק 4 - השוואה בין הטמנת פסולת עירונית לפני טכנולוגית השבת אנרגיה מפסולת
24	פרק 5 - מדינת ישראל - יעדים לניהול פסולת עירונית
29	פרק 6 - הקמת מתקני השבת אנרגיה בישראל
31	פרק 7 - תכנון מתקני השבת אנרגיה בישראל
33	פרק 9 - מעורבות הציבור
35	פרק 8 - סיכום
<hr/>	
36	נספח א' - שלבים טכניים בתפעול מתקן להשבת אנרגיה מפסולת
37	נספח ב' - ערכי סף לפליטות מזהמים על פי הדירקטיבה האירופית להשבת אנרגיה
38	נספח ג' - ניצול אנרגיה במתקן להשבת אנרגיה
43	נספח ד' - פליטות ממטמנות
46	נספח ה' - מודל כלכלי בסיסי להקמת מתקני השבת אנרגיה בישראל

אתר או אתר פסולת

שטח המשמש לטיפול בפסולת, ובכלל זה תחנת מעבר

הטמנה

סילוק פסולת באמצעות הטמנתה בקרקע וכיסייה

הפקת אנרגיה מפסולת

שיטה שנועדה להפיק אנרגיה מפסולת, בצורת חום או חשמל. השיטות להפקת אנרגיה מפסולת כוללות: השבת אנרגיה מפסולת על ידי שריפה, עיכול אנאירובי, גזיפיקציה פירוליזה, פלזמה (שריפה בחום גבוה במיוחד) וביקוע גרעיני של פסולת רדיואקטיבית

השבה

פעולה שנועדה לאפשר שימוש בפסולת, ובכלל זה שימוש המחליף חומר אחר, לרבות טיהור, מיחזור או הפקת אנרגיה לרבות ההליכים המקדימים הנדרשים לצורך כך

טיפול

סילוק או השבה של פסולת, לרבות פעולות הכנה

טיפול תרמי

טיפול בפסולת במגוון טכנולוגיות הכוללות שימוש בחום גבוה, תחת תנאים מבוקרים, לשם הפקת אנרגיה

מיון

הפרדת פסולת לסוגיה

מיחזור

פעולות עיבוד פסולת למוצרים או לחומרים, למעט השבה לאנרגיה

סילוק

פעולה בפסולת שאינה השבה, ובכלל זה הטמנה ושריפה שלא לשם הפקת אנרגיה, גם כאשר בפעולה יש תוצר לוואי של הפקת חומר או אנרגיה

פסולת או פסולת מוצקה

פסולת על כל סוגיה (כולל פסולת עירונית) למעט פסולת רדיואקטיבית

פסולת חקלאית

פסולת מוצקה הנוצרת כתוצאה מפעילות חקלאית, כגון: גזם, יריעות פלסטיק, צנרת השקיה. למעט פסולת מסוכנת ופסולת תעשייתית מאושרת

פסולת יבשה

פסולת שאינה מכילה מרכיבים פריקים ביולוגית רקבוביים ושאינה פסולת תעשייתית מאושרת ופסולת מסוכנת, כגון: פסולת בנין, פסולת אינרטי ופסולת גושית

פסולת מוצקה

כלל השאריות המוצקות הנוצרות כתוצאה מפעילות האדם במקומות חיותו ופעילותו

פסולת מסוכנת

כהגדרתה בתקנות רישוי עסקים (סילוק פסולת חומרים מסוכנים) התשנ"א - 1990

פסולת מעורבת

פסולת המכילה מרכיבים פריקים ובלתי פריקים ביולוגית מעורבים, כגון שאריות מזון, ולמעט פסולת תעשייתית מאושרת ופסולת מסוכנת

פסולת עירונית

פסולת מעורבת הנוצרת במשקי בית או באזורי מסחר ותעשייה, ובאחריות הרשויות המקומיות

פסולת פריקה ביולוגית, פסולת אורגנית או פסולת מתכלה:

פסולת שהרכבה מן החי וכוללת על פי רוב שיירי צמחים ומזון, פסולת גינה (גזם) ופסולת חקלאית. פסולת זו ניתנת ברובה לפירוק על ידי אורגניזמים חיים כגון חרקים, חיידקים ועוד.

פסולת שיורית

הפסולת הנותרת לאחר תהליך מיון או טיפול או שאיננה ניתנת למיחזור

פסולת תעשייתית מאושרת

פסולת העומדת בערכי הסף והקריטריונים להטמנה בתא ייעודי B8 הקבועים בדירקטיבה האירופית בדבר מטמנות פסולת (EC/1991/31) ונספחיה (EC/2003/33) ועדכוניה

צמידות דופן

בהמשך ישיר לשטח המיועד לבינוי שלא למגורים בתכנית מקומית, למעט המשך ישיר למבנה בודד או למקבץ מבנים בודדים שאינם מצויים בהמשך רציף לשטח המיועד לפיתוח או לבינוי

קומפוסטציה

תהליך עיבוד אירובי מבוקר של חומר פריק ביולוגית

תחום התייחסות

שטח המקיף את האתר במרחק 1 ק"מ מגבול האתר המסומן בתשריט

תחנת מעבר

שטח המשמש לפינוי פסולת, למיון פסולת ולהקטנת נפחה

(רוב ההגדרות לקוחות מתמ"א 1)

השבת אנרגיה מפסולת עירונית בישראל

עיקרי הדברים

מסמך זה נועד לסייע למשרד להגנת הסביבה בקידום המדיניות של צמצום ההטמנה של פסולת עירונית, שהמהווה סוג של פסולת מוצקה (Municipal Solid Waste), זאת על ידי יצירת תמהיל טיפול מאוזן הכולל שילוב של טכנולוגיות למיחזור חומרים וקומפוסטציה (Materials Recovery) וטכנולוגיה של השבת אנרגיה מפסולת (Energy Recovery).

בשנת 2016 יוצרה במדינת ישראל 5.3 מיליון טון של פסולת עירונית. אחוז המיחזור בשנה זו היה 21% ושאר הפסולת הועברה להטמנה. למרות שישנה עליה הדרגתית באחוזי המיחזור, שיעור זה נחשב נמוך מאוד ביחס לרוב מדינות המערב וזאת למרות קיומו של היטל הטמנה בישראל, שנועד לשמש ככלי סביבתי ורגולטיבי לצמצום ההטמנה. מצב זה נמשך שנים רבות על אף מאמצי המשרד לצמצום ההטמנה וקידום המיחזור. השבת אנרגיה מפסולת, הנחשבת לאחת השיטות המקובלות והנפוצות בעולם לצמצום ההטמנה, אינה קיימת היום בישראל.

טכנולוגיות לטיפול תרמי בפסולת, ובמיוחד מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת, מסייעות למדינות רבות לטפל בפסולת שאיננה ניתנת למיחזור במקום להטמינה ולהשתמש בפסולת כדלק להפקת אנרגיה. מדינות האיחוד האירופי המצטיינות בצמצום ההטמנה עושות זאת על ידי שילוב טכנולוגיות של מיחזור והשבת אנרגיה, וכן קידום מדיניות של צמצום והפחתה במקור של פסולת. המיחזור כולל ניצול של זרמים ייעודיים והפיכתם לחומר גלם שניוני (זכוכית, נייר, פלסטיק, מתכות וכו') וטיפול בחומר פריק ביולוגי (בשיטות כגון עיכול אנאירובי וקומפוסטציה). הטכנולוגיה העיקרית והמוכחת להשבת אנרגיה מפסולת (Waste to Energy) היא בשיטה של שריפת הפסולת תחת תנאים מבוקרים לצורך הפקת אנרגיה (Incineration). בנוסף, מדינות האיחוד קובעות מנגנונים רגולטוריים התורמים להעלאת שיעורי המיחזור וההשבה כגון היטל הטמנה גבוה, מניעת הטמנה של פסולת פריקה ביולוגית (Bio-degradable Waste) או איסור הטמנה של פסולת לא מטופלת (Untreated Waste). מדינות כגון שוודיה, דנמרק, גרמניה והולנד נהנות מהתמורות הגבוהות ביותר מהפקת אנרגיה מפסולת באירופה, אך גם מציגות את שיעורי המיחזור הגבוהים ביותר, דבר שמחזק את ההנחה שפעולות מיחזור והשבת האנרגיה מפסולת הינן פעולות משלימות ויכולות להתקיים זו לצד זו מבלי שהאחת תבוא על חשבון השנייה.

מתקני ההשבה הפועלים באירופה כיום תחת הנחיות הדירקטיבה האירופית (IED) ונדרשים לעמוד בתנאים המחמירים ביותר לעניין מניעת פליטות ומזהמים. הטכנולוגיות לטיפול בפליטות יעילות ביותר ומאפשרות למתקנים אלו לעמוד בהיתרי הפליטות ואף להציג תוצאות הרבה יותר טובות מהנדרש.

יחד עם זאת, ברוב מדינות העולם, הטמנת פסולת היא עדיין החלופה הנפוצה ביותר וכאמור, כ-80% מכלל הפסולת בישראל עדיין מוטמנת. מזה שנים רבות למדינת ישראל ברור כי הטמנה איננה חלופה סביבתית ראויה לטיפול בפסולת. למעלה משני עשורים מכון המשרד ליצירת שוק פסולת המתבסס על מיון ומיחזור פסולת במטרה להגדיל את שיעורי המיחזור. כל זאת במטרה לשינוי בהרגלי הצריכה וההתנהגות של התושבים, אכיפת חוקי אחריות יצרן מורחבת ונקיטת צעדים להתייעלות מערך ניהול הפסולת.

הקמת מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת עירונית עתידה להוות חלופה ממשית להטמנת הפסולת בישראל ולצמצום הנזקים הסביבתיים הנלווים להטמנה. בהתאם לגידול האוכלוסין וכמות הפסולת הצפויה עד לשנת 2030, הערכות המשרד להגנת הסביבה הן כי יש צורך בהקמת עד 3 מתקני השבת אנרגיה בפריסה ארצית ובקרב מרכזי ייצור הפסולת ולפחות 2 מתקנים נוספים בטווח הרחוק.

המשרד להגנת הסביבה רואה בהקמת מתקנים אלו תשתית לאומית בלתי נפרדת משאר תשתיות הטיפול בפסולת. יחד עם זאת, עלויות ההקמה והתפעול הגבוהות של מתקנים להשבת אנרגיה עלולה להקשות על הכדאיות הכלכלית של הקמת מתקנים מסוג זה על ידי המגזר הפרטי. משכך, סבור המשרד שיש צורך בתמיכה ממשלתית משמעותית להנעת השוק ולעידוד הקמתם של מתקנים אלו, במסגרת מנגנון המשלב השקעות של המגזר הציבורי והפרטי דוגמת PPP (Public Private Partnership). המשרד רואה לנכון לפעול ואף ליזום את התכנון וההקמה של שלושת מתקני ההשבה הראשונים בישראל על מנת לייצר שוק חדש וביקוש לטכנולוגיה מסוג זה.

מסמך זה מתבסס על מידע רב שנאסף בעבודת מטה של אגף פסולת לאורך שנים, מגופים רשמיים בתחום כגון סוכנות הסביבה האירופית, OECD, CEWEP, ISWA, וכן ממידע שהתקבל ממומחים בתחום ניהול פסולת והשבת אנרגיה מגרמניה, אוסטריה ובריטניה שיעצו למשרד להגנת הסביבה במסגרת פרויקט TWINNING שהתבצע בשנים 2015-2017 במימון האיחוד האירופי.



תמונה מס' 1: Spittalau Waste to Energy, Vienna, Austria

השבת אנרגיה מפסולת

תיאור כללי

הטיפול התרמי (Thermal treatment) מתייחס למגוון טכנולוגיות לטיפול בפסולת הכוללות שימוש בחום גבוה תחת תנאים מבוקרים, בדרך כלל לצורך הפקת אנרגיה. תחת השיטה נכללות בין היתר הטכנולוגיות הבאות: שריפה - Incineration (עם או בלי השבת אנרגיה), גזיפיקציה, פירוליזה והידרוליזה. הפסולת המתאימות לשימוש בטכנולוגיות אלו מגוונות: פסולת עירונית/ביתית, פסולת רפואית, פסולת חקלאית, וחלק מהפסולת התעשייתית והמסוכנת. ההתאמה לשיטה תלויה בין היתר בסוג הפסולת, במידת ההומוגניות של הפסולת ובערך הקלורי שלה.

השבת אנרגיה מפסולת הינה שיטה ותיקה יחסית, וכבר לפני מעל מאה שנה הוקמו באירופה המתקנים הראשונים לצורך התמודדות עם בעיות תברואתיות הנובעות מהצטברות פסולת עירונית בריכוזי אוכלוסייה. מאז ועד היום חלו תמורות רבות בתחום, ובמיוחד במניעת פליטות של מזהמים שונים והתייעלות לצורך הפקת אנרגיה ליצירת חשמל או חום לשימוש ביתי או תעשייתי. כיום, הטכנולוגיה המובילה היא Incineration עם הפקת אנרגיה ונחשבת למוכחת והאמינה ביותר בתחום הטיפול התרמי ואמצעי יעיל לטיפול בפסולת שאיננה ניתנת למיחזור או לפסולת שיריית (Residual Waste) לאחר שעברה תהליך מיון. הטכנולוגיה הנפוצה ביותר היא ה- Grate Combustion אך קיימות שיטות נוספות כגון מצע מרחף (Fluidized Bed) ורשת נעה (Moving Grate).

טכנולוגיות אחרות לטיפול תרמי כגון גזיפיקציה, פירוליזה הן שיטות חדשות יותר להפקת גז מפסולת. בעולם ישנם מתקנים בודדים שהצליחו ורוב המתקנים מטפלים בפסולת הומוגנית או שהם בחזקת מתקני ניסוי קטנים שעוברים התאמה לפסולת עירונית. טכנולוגיות פירוק גזי אצילות כגון פלסמה או הידרוליזה, ישימות עוד פחות מהקבוצה הנזכרת לעיל. באופן כללי ניתן להגיד שלמרות היתרונות הסביבתיים, טכנולוגיות אלו אינן מוכחות דיין לטיפול בפסולת עירונית ובמיוחד בטיפול בכמויות גדולות של פסולת שהרכבה איננה הומוגנית. במדינות כגון גרמניה ובריטניה נסגרו בשנים האחרונות מתקנים רבים בעקבות כשלים טכניים או הפסדים כלכליים. בעיקרון, לעומת טכנולוגית השבת אנרגיה (בשיטת Incineration), הקמת מתקנים בטכנולוגיות אחרות של טיפול תרמי כוללות סיכונים גבוהים יותר מבחינת פוטנציאל ההחזר על ההשקעה, היעדר רווחיות ורמת רגישות גבוהה לסוגי הפסולת המטופלת במתקן הגורמת לכשלים טכניים.

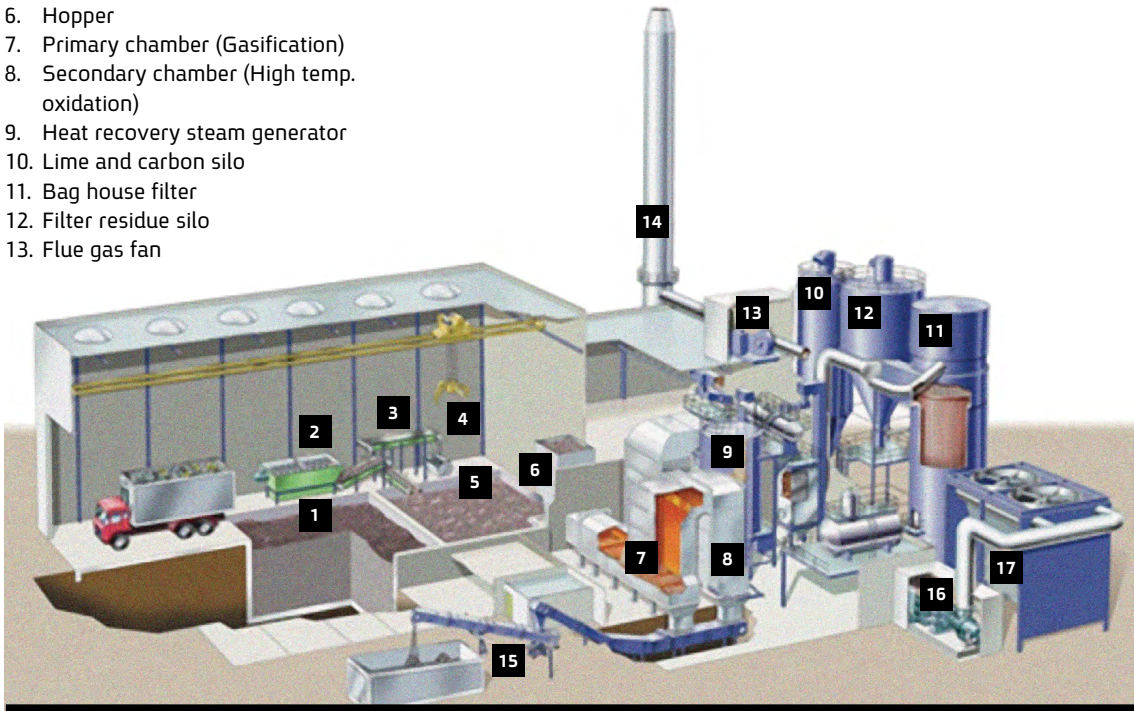
לאור זאת, ובהתחשב במידת הנחיצות לקידום טיפול תרמי בישראל, המשרד להגנת הסביבה סבור כי השבת אנרגיה מפסולת בשיטת Incineration תהיה היעילה והכלכלית ביותר מבין השיטות הקיימות בשוק.

המטרה בשריפת הפסולת היא לצמצם את נפחה ומשקלה ולהפיק אנרגיה. לרוב, הפסולת העירונית המגיעה למתקן סגור ומוזנת לתא הבעירה ללא כל עיבוד נוסף. תהליך הבעירה מתבצע באופן מבוקר בתא בו מתרחשת שריפת הפסולת בטמפרטורה גבוהה (800-1000 מעלות צלזיוס) ובעודף חמצן באמצעות הזנת אויר ולעיתים תוספת של דלק עזר. החומרים שניתנים למיחזור (כגון פלסטיק, נייר וקרטון, זכוכית, מתכות, וחומר אורגני) מחולצים קודם לכן בהסדר הפרדה במקור או במתקני מיון. הפסולת השיריית שאיננה ניתנת למיחזור מועברת לשריפה במתקן השבה.

האנרגיה המופקת בתהליך משמשת לייצור חשמל או חום. עם סיום התהליך, הפסולת מצטמצמת לכ-10% מנפחה המקורי ולכ-20% ממשקלה. ותוצרי הלוואי של התהליך הם בעיקר אפר ומתכות.

איור מס' 1: מתקן השבת אנרגיה מפסולת¹

- | | |
|---|---------------------------|
| 1. Waste Bunker | 14. Stack |
| 2. Shredder | 15. Bottom ash extraction |
| 3. Metal extraction conveyor | 16. Steam turbine |
| 4. Fuel crane | 17. Air cooled condenser |
| 5. Fuel Bunker | |
| 6. Hopper | |
| 7. Primary chamber (Gasification) | |
| 8. Secondary chamber (High temp. oxidation) | |
| 9. Heat recovery steam generator | |
| 10. Lime and carbon silo | |
| 11. Bag house filter | |
| 12. Filter residue silo | |
| 13. Flue gas fan | |



בכל מתקן השבת אנרגיה יש חמישה שלבים עיקריים (פירוט התהליך מצורף בנספח א'):

1. קליטת הפסולת בבור קליטה וערבוב
2. בעירה תחת תנאים מבוקרים
3. הפקת אנרגיה
4. טיפול בפליטות ואיסוף האפר והמתכות
5. מיחזור של אפר ומתכות

תוצרי השריפה

שאריות השריפה כוללות 3 סוגי תוצרים: אפר, מתכות וגזים.

1. אפר תחתי (Bottom ash) - חומר הטרוגני היוצא מתנור השריפה (Grate Ash) הנאסף מתחת לתנור (grate sifting). בנוסף, יש אפר הנאסף במערכות יצור האנרגיה ומפונה להטמנה באתר פסולת או ממוחזר כחומר גלם לתשתיות. אפר זה מהווה בין 15 ל 20% מהתוצרים.
2. אפר מרחף (Fly Ash) - אלה החלקיקים המסולקים מזרם הגז לפני הוספת חומרים סופחים אחרים וכן, שאריות מערכת טיהור האוויר הכולל את כל החומרים הנאספים מהמסננים ומהמשטפים (scrubbers) וכולל גם בוצת מסננים. תוצר זה מהווה כ 5% מהתוצרים ומסולק בדרך כלל לאתר פסולת מסוכנת.
3. מתכות - רוב המתכות נאספות ומיועדות למיחזור
4. גזי שריפה (flue gas) - פליטות המסוננות ומטופלות

פליטות

מתקן להשבת אנרגיה מפסולת בשיטת Incineration מתוכנן לעמוד בתקני איכות אויר המחמירים ביותר במטרה לטפל בפליטות של מזהמים באופן המקסימלי ולמנוע מפגעים סביבתיים. הפליטות במתקנים מבוקרים ומנוטרים באופן רציף בעזרת מערכות מתקדמות לניטור אוויר וכן מנוטרים באופן תקופתי פתחי הארובות.

הדירקטיבה האירופית לפליטות מתעשייה ה-IED (Industrial Emission Directive 2010/75/EU), כוללת הנחיות לטיפול בפליטות מזהמים ממתקני שריפת פסולת להשבת אנרגיה. הדירקטיבה קבעה כי כל המתקנים יתוכננו, ייבנו ויופעלו באופן כזה שלא יחרגו מערכי הסף שנקבעו בחלק 3 של נספח 6 (Annex VI) בדירקטיבה. המזהמים העיקריים הינם: דיאוקסינים ופורנים, חלקיקים, תרכובות אורגניות (TOC), פחמן חד חמצני (CO), תחמוצות גופרית (SOx) ותחמוצות חנקן (NOx), גזים חומציים (HCl, HF), Cadmium (Cd), Thallium (Tl), ומתכות כבדות: Mercury (Hg), Antimony (Sb), Arsenic (As), Lead (Pb), Chromium (Cr), Cobalt (Co), Copper (Cu), Vanadium (V), Nickel (Ni), Manganese (Mn). הריכוזים המקסימליים של המזהמים מוגדרים כתקני פליטה שאין לחרוג מהם ומופיעים בנספח האמור.

במתקנים המתקדמים להשבת אנרגיה, קיימות טכנולוגיות הנדסיות מורכבות שמטרתם למזער את הפליטות לאוויר ולייעל את תהליכי יצירת האנרגיה בדרכים ידידותיות לסביבה ותחת תנאים מבוקרים ומחמירים ביותר. מערכת הפליטות (Flue Gas System) מנטרלת את החומרים המסוכנים. מערכות אלו מורכבות מטכנולוגיות שונות, כגון מערכות שיקוע מכאניות, מערכות שיקוע אלקטרוסטטיות; מערכות שיקוע רטובות למשקעים (scrubber), ועוד.

בישראל, פעילות שריפת פסולת בשיעור העולה על 3 טון/שעה הינה פעילות טעונת היתר לפי חוק אוויר נקי (התשס"ח - 1998) המבוססת על ערכי הסף שנקבעו בדירקטיבה האירופית ה-IED. לפיכך, מתקני ההשבה שיקומו בישראל יצטרכו לעמוד בחוק אוויר נקי ויוקמו בהתאם ל-Best Available Technology. תנאי לקבלת היתר בניה הינו הגשת בקשה להיתר פליטה ותנאי להפעלת המתקן הינו קבלת היתר פליטה לאוויר. חוק אוויר נקי (סעיף 23(ד)) מאפשר קיומו של הליך משותף לאישור תכנית והיתר פליטה יחד.

נספח ב' - מפרט את סף הפליטות המקסימלי (Air Emission Limit Values) עבור מזהמים ממתקני השבת אנרגיה לפי חלק 3 של נספח 6 של הדירקטיבה האירופית ה-IED.



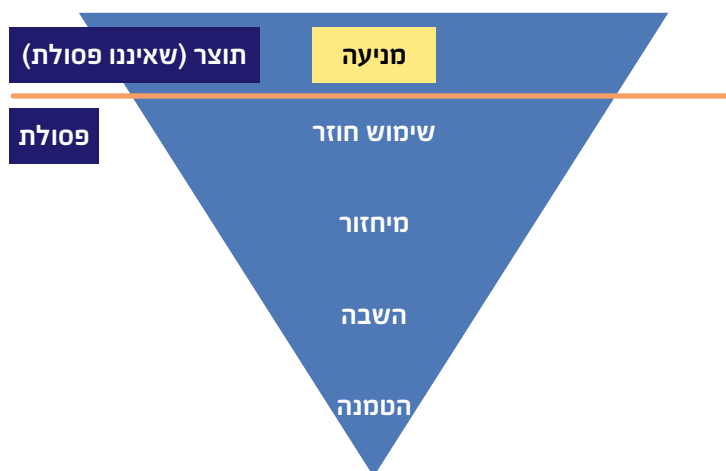
תמונה מס' 2: HVC Waste to Energy Alkmaar, The Netherlands

המצב בעולם

ברוב המדינות המתקדמות קיים תמהיל לטיפול בפסולת עירונית המשלב הן טכנולוגיות למיחזור (מיחזור חומרים וקומפוסטציה) והן להשבת אנרגיה (Energy Recovery). הניסיון מראה כי באיחוד האירופי הטיפול המשולב בפסולת היא השיטה המוצלחת ביותר לצמצום ההטמנה. בדירקטיבה לפסולת של האיחוד האירופי² נקבע כי סולם העדיפויות לטיפול בפסולת מתבסס על היררכיית הטיפול בפסולת (The Waste Hierarchy), כאשר החלופה הטובה ביותר היא הפחתה במקור על ידי הימנעות מיצירת פסולת (Prevention) והחלופה הגרועה ביותר היא ההטמנה (Disposal). לאחר שנוצרת הפסולת, יש לקדם את השימוש החוזר (Re-use) בחומר המיוצר, במטרה להפחית את הצורך בניצול חומרי הגלם הבתוליים. הצעד השלישי הוא מיחזור חומרים (Recycling) וכן קומפוסטציה ועיכול אנאירובי לטיפול בחומר הפריק ביולוגית. הצעד הרביעי הוא השבת אנרגיה מפסולת (Recovery) והצעד האחרון, לאחר שמוצו כל שיטות הטיפול האחרות הוא סילוק סופי של הפסולת להטמנה. יעד האיחוד האירופי לטיפול בפסולת העירונית לשנת 2030 הוא 10% הטמנה בלבד, וכל מדינות האיחוד (EU-28) נדרשות להמשיך במאמצים למציאת פתרונות לפסולת על מנת לעמוד ביעד זה.

יש לציין כי, שנים רבות של הטמעת מדיניות, פיתוח תשתיות וחקיקה תומכת.

איור מס' 2: היררכיית הטיפול בפסולת - The Waste Hierarchy³



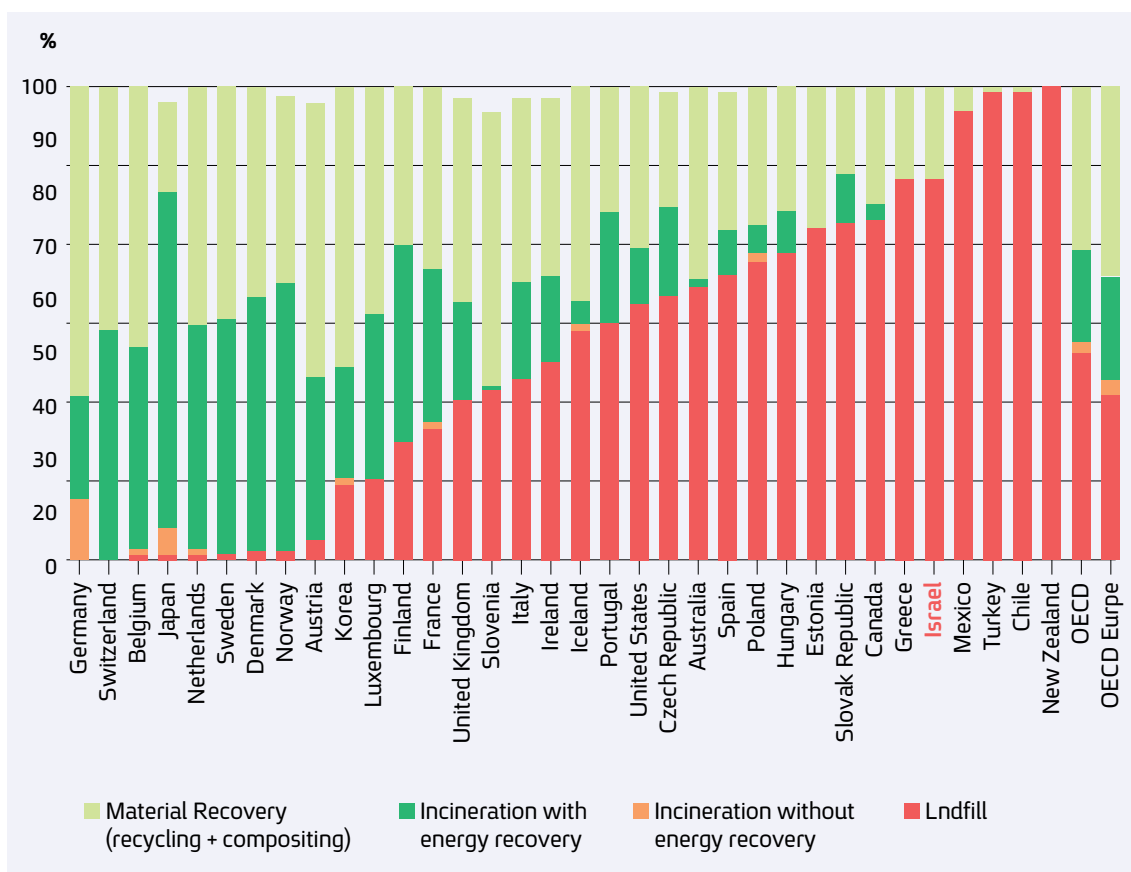
באופן כללי, הניסיון האירופי מראה כי הפרדת הפסולת במקור (כגון אריזות, זכוכית, פלסטיק, מוצרים אלקטרוניים, שאריות מזון וגזם עירוני) היא המנגנון המרכזי שבעזרתו מדינות האיחוד מתקדמות לעבר עמידה ביעדי המיחזור. רוב המדינות באיחוד האירופי עושות כל מאמץ לעמוד ביעדי המיחזור המתגברים גם כן, אך שואפות לכך שגם שוקי השבת האנרגיה המקומיים יפרחו. בהתאם לכך, הוקמו בעשורים האחרונים באירופה עשרות מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת, ואחרים שודרגו על מנת לעמוד בסטנדרטים המחמירים של הדירקטיבה האירופית בעניין הפליטות. יחד עם זאת, ועל מנת למנוע הסתה של הפסולת ממיחזור, קבע האיחוד האירופי יעד מיחזור שאפתני של 65% בשנת 2030 ואף מתכוון להעלות יעד זה בעתיד.

על בסיס יעדים אלו תשתית מפותחת לניהול משולב של פסולת צריכה להתבסס על טיפול בפסולת השיורית שאיננה ניתנת למיחזור (Residual waste). או שאינם בעלי ערך כלכלי, ולכן השימוש בהם כדלק נחשב לאפשרות הטובה ביותר.

מיחזור והשבת אנרגיה במדינות ה-OECD

הגרף הבא⁴ מתאר את תמהיל השיטות לטיפול וסילוק פסולת עירונית (2015) במדינות ה-OECD. מדינות בולטות תחום המיחזור וההשבה הן שווייץ, גרמניה, בלגיה, יפן, הולנד, שוודיה, דנמרק, נורבגיה ואוסטריה. נכון לשנת 2015, קיימים ברחבי העולם יותר מ-2,200 מתקני השבת אנרגיה, המטפלים בכ-300 מיליון טון של פסולת עירונית בשנה, כמות המהווה כ-6% מהפסולת העולמית.

גרף מס' 1: אחוזי המיחזור, ההשבה והסילוק מסך הפסולת העירונית ב-OECD⁵



כפי שניתן לראות על פי הדוח, ממוצע ה-OECD להטיפול בפסולת עירונית הוא כדלקמן:

כ-35% מפסולת העירונית עוברת למיחזור

כ-20% מהפסולת העירונית עוברת להשבת אנרגיה

כ-45% מהפסולת העירונית עוברת לסילוק (הטמנה או שריפה ללא השבת אנרגיה (כ-2%).

במדינות האיחוד האירופי השייכות ל-OECD המצב קצת יותר מתקדם: כ-40% מהפסולת עוברת למיחזור וכ-25% מהפסולת עוברת להשבה.

מתקני השבת אנרגיה באירופה

במרבית 28 מדינות האיחוד האירופי (EU) ישנם מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת, ובסך הכל יש באירופה בלבד למעלה מ-400 מתקנים, חלקם ממוקמות במרכזי הערים כגון וינה, פריז, לונדון, ברלין, אמסטרדם, ודבלין. במקרים רבים, המתקנים זוכים גם לעיצוב אדריכלי מרשים ומיצוב הופכים אף לאתרי ביקור לתיירים. הרציונל העומד מאחורי הקמת מתקנים במרכזי הערים הוא הרצון להימנע משינוע הפסולת וטיפול בפסולת בקרבת מקום היוצרותה. בערים אחרות, המתקנים ממוקמים באזורי תעשייה או נמל או בשולי העיר. כל המתקנים

פליטות) ולפיכך מתקני ההשבה מייצרים (באופן חלקי) אנרגיה מתחדשת המבוססת על ביומסה, אשר מקזזת את גזי החממה הנפלטת מתחנות כוח פחמיות, נפט וגז טבעי. מכיוון שכך, השבת אנרגיה מפסולת יכולה להחליף את השימוש בדלקים פוסיליים, ולתרום לצמצום פליטת CO₂. לדוגמה: טון אחד של פסולת עירונית = 35 גלון של נפט = 0.25 טון של פחם לחימום.⁶

למידע נוסף על ניצול אנרגיה במתקני השבת אנרגיה מפסולת - ניתן לפנות ל**נספח ג'**.



תמונה מס' 3: Copenhill Amager Bakke WtE Copenhagen Denmark

חקיקה תומכת

ברוב מדינות האיחוד האירופי, קיימת חקיקה המחזקת את מדיניות המיחזור ומונעת את האפשרות שההטמנה תהיה חלופה זולה יותר מסילוק פסולת... הכלי העיקרי הוא העלאת היטל ההטמנה וכלי נוסף הוא איסור הטמנה של פסולת פריקה ביולוגית (Bio-degradable) או פסולת שאינה מטופלת. חוקים אלו גורמים לכך שהטיפול בפסולת מסתיים בהטמנת כמות קטנה של פסולת שאינה ניתנת לטיפול או מיחזור. מאז החלת איסור ההטמנה של פסולת לא מטופלת באירופה, החלה תעשיית השבת האנרגיה לפרוח ובעשור האחרון בלבד הוקמו עשרות מתקנים חדשים. זאת לצד כלים רגולטוריים לעידוד המיחזור.

שוק השבת אנרגיה מפסולת

כעקרון, תחום הטיפול בפסולת באמצעות השבת אנרגיה מתפתח באופן משמעותי במדינות אשר הכלכלה שלהן מפותחת או בהן הרגולציה של הטיפול בפסולת מחמירה יותר. לדוגמא, בגרמניה, שבה חל איסור הטמנה של פסולת עירונית, ישנם כ-100 מתקני השבת אנרגיה מפסולת. בשנת 2015, שווי השוק (מחזור הכספים) של תחום זה עמד על כ-25 מיליארד דולר, והוא צפוי לגדול ולהגיע לכ-36 מיליארד דולר בשנת 2020, המהווה גידול שנתי של כ-7.5%. כמות האנרגיה המופקת ממתקני השבה באירופה ממשיך לעלות מידי שנה. בשנת 2006 הופקו 38 מיליארד קוט"ש וב-2020 צפויים לייצר כ-67 מיליארד קוט"ש ואף יותר.

היתרונות בהשבת אנרגיה מפסולת

- צמצום ההטמנה של פסולת שירית שאיננה ניתנת למיחזור - הקטנת נפח הפסולת ב-70-90%.
- הפחתת פליטות גזי חממה הנפלטות ממטמנות כגון CO_2 ומתאן (CH_4)
- מקור אנרגיה חלופי: חיזוק משק החשמל המקומי ותרומה לביטחון האנרגטי של המדינה.
- ניצול הפסולת כמקור אנרגיה לחשמל או חום: מהווה תחליף (חלקי) לדלק פוסילי
- מתקן להשבת אנרגיה מפסולת יכול להיות ממוקם בקרבת למרכז היווצרות הפסולת - בתוך הערים או באזורי התעשייה, דבר המאפשר חיסכון משמעותי בעלויות הובלה ושינוע.
- האפר הנוצר בתהליך ההשבה מנוצל כחומר גלם בתשתיות, סלילת כבישים או ככיסוי למטמנות.
- ניתן לחלץ מתכות למיחזור.
- תפיסת שטח קטנה יחסית - תרומה לצמצום שטחי ההטמנה.
- הקטנת מפגעים סביבתיים הנובעים מהטמנה כגון זיהום מי תהום, מפגעי ריח ומזיקים. הסיכוי למפגעים אלו קיים גם במטמנות המוקמות בסטנדרטים גבוהים ביותר.
- תרומה לכלכלה על ידי יצירת משרות "ירוקות", וספקי שירותים ומוצרים במעגל השני. לדוגמה, על כל משרה בתעשיית ההשבה מיוצרות 1.6 משרות מחוץ לתעשייה זו. כמו כן, מדובר בתעשייה הנדסית וטכנולוגית מתקדמת הדורשת מגוון גדול של הכשרות לעומת ההטמנה.
- התעשייה מזרימה כסף רב לכלכלת המדינה על ידי רכישת חומרי גלם, שירותים ותשלומי מס.

אתגרים:

- עלות הקמה ותפעול גבוהים.
- איתור מיקומים והקמה במרכזי יצירת הפסולת (איזורי הביקוש)
- לרוב, תהליכי התכנון, המיכרוז וההקמה של פרויקטים מסוג זה ארוכים
- הערך הקלורי הממוצע צריך לעמוד על 7 MJ/Kg והערך המינימלי לא ירד מ-6 MJ/Kg. (בישראל, הרכב הפסולת הוא בעל הערך הקלורי הנדרש עבור הזנת מתקני ההשבה).
- דרוש צוות עובדים מיומן לתפעול ותחזוקת המתקן.
- הבטחת אספקה קבועה של פסולת למתקן
- ההקמה עלולה להיות מלווה בהתנגדות ציבורית (NIMBY-ו)

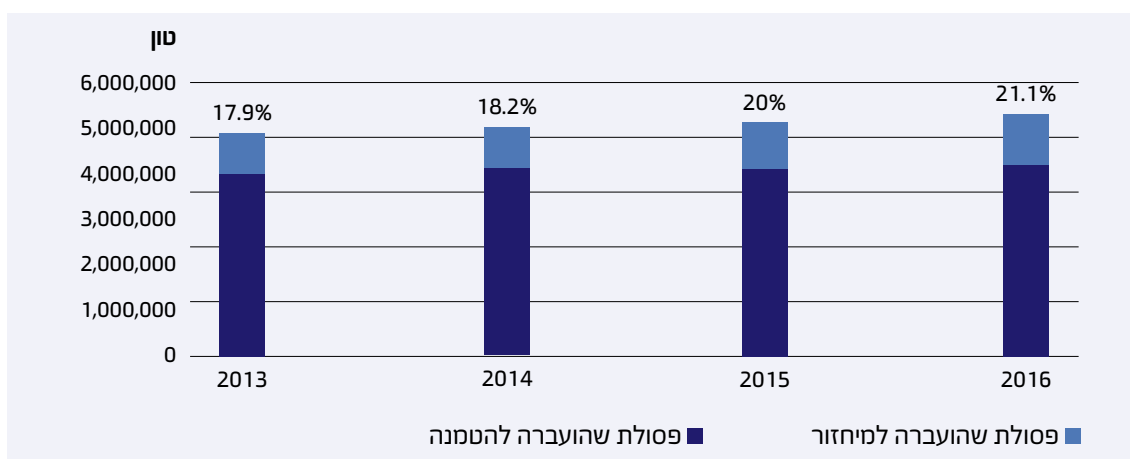


1. מרכז בקרה - מתקן השבת אנרגיה 2. Covanta Waste to Energy Luxembourg 3. Leudelange Waste to Energy Luxembourg 4. HVC Alkmaar The Netherlands 5. Energy Dublin Ireland

מצב הפסולת העירונית בישראל

על פי נתוני הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, כיום בישראל כמות הפסולת העירונית שנוצרה בשנת 2016 היתה כ-5.3 מיליון טון, וממשיכה לעלות באופן הדרגתי. כ-21% מן הפסולת העירונית הועברה למיחזור, והשאר להטמנה. קצב גידול האוכלוסין בישראל עומד על כ-1.8% בשנה, וצפי העלייה בכמות הפסולת העירונית בהתאמה. על פי הערכת המשרד להגנת הסביבה, כמות הפסולת העירונית תעלה לכ-6.7 מיליון טון בשנת 2030.

גרף מס' 3: הטיפול הפסולת בישראל בשנים 2013-2016



יש להדגיש כי למרות שהיטל ההטמנה בישראל עלה באופן הדרגתי בין השנים 2007-2017, הוא עדיין נמוך משמעותית מהמקובל במדינות המפותחות ובמצב זה ההטמנה נשארה חלופה בת תחרות למיחזור. כמו כן, בישראל לא קיים חוק מיוחד האוסר על הטמנה של פסולת לא מטופלת, אך משנת 2020 יכנס לתוקפו האיסור על הטמנת פסולת אריזות ואיסור הטמנה של פסולת אלקטרונית ייכנס לתוקף בשנת 2021.

מיחזור בישראל

בשנים האחרונות מדיניות הטיפול בפסולת של המשרד להגנת הסביבה היתה עם דגש להפרדת פסולת עירונית במקור לפי זרמים שונים כגון נייר וקרטון, פלסטיק, זכוכית וחומר אורגני (פריק ביולוגית) והפניית פסולת שחולצה למפעלי המיחזור ולמתקני הקצה לסוגיהם. לשם כך נדרשות תשתיות הפרדה ברשויות המקומיות וכן הקמת מתקני מיון אזוריים ברמה טכנולוגית גבוהה.

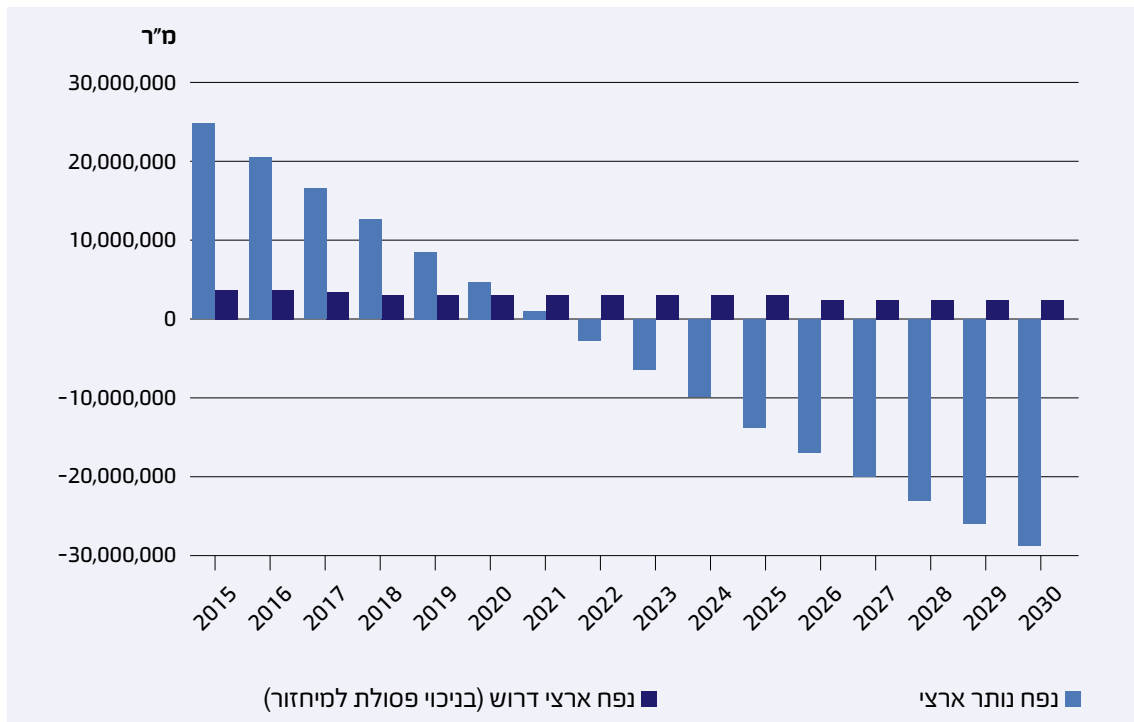
לפיכך, המשרד תמך בפרויקטים של מיחזור והפרדת פסולת במקור ובהקמת מתקנים לטיפול בפסולת וממשיך לעודד את שוק המיחזור המקומי על ידי מתן תמריצים באמצעות קולות קוראים לרשויות המקומיות להעלאת שיעורי המיחזור. יחד עם זאת, הפסולת השירית, שאינה ניתנת למיחזור (מסיבות כלכליות או טכנולוגיות) צריכה להיות מופנית, בהתאם להיררכית הטיפול בפסולת, לייצור אנרגיה כחלופה מועדפת על פני הטמנה.

הטמנה בישראל

בישראל ישנם כיום 13 מטמנות מאושרות לקליטת פסולת עירונית, בעיקר בדרום הארץ. בצפון הארץ עתידות להיסגר רוב המטמנות בשנים הקרובות. רוב הפסולת משונעת ממרכז הארץ לאתר ההטמנה אפעה שבמישור רותם בדרום.

יתרת נפחי הטמנה בישראל מצומצמת מאוד ועל פי תחזית המשרד להגנת הסביבה, השטח הקיים יספיק עד שנת 2024.

גרף מס' 4: השוואה בין נפח הטמנה קיים ודרוש עד לשנת 2030



באזורים מאוכלסים בצפיפות, במיוחד במרכז הארץ, חיפה ואזור ירושלים, אין שטחי הטמנה. רוב הפסולת משונעת כ 150 ק"מ בממוצע לדרום הארץ. במצב זה, עלויות שינוע הפסולת וכמות הפליטות ממשאיות גבוהים. השטח להטמנה הנדרש בישראל ל-20 שנה הקרובות מוערך בכ-2,500-4,000 דונם ולא קיימים אתרי הטמנה חדשים. בראייה לטווח רחוק, לא מדובר בשטח קטן, והנזקים הסביבתיים מהטמנה יימשכו לאורך עשרות שנים.

ההשלכות הסביבתיות של הטמנת פסולת

לפסולת העירונית השפעות סביבתיות, חברתיות וכלכליות רבות, המציבות אתגרים רבים בכל מדינות העולם. הרשויות המקומיות נאלצות להתמודד עם כמות פסולת הולכת ועולה ביחס לעלייה ברמת החיים ולגידול האוכלוסין (במיוחד בערים), ולהתייעל במערכי האיסוף, הטיפול וסילוק הפסולת בתחומן. הטמנת פסולת היא השיטה הפשוטה, הנחותה ובעלת ההשפעות הסביבתיות השליליות הרבות ביותר מבין השיטות השונות הקיימות כיום לטיפול בפסולת עירונית. במשך שנים רבות, המזבלות (אתרי הטמנה לא מוסדרים) היו הבחירה הראשית בכל העולם לסילוק פסולת עירונית, אך בעשורים האחרונים חל שינוי משמעותי במטרה לצמצם עד כמה שניתן את ההטמנה. ההשלכות הסביבתיות של ההטמנה כוללות פליטת גזי חממה וזיהום אוויר כתוצאה מפליטת גזים מסוכנים אחרים, תפיסת שטחי קרקע המהווים משאב במחסור (בשל צורך מתמיד בשטחי הטמנה נוספים והרחבת אתרים קיימים), זיהום קרקע ומי תהום, פגיעה נופית, מטרדי ריח, מוקדים למשיכת מזיקים והפצת מחלות, פגיעה במגוון הביולוגי ודלדול משאבים. הסיכוי לפגיעות סביבתיות אלו קיים לאורך כל שנות פעילות

המטמנה וגם לאחר סגירת האתר ושיקומו. לכל אלו מתווספים שיקולים כלכליים וחברתיים שיפורטו בהמשך. היתרונות העיקריים של ההטמנה הם עלות תפעול נמוכה בטווח הקצר ופשטות התפעול. אמנם, הנטל הסביבתי הנובע מהטמנת הפסולת משתנה מאוד בהתאם לעיצוב ותפעול אתר ההטמנה ואופי הפסולת המוטמנת (מעורבת, יבשה, מסוכנת וכו'), אך הפסולת במטמנה נשארת לעד והשפעות המטמנה מורגשות גם עשרות שנים לאחר סגירתה. גם במטמנות איכותיות קיים סיכוי לזיהום קרקע ומי תהום ומפגעי ריח. במטמנות מתקדמות ניתן לאסוף חלק מהגזים הנפלטים (כגון מתאן) לטובת השבת אנרגיה, אך חלק גדול מן הגזים נפלט לסביבה. האפשרויות לשיקום מטמנות והפיכתם לשטחים ירוקים לתועלת הציבור קיימת, אך עלויות השיקום גבוהות ויש צורך בהמשך ניטור וטיפול באתר המשוקם עשרות שנים לאחר השיקום.

אחד ההיבטים העיקריים בניהול מטמנות פסולת עירונית ביחס להשפעות הסביבתיות הוא פליטות של גזי החממה (Green House Gases) הכוללים גז מתאן ו-CO₂. מחקרים שונים מוכיחים כי הטמנת פסולת עירונית היא בעלת ההשפעה הסביבתית השלילית ביותר מכל שיטות הטיפול בפסולת עירונית מבחינת פוטנציאל התחממות גלובלית (GWP100), לאחריו שיטות של השבת אנרגיה ופחות מכך מיחזור. כיום ההערכות הן כי, גז המתאן הנפלט ממטמנות מהווה כ-10% מסך פליטות המתאן. לפיכך, הסטת הפסולת מהטמנה למיחזור והשבה היא הפתרון ההולם ביותר את המטרה של צמצום אפקט החממה.⁷



תמונה מס' 4: מטמנת דודאים

השוואה בין הטמנת פסולת עירונית לבין טכנולוגיות להשבת אנרגיה מפסולת

בשנת 1999 קבע האיחוד האירופי את הדירקטיבה למטמנות (Landfill Directive) במטרה להסדיר את ניהול הפסולת במטמנות במדינות האיחוד. במדינות המתקדמות ביותר כגון גרמניה, בלגיה והולנד, ההטמנה עומדת היום על אחוזים בודדים בלבד.⁸

מטרת הדירקטיבה היא "למנוע או לצמצם ככל האפשר השפעות שליליות על הסביבה, בפרט זיהום מקורות מים, מי התהום, קרקע ואוויר, וכן על הסביבה ברמה העולמית, כולל אפקט החממה, ולצמצם סיכונים לבריאות האדם, כתוצאה מהטמנת פסולת, במהלך כל מחזור החיים של המטמנה".

מדיניות היררכית הטיפול בפסולת מחייבת את כל מדינות האיחוד האירופי לצמצם את ההטמנה על ידי מעבר לטכנולוגיות מתקדמות לטיפול בפסולת. בשנת 1995 שיעור ההטמנה באירופה היה 68%, ואילו בשנת 2008 ירד שיעור זה ל-40%. שיעור ההטמנה הצפוי באירופה לשנת 2020 הוא 28% ויעד ההטמנה לשנת 2030 נקבע ל-10% בלבד. מדיניות זו קיימת גם במדינות ה-OECD כגון יפן, ארצות הברית וקנדה ומתחילה להתבסס אף במדינות מתפתחות, אשר משנות את הגישה שלהן כלפי הטיפול בפסולת במטרה לנצל את הפסולת כמשאב.

השוואה בין הטמנה והשבה אנרגיה (לטון פסולת עירונית) בהיבטים סביבתיים וכלכליים:

מספר רב של מחקרי Life Cycle Analysis המשווים בין סוגים שונים של טיפול הפסולת עירונית מראים כי השבת אנרגיה מפסולת היא סביבתית יותר מאשר הטמנה. הטבלה הבאה מרכזת מידע השוואתי בין חלופת ההטמנה לחלופת השבת אנרגיה מפסולת עירונית.



תמונה מס' 5: HVC Alkmaar Waste to Energy, The Netherlands

טבלה מס' 1: השוואה בין חלופת ההטמנה לחלופת השבת אנרגיה מפסולת עירונית לפי הסרגל הבא: 9, 10

שילי ביותר	שילי	בינוני	ללא השפעה	חיובי באופן מועט	חיובי	חיובי מאוד
השבת אנרגיה						
הטמנה						
איכות אוויר^{9,8}						
מזהמים עיקריים	CH ₄ , CO ₂ , תרכובות חנקתיות, NO _x . אין מערכות סינון וטיפול בפליטות	אבק, SO _x , NO _x , NO, HCL, HF (Total Organic Content) TOC יש מערכות סינון וטיפול בפליטות				
מזהמים נוספים	120-150 מזהמים שונים המשוחחרים לסביבה ללא סינון וטיפול כולל: Dioxins & Furans, Arsenic, Heavy Metals (Hg, Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V), Sulfides, Hydrogen, Benzene, Vinyl chloride, Polycyclic aromatic hydrocarbons, Non-methane volatile organic compounds (NMVOC), polychlorinated dibenzodioxins (PCDDs), polychlorinated dibenzofurans	כל המזהמים עוברים דרך מערכות סינון וטיפול לצורך ניטרולם ועמידה בתקני פליטה מחמירים Dioxins & Furans, Cadmium & Thallium, Heavy Metals, (Hg, Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)				
פוטנציאל התחממות גלובלית	גבוה עבור CO ₂ , CH ₄ . ניתן לקלוט עד 50% מגז המתאן לצורך הפקת אנרגיה.	אין פליטות CH ₄ . פליטות של CO ₂ בצורה מטופלת ומבוקרת				
זיהום אוויר כתוצאה מנסועה	לרוב מרוחק ממרכזי אוכלוסייה - נסועה ממוצעת בישראל של 150 ק"מ	מוקמים בקרבת מרכזי ייצור הפסולת - מקטין משמעותית את הנסועה לכ-30 ק"מ				
השפעות סביבתיות נוספות						
יצירת תשטיפים	יצירת תשטיפים המהווים מפגע ריח ופוטנציאל זיהום מי תיהום	אין תשטיפים				
פגיעה וזיהום קרקע	פגיעה בקרקע ופוטנציאל זיהום קרקע כ-2000 דונם עד 2030 (מעבר לקיים היום)	אין זיהום קרקע				
תפיסת קרקע	שיקום, ניטור וטיפול בגזים לאורך עשורים לאחר סגירת האתר	תפיסת שטח קטנה מאוד. התכנון בישראל - 50 דונם לכל מתקן (סה"כ 150 דונם עד 2030).				
השפעה נופית	חמורה (עד הסגירה והשיקום)	אין צורך בשיקום ובניטור לאחר סגירת האתר (בעיקר אם נמצא באזור תעשייה).				
שטחים פתוחים ומגוון ביולוגי	מקומית, מוקד משיכת בעלי כנף	אין				
פוטנציאל שריפות	קיים	אין				
היבטים כלכליים						
אנרגיה מיוצרת (פוטנציאל)	חשמל 5-10 קוט"ש לטון	חשמל: 550 קוט"ש לטון לפחות קיטור: 1000 קוט"ש לטון בממוצע				
אנרגיה מתחדשת	מתאן נחשב כאנרגיה מתחדשת (קליטת של עד 50% מגז המתאן בלבד)	יכול לקלוט גם פסולת אורגנית ופסולת מעורבת. ניתן להחשיב את החלק היחסי של החומר הפריק ביולוגי כאנרגיה מתחדשת				
עלות שינוע	גבוהה - רוב אתרי ההטמנה מרוחקים ממוקדי ייצור הפסולת	נמוכה במידה והאתר נמצא בסמוך למוקדי יצירת הפסולת				
תעסוקה	מקומות עבודה מועטים	עשרות משרות לכל אתר				
פוטנציאל מיחזור חומרים	אין	מתכות ואפר				
השפעה על שימושי קרקע סמוכים	גבוהה	בינונית				

מידע נוסף על הפליטות והשפעות הסביבתיות של מטמנות - **בנספח ב'** ובנספח ד'

ניהול הפסולת העירונית בישראל

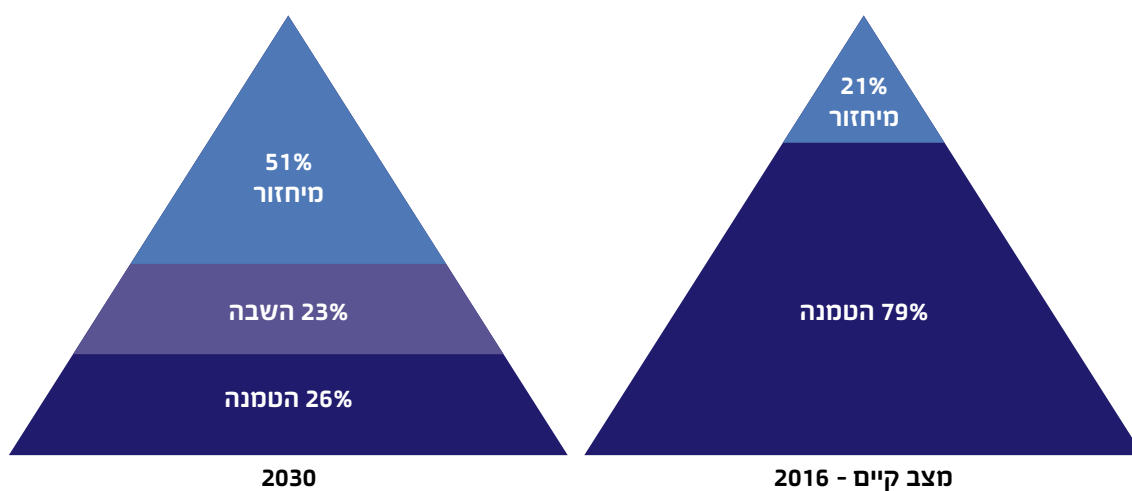
התכנית האסטרטגית לטיפול בפסולת עירונית בישראל - לשנת 2030

במסגרת האסטרטגיה החדשה לטיפול בפסולת קבע המשרד להגנת הסביבה יעדים חדשים במטרה לצמצם את ההטמנה ולעודד את המיחזור וההשבה.

היעד הראשון של תכנית 2030 הוא הפחתת שיעור ההטמנה ל-26%. יעד המיחזור הוא 51% ואילו יעד השבת אנרגיה הוא 23%.

יחד עם זאת, במידה ולא יקומו בעשור הקרוב מתקני השבת אנרגיה מפסולת, קשה לצפות שמדינת ישראל תגיע ליעד הטמנה נמוך מ-30%. במצב זה, ניתן להעריך כי עד כ-50% מהפסולת תועבר למיחזור והיתר להטמנה. הסיבות לכך הן מגוונות, בין היתר בגלל ששוק המיחזור הוא מאוד תנודתי, מושפע מהכלכלה העולמית ורגיש לעלויות וירידות במחירי חומרי הגלם הבתוליים.

איור מס' 4: השוואה בין תמהיל הטיפול בפסולת בישראל: מצב קיים לעומת תכנית 2030



בחירת חלופות לקביעת תמהיל הטיפול בפסולת עירונית

במסגרת הכנת התכנית האסטרטגית לטיפול בפסולת עירונית נבחנו מספר חלופות לטיפול בפסולת העירונית עד לשנת 2030. כמו כן, נבחנו ההשלכות הכלכליות של ביצוע החלופות בהתבסס על מחיר קצה לטיפול בטון פסולת לרשות המקומית (לשנת 2017). לאחר בחירת החלופות ביחס לעלות/תועלת נבחרה "חלופת 2030" מכיוון שהיא מאפשרת לצמצם את ההטמנה לפחות מ-30%, תוך שיפור השירות והוזלת הטיפול בפסולת לרשויות המקומיות בעילות הרבה ביותר. שילוב של שיטות טיפול שונות ופיתוח מגוון מתקנים שייתנו מענה

לזרמים השונים הם אלו שיאפשרו למדינת ישראל להתקדם לעבר היעד של צמצום ההטמנה והעלאת שיעורי המיחזור וההשבה. להלן פירוט החלופות שנבחנו במסגרת הכנת התכנית האסטרטגית:

חלופת האפס (עסקים כרגיל) - בחלופה זו, המשרד אינו משנה את המדיניות הקיימת ואינו מבצע השקעות בהקמת תשתיות או שינויים רגולטוריים חדשים. במצב זה, 55% מהפסולת איננה עוברת מיון, 18% מהפסולת עוברת מיון בטכנולוגיה בסיסית ו-27% מהפסולת מופרדת במקור.

תוצאות: 80% הטמנה, 20% מיחזור. יש לקחת בחשבון שקצב גידול האוכלוסין עומד על כ-2% והפסולת הנוצרת עולה בהתאמה.

עלות הטיפול לרשות המקומית: 514 ₪ לטון פסולת

חלופת מיון ללא השבה - צעדים מרכזיים של חלופה זו היא הקמת רשת מתקני מיון בפריסה ארצית כך שכל הפסולת עוברת מיון והפסולת המוטמנת היא פסולת שיורית בלבד. במצב זה, 100% מהפסולת עוברת מיון, 62% מהפסולת עוברת מיון טכנולוגי, 38% מהפסולת מופרדת במקור. לחלופה זו נדרשים צעדים רגולטוריים כגון חיזוק ההפרדה במקור של מתמחזרים והפרדה במקור של פסולת במגזר העיסקי.

תוצאות: 49% הטמנה, 51% מיחזור.

עלות הטיפול לרשות המקומית: 471 ₪ לטון פסולת

חלופת 2030 - בחלופה זו, מוקמת רשת מתקני מיון בפריסה ארצית, מתבצעים שינויים רגולטוריים של פח מתמחזרים ובהפרדה במקור של המגזר העיסקי ומוקמים 3 מתקנים להשבת אנרגיה בפריסה ארצית. במצב זה, 100% מהפסולת עוברת מיון, 62% מהפסולת עוברת מיון טכנולוגי, 38% מהפסולת מופרדת במקור.

תוצאות: 26% הטמנה, 51% מיחזור, 23% השבת אנרגיה.

עלות הטיפול לרשות המקומית: 460 ₪ לטון פסולת

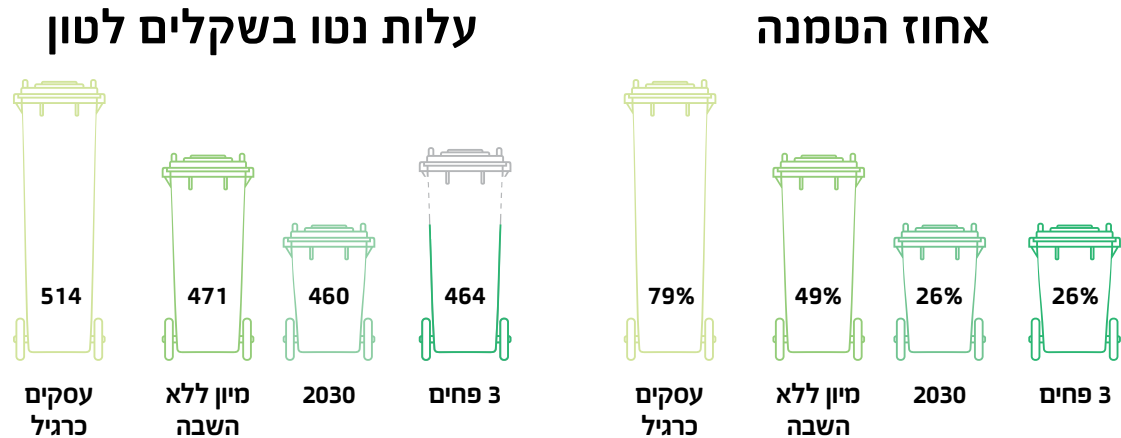
חלופת 3 פחים - צעדים מרכזיים כוללים את כל הצעדים בחלופת 2030 ובנוסף הפרדה במקור של פסולת אורגנית ביתית. במצב זה 100% מהפסולת עוברת, 57% מהפסולת עוברת מיון טכנולוגי, 43% מהפסולת מופרדת במקור.

תוצאות: 26% הטמנה, 23% השבה, 51% מיחזור.

עלות הטיפול לרשות המקומית: 464-489 ₪ לטון פסולת

טבלה מס' 2 : סיכום החלופות

עלות נטו בשקלים לטון	הטמנה	השבה	מיחזור	הפרדה במקור אורגני (ביתי)	מתקני השבה	הפרדה במקור אורגני (מוסדי)	מיון טכנולוגי (כל הפסולת)	
514	79%	0	21%	-	-	-	-	עסקים כרגיל
471	49%	0	51%	-	-	+	+	מיון ללא השבה
460	26%	23%	51%	-	+	+	+	2030 (השבה)
464	26%	23%	51%	+	+	+	+	3 פחים (כולל אורגני)



בחירת החלופה המועדפת

שתי החלופות היחידות העומדות ביעדי התכנית האסטרטגית לטיפול בפסולת לשנת הן חלופת 2030 וחלופת 3 הפחים. חלופת מיון ללא השבה אינה עומדת במטרות צמצום ההטמנה ועידוד המיחזור, למרות שחלופה זו היא הישימה ביותר לביצוע. יחד עם המאמצים המתמשכים של המשרד להגנת הסביבה ומשרדי ממשלה אחרים לקדם את תעשיית המיחזור, התגבשה העמדה כי התמהיל הנכון לטיפול בפסולת עירונית כולל גם השבת אנרגיה מפסולת, כפי שנעשה בכל המדינות המתקדמות. על פי הערכת המשרד, ללא הפחתה במקור של פסולת ושינויים משמעותיים בהרגלי הצריכה, במדינת ישראל צפויה מעבר לכמות השנתית המיוצרת, תוספת של כ-100,000 טון של פסולת עירונית בשנה ובסך הכל הצפי הוא ל-6.7 מיליון טון בשנת 2030. לפיכך, קידום המיחזור בישראל והעלאת שיעורי המיחזור ממשיך להיות יעד מרכזי, אך התנודתיות בשוק המיחזור הגלובלי, קצב גידול האוכלוסין המהיר בישראל ומספר מוגבל של שטחים להטמנה, מחזקים את הצורך בהקמת מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת. בנוסף, המשרד מעוניין להפחית את עלויות הטיפול בפסולת לרשויות המקומיות ולהפוך את המיחזור לפעולה פשוטה וידידותית עבור הציבור. יתרונה של חלופה 2030 על חלופת 3 הפחים היא בכך שעלות הטיפול בפסולת לרשויות המקומיות נמוכה יותר ואופן היישום לאזרח פשוט יותר.

תמהיל הטיפול בפסולת עירונית

האסטרטגיה לטיפול משולב בפסולת עירונית, נשענת על שילוב טכנולוגיות שונות לטיפול בפסולת, במטרה לצמצם את ההטמנה והנזקים הסביבתיים הנגרמים מהטמנה ולקדם ניהול בר קיימה של פסולת עירונית. באירופה ניתן לראות כי לרוב, ברשויות המקומיות בהם יש מתקני השבה, שיעורי המיחזור גבוהים יותר מאשר רשויות ששולחות את הפסולת שלהם להטמנה. הדבר הזה נכון גם ברמה הלאומית ואחת האבחנות של הסוכנות האירופית להגנת הסביבה¹¹, היא שקיימת התאמה גבוהה בין שיעורי מיחזור והשבה. צמצום ההטמנה מבוסס על תמהיל של שיטות שונות לטיפול בפסולת: מיחזור, עיכול אנאירובי, קומפוסטציה והשבת אנרגיה מפסולת. לרוב, הטכנולוגיות השונות אינן מתחרות אחת בשנייה, אלא משלימות את מערך הטיפול המשולב בפסולת ונותנות מענה לצרכים השונים ולסוגי הפסולת השונים. ישנו חלק לא מבוטל מהפסולת העירונית שלא ניתן למחזר, בין אם מסיבות טכנולוגיות או כלכליות. והשבת אנרגיה אמורה לטפל בחומר שלא ניתן למחזר (פסולת שירית), בסוף השרשרת.

מעל כל זה, ההפחתה המקור היא המשמעותית ביותר בצמצום ההטמנה. הפחתה של פסולת במקור כגון שקיות ניילון, מזון, ועוד, ניתן ליישם. על ידי חקיקה ושינוי דפוסי התנהגות של התושבים. חוקי אחריות יצרן מורחבת מאפשרים לקדם הפרדה במקור ומיחזור של זרמים ייעודיים כגון פסולת אריזות או מתמחזרים, זכוכית, צמיגים, פלסטיק, פסולת אלקטרונית, גזם וכו'.



תמונה מס' 6: מיון חומרים למיחזור - Panda Materials Recovery Facility, Dublin, Ireland

צעים עיקריים בתכנית האסטרטגית לטיפול בפסולת

האסטרטגיה החדשה מבוססת על תמהיל של טכנולוגיות לטיפול משולב בפסולת הכוללות מתקני מיון להפרדת זרמי פסולת למיחזור, מתקני עיכול אנאירובי ומתקנים להשבת אנרגיה מפסולת.

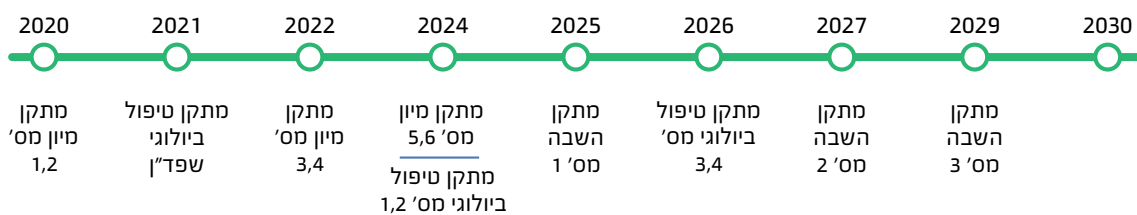
מתקני מיון - מיון פסולת מאפשר הוצאת חומרי גלם בעלי ערך והעברתם למיחזור, והפרדת הפסולת הפריקה ביולוגית הגורמת למרבית הנזק הסביבתי בעת הטמנתה. והעברתו לטיפול המתאים. המשרד יקדם את התכנון הדרוש להקמת עד שישה מתקני מיון חדשים בישראל עד לשנת 2024. המשרד יתמוך כספית בהקמת מתקני המיון, בתמורה להתחייבותם לגביית מחיר תחרותי מהרשויות המקומיות.

מתקני עיכול אנאירובי וקומפוסטציה - המשרד יסייע בהקמת ארבעה מתקני טיפול בפסולת פריקה ביולוגיה, בשאיפה שימוקמו בסמוך למתקני המיון. מתקנים אלו יטפלו בפסולת פריקה ביולוגית, המהווה כ-35% מהפסולת העירונית. המתקן הראשון יוקם בשפד"ן ויטפל בכ-1000 טון ביום של פסולת פריקה ביולוגית.

מתקני השבת אנרגיה - המשרד להגנת הסביבה רואה בקידום הקמתם של מתקני השבת אנרגיה צעד הכרחי לצמצום הטמנה ופעולה המשלימה את המיחזור. ההערכה היא שכל מתקן השבה יוכל לקלוט עד 10% מהפסולת, והקמת 3 מתקני השבה, יחד עם שיטות אחרות ישיגו את היעדים לשנת 2030.

יעדים נוספים: בתכנית האסטרטגית נקבעו יעדים נוספים שיאפשרו למדינת ישראל להתייעל ולצמצם את ההטמנה: הגברת ההפרדה במקור של חומרים מתמחזרים (recyclables) במשקי הבית, באמצעות הפח הכתום, ומיון של עד 100% מהפסולת העירונית שלא מופרדת במקור במתקני מיון. בנוסף לכך, המשרד יעודד את השימוש ב-RDF בתעשיית המלט ובתחנות כוח ויבחן את המנגנונים האפשריים לסייע שוק זה. שילוב ה-RDF בתמהיל הטיפול בפסולת עירונית יסייע בטווח הקצר לחיזוק משק האנרגיה בישראל. המשרד יקדם תכניות ייעודיות להפרדת פסולת אורגנית במרכזי מסחר ומוסדות ציבוריים ותכנית להפחתת פסולת במקור. בנוסף, המשרד מקדם מדיניות של טיפול איזורי בפסולת זרך הקדמתם של אשכולות רשיות מקומיות.

איור מס' 6: ציר זמן להקמת מתקני טיפול בהתאם לתכנית האסטרטגית לטיפול בפסולת



הטמנה



התכנית האסטרטגית לטיפול בפסולת - סיכום משימות עיקריות ואבני דרך ליישום:

פח מתמחזרים	הקמת מתקני מיון מתקדמים בכל הארץ	הקמת מתקנים להשבת אנרגיה
<p>הכנת מסמך אסטרטגי לבחינת פוטנציאל פח מתמחזרים 2018</p> <p>שינוי חקיקה/התקנת תקנות מכוח חוק איסוף ופינוי פסולת למחזור 2020</p> <p>תמיכה ברשויות בהתאם לכמות המתמחזרים 2020-2023</p> <p>תכנית הסברה וחינוך להפרדת מתמחזרים 2020</p> <p>תמיכה ברשויות באיסוף עד לשינוי רגולטורי 2017</p> <p>הקמת מערך הפרדת פסולת אורגנית מסחרית מסמך הגדרה לפסולת אורגנית מסחרית ועריכת סקר הרכב לפסולת 2019</p> <p>כתיבת מסמך מדיניות להפרדת פסולת מסחרית 2019-2020</p> <p>החלת תנאים אחידים ברישיון העסק התקנת תקנות מכוח חוק איסוף ופינוי פסולת למחזור 2020-2022</p> <p>פיקוח על יצרני הפסולת המסחרית באמצעות השלטון המקומי 2023</p> <p>תכנית הסברה 2022</p>	<p>תמיכה בהקמה ושדרוג 6 מתקנים בהיקף של 1500 טון ליום לכל מתקן 360 מיליון ₪</p> <p>עדכון תקנות רישוי עסקים (תחנת מעבר לפסולת) 2018</p> <p>הכנת תכנית ארצית למתקני מיון חדשים לרבות בחינת ההיבטים הבאים: מיקום, היתכנות במסגרת תב"ע/ תמ"א, ראייה כוללת של אגני ניקוז הפסולת 2018-2019</p> <p>ליווי מרכזים למתקני מיון מתקדמים</p> <hr/> <p>הקמת מתקני טיפול בחומר פריק ביולוגי</p> <p>תמיכה בהקמת 4 מתקני טיפול בהיקף של 600 טון ליום לכל מתקן 400 מיליון ₪</p> <p>הפקת לקחים מתימוכות קודמות לרבות מתקן לעיכול אנארובי בשפד"ן 2019-2020</p> <p>ניתוח כלכלי להיקף התימוכות הנדרשות לכל מתקן ובחירת מסלול קידום - תמיכות או PPP 2020</p> <p>קידום תכנון- הכנת תב"עות למתקנים ליווי מרכז למתקן טיפול בשפד"ן 2018-2021</p>	<p>תמיכה בהקמת 3 מתקנים בהיקף של 1500-1000 טון ליום למתקן 2.475 מיליארד ₪</p> <p>הוצאת מרכז לצוות תכנון והגשת תכנית למוסד תכנון 2018</p> <p>השלמת תסקיר השפעה על הסביבה 2019</p> <p>הכנת טיוטת מרכז 2019</p> <p>תכנון האתרים ואישורם במוסדות התכנון ופרסום מרכז בינלאומי להקמת המתקנים 2020</p> <p>ליווי המרכז (PPP בדיקה, בחירה, הקמה ותפעול) 2021-2025</p> <hr/> <p>שלטון מקומי</p> <p>קול קורא לתימרון רשויות מקומיות למיחזור 2018</p> <p>תמיכה בהקמת אשכולות רשויות מקומיות 2019-2020</p>

הקמת מתקני השבת אנרגיה בישראל

נכון להיום, בישראל לא קיימים מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת עירונית, ואילו המתקן היחיד שהוקם עד כה לצרכי הפקת אנרגיה מפסולת הוא מתקן ה-RDF בחירייה, אשר משרת את מפעל המלט "נשר".

מניתוח של המשרד להגנת הסביבה לגבי כמויות הפסולת בישראל וצפי גידול אוכלוסין לפי הלמ"ס, ובהתאם לפריסת יחידות הדיור כפי שנקבע בתכנית האסטרטגית לדיור 2017-2040 שהכין מינהל התכנון, כמות הפסולת העירונית תגיע בשנת 2030 לכ-6.7 מיליון טון. ההערכה מבוססת על מכפלת מספר הנפשות ליחידת דיור (3.2) בכמות הפסולת המיוצרת (1.7 ק"ג לאדם/ יום).

על מנת לצמצם את כמות הפסולת המועברת להטמנה ל-10% (היעד של האיחוד האירופי לשנת 2030), יהיה צורך בהקמת 5 מתקני השבה בפריסה ארצית. בהינתן היעד זה והתקציב העומד לטובת הפיתוח (תקציב הקרן לשמירת הניקיון) עד לשנת 2030, ניתן להקים 3 מתקני השבה בהיקף של 500,000 עד 550,000 טון בשנה לכל מתקן (כ-1,500 טון ביום לכל מתקן). מתקנים בסדר גודל כזה יכולים לתת מענה אזורי ויאזנו בין כמות הפסולת שניתן לשנע ולקלוט במתקן בכל יום ובין עלויות התפעול של המתקן. יחד עם זאת, על מנת לאפשר אופק תכנוני ויזמי מעבר לשנת היעד של התכנית האסטרטגית לפסולת ולצורך צמצום ההטמנה למינימום האפשרי, יש לקדם תכנון של 5 אתרים - מתוכם 3 אתרים באופן מיידי.

טבלה מס' 3: הערכת כמויות הפסולת ומס' המתקנים הנדרשים במחוזות השונים עד לשנת 2030:

מס' מתקנים	כמות פסולת להשבה 2030**	סה"כ צפי פסולת טון/שנה * לשנת 2030	פסולת שנה/טון 2016	יחידות דיור תכנון עד 2030	
1	450,000	1,750,457	1,505,990	216,000	צפון
				150,000	חיפה
2	650,000	2,562,099	2,208,980	312,000	מרכז
				198,000	תל אביב
1-2	210,000	840,053	655,075	144,000	ירושלים
	250,000	1,038,419	780,370	228,000	דרום

פיזור המתקנים במסגרת תכנית 2030 תהיה כדלקמן: מתקן אחד (1) בצפון/חיפה, מתקן אחד (1) במרכז/ת"א, מתקן אחד (1) בדרום או בירושלים. באופן כללי - כמות הפסולת המיועדת להשבה היא כ-25% בכל מחוז.

יש לציין כי ניהול הפסולת נעשית ברמה מקומית אך רדיוס השינוע משתנה בהתאם למצאי המתקנים הסמוכים לרשות. את הפסולת ניתן לשנע ברדיוס של כ-30 ק"מ מהמתקן, ולפיכך, במקרים מסוימים מחוז אחד יכול לתת מענה לרשויות מקומיות במחוז אחר. לאחר 2030 יוקמו מתקנים נוספים - 2 או יותר כתלות בצרכי האוכלוסייה, מרכזי ייצור הפסולת ומקור תקציבי. יהיה צורך לבחון את נתונים הללו שוב, ולבחון ולהתאים את מיקום המתקנים וגודלם בהתאם לצרכים התכנוניים.

הנחות יסוד להקמת מתקני השבה בישראל

- מתקני השבת אנרגיה יקלטו פסולת שיורית שאינה ניתנת למיחזור. פסולת זו מהווה כ-50% מכמות הפסולת בישראל. כבר כיום, מדובר על סדר גודל של כ-7,000 טון פסולת ליום הניתנת להשבה.
- יעד המשרד להגנת הסביבה להקמת מתקני השבה הוא 3 מתקנים עד לשנת 2030 בפריסה ארצית (צפון/חיפה-1, מרכז/ת"א-1, דרום/ירושלים-1).
- הבטחת כמויות הפסולת המעוברות למתקן ההשבה הוא דבר קריטי להצלחת המתקן. אין זה מן הנמנע שמקורות הפסולת למתקן יגיעו ממחוזות שונים, כתלות במרכזי ייצור הפסולת.
- ישנם שיקולים כלכליים רבים שיש לקחת בחשבון בעת הקמת מתקן, כולל ה-CAPEX, והתשואה המבוקשת. מתקנים גדולים יחסית יקטינו את ההשקעה בטווח הרחוק ויאפשרו את הכדאיות והרווחיות של המתקן לכל אורך שנות קיום המפעל (25-40 שנה).
- על בסיס בחינה תכנונית של המתקן והתשתיות הנלוות (כבישי גישה, תיפעול, חיבור לחשמל ותחנת מעבר ממינית), גודל המתקנים שיכולים לקלוט כמות פסולת כזו היא כ-50 דונם. הערכה זו מתבססת על הניסיון הבינלאומי המצטבר, אך גודל השטח ייקבע בעת הכנת התכנית המפורטת.
- עוד על היבטים כלכליים של הקמת מתקן להשבת אנרגיה בישראל - **נספח ה'**

האתגרים המרכזיים בישראל

- איתור שטחים להקמת מתקנים
- הבטחת כלכליות הפרויקט: ברוב המדינות המפותחות, מחיר הכניסה למתקני השבה גבוה משמעותית בהשוואה לדמי הכניסה למטמנות בישראל. המצב בישראל דורש מציאת מנגנון מימון המבטיח את היתכנות ההקמה והכדאיות הכלכלית של מתקנים מסוג זה בישראל.
- אנרגיה: לעניין קביעת תעריפים לייצור חשמל מביומאסה ופסולת, השימוש בפסולת בלתי פריקה ביולוגית להפקת חשמל תיחשב מקור אנרגיה פוסילי, והשימוש בה יוגבל להיקף המותר במסגרת כללי משק החשמל.
- יש צורך בהסדרת שוק הפסולת ופיתוח שוק מיחזור מפותח על מנת לשפר את איכות הפסולת ויעילות מתקני ההשבה
- קיימת חשיבות רבה בהתאגדויות רשויות אזוריות כשותפות להקמת המתקנים ולהבטחת אספקת הפסולת. מעורבותן של הרשויות המקומיות ייבחן וייקבע כבר בשלב הסגירה הפיננסית של המתקן.
- הרכב ומימון הפסולת - אחת השאלות החשובות ביותר היא הרכב הפסולת המטופל במתקני השבה ואופן מימון הפסולת. ככל שמחלצים יותר חומרים מתמחזרים כגון פלסטיק נייר וקרטון, אריזות ושקיות כך יעלה ההרכב של החומר האורגני (הרטוב) אך גם ירד הערך הקלורי של הפסולת המועברת להשבה. הפרדת החומר האורגני במקור או במתקני מימון יגרום להעלאת הערך הקלורי של הפסולת. לפיכך, בטרם הקמת המתקן, יש צורך לקבוע מהו הערך הקלורי הנדרש לתפעול המתקן ומהו האיזון הנכון של הרכב הפסולת בהתאם.



מפעל ה-RDF בחרייה

תכנון מתקנים להשבת אנרגיה בישראל

שינוי מס' 2 לתמ"א 4 / 16 עוסק במספר נושאים וביניהם קביעת ההליך התכנוני לקידום תכנית לאתר לטיפול תרמי. פרק הפסולת בתמ"א 1 מחליף את תמ"א 4 / 16 לפסולת מוצקה על שינויה. הפרק מסדיר את תחום הטיפול בפסולת הן באמצעות השבתה (מיחזור, קומפוסטציה והפקת אנרגיה) והן באמצעות סילוקה וקובע הוראות להקמת אתרי פסולת שונים בהתאם לאופן הטיפול בפסולת וסוגה. האתרים המוסדרים בפרק הם אתרי השבה, אתר הטמנה ותחנת מעבר. סוגי הפסולת המטופלים באתרים אלה הם פסולת יבשה, פסולת מעורבת, פסולת חקלאית, פסולת תעשייתית מאושרת ופסולת מסוכנת.

אחת ממטרותיו העיקריות של פרק הפסולת בתמ"א 1 היא לעודד תהליכי השבה, ולצמצם פעולות סילוק (הטמנה) בהלימה לסדרי העדיפות לטיפול בפסולת כפי שנקבעו לפי הדירקטיבה האירופית לטיפול בפסולת בסדר הבא: 1. הפחתה במקור; 2. שימוש חוזר; 3. מיחזור; 4. הפקת אנרגיה; 5. סילוק

הדירקטיבה מחלקת את הטיפול בפסולת לשני מסלולים עיקריים:

מסלול השבה - עיבוד הפסולת בדרך המאפשרת שימוש חוזר לרבות מיחזור או הפקת אנרגיה לרבות הליכים המקדמיים הנדרשים לצורך כך.

מסלול סילוק - מיזעור הנזק מהפסולת מבלי לעשות בה שימוש. דוגמת הטמנה או עיכול פיזי-כימי.

בדברי ההסבר של פרק הפסולת בתמ"א 1 נקבעו כמה עקרונות בהלימה לעקרונות הדירקטיבה האירופית. נקבע כי יש לתת עדיפות לטיפול בפסולת בסמיכות למקום היווצרותה, תוך הפרדתה לפי סוגיה. כמו כן, נעשתה אבחנה בין סוגי פסולת היא בעיקר לפי סוג הפסולת ומקורה, מהם נגזר פוטנציאל המטרד או הסיכון הצפוי מהם. פסולת מעורבת מתייחסת בעיקר לפסולת עירונית שמקורה במשקי הבית. כוללת מרכיבים פריקים ביולוגית, בעלי פוטנציאל גבוה ליצירת מטרדי ריח, זיהום מים וקרקע, וכן מרכיבים שאינם פריקים ביולוגית.

הפרק מתווה את ההוראות לתכנון והקמה של אתרי פסולת וכן שומר שטחים לתכנון אתרי הטמנה לפסולת מעורבת, אתרי הטמנה והשבה לפסולת מעורבת, אתרי השבה לפסולת מעורבת, אתרי הטמנה והשבה לפסולת תעשייתית ולפסולת מסוכנת.

לאור סדרי העדיפות לטיפול בפסולת ועל מנת לעודד השבת פסולת על פני סילוקה, מקל הפרק באישור אתרי השבה ותחנות מעבר חדשים ומנגד קובע מגבלות להוספת אתרי הטמנה. בחלק מאתרי הפסולת חלה חובת שיקום בגמר הפעילות: בתחנת מעבר פתוחה, ובאתר הטמנה - לאחר מיצוי קיבולת האתר.

לפי תמ"א 1:

1. באתר לטיפול תרמי בנוסף לדרישות הקיימות מאתר פסולת נדרש לבצע סקר היתכנות להוצאת האנרגיה מהאתר לפי חוק החשמל, תשנ"ו.
2. אתר טיפול תרמי הראשון במרכיב בלתי פריק ביולוגית של פסולת מעורבת שאינו בר-מחזור יאושר בתכנית מתאר ארצית ברמה מפורטת.

עקרונות לקביעת מיקום להקמת מתקני השבת אנרגיה (על פי התכנית האסטרטגית של המשרד להגנת הסביבה):

1. חטיבת שטח בהיקף מספק (כ-50 דונם)
2. הקמת המתקן בסמיכות לאזור ייצור הפסולת ברדיוס שירות סביר ממקורות איסוף / מיון פסולת: מרחק הובלה עד 30 ק"מ מתחנות מעבר לפסולת
3. עדיפות לבחינה ביעודים האפשריים הבאים:
 - באזורי תעשייה ומלאכה או בצמידות דופן.
 - סמיכות למתקני מיון פסולת קיימים ו/או מתוכננים
 - עדיפות שלא בצמידות לרצפטורים ציבוריים
 - בקרבת צרכני חום/ קיטור
 - באתרים המטילים מגבלות על הסביבה (מתקנים הנדסיים / אתרי טיפול ייעודיים בפסולת) או בצמידות דופן.
4. בעלות על קרקעות - במידה ומדובר במתקנים שיקודמו על ידי המדינה, ייבחנו רק קרקעות מדינה. יזמות פרטית תיבחן לגופו של עניין.

הנחיות להכנת תכנית מפורטת למתקן להשבת אנרגיה מפסולת

תכנית מפורטת להקמת מתקן להשבת אנרגיה מפסולת צריכה לכלול התייחסות לסוגיות הבאות:

- תסקיר השפעה על הסביבה
- הנחיות לצמצום ההשפעות הסביבתיות של המתקן בשלב ההקמה וההפעלה
- התכנית המפורטת תכלול דרכים ושטחים לפריקה, אצירה, טיפול ושינוע שאריות (אפר, מתכות וכו')
- תכנית להשתלבות נופית
- מסמך תחבורתי
- סקר היתכנות להוצאת האנרגיה מהאתר לפי חוק החשמל, תשנ"ו.

תסקיר השפעה על הסביבה

השבת אנרגיה מפסולת בישראל מחייבת הכנת תסקיר השפעה על הסביבה לכל מתקן ובחינת חלופות שיכללו התייחסות להיבטים של פליטות ומפגעים נוספים כגון ריח ובחינת חלופת האפס (מיחזור ומטמנות לעומת מיחזור ומתקני השבה). התסקיר יתייחס להשפעות הסביבתיות על רצפטורים ציבוריים: בתי מגורים, מוסדות רפואה וחינוך לעומת צמידות דופן לאזורי תעשייה.



Waste to Energy, Issy Les Moulineaux, Paris, France

מעורבות הציבור

מעורבות ציבורית כבר בשלבים הראשונים של תכנון מתקנים להשבת אנרגיה הוא קריטי להצלחת הפרויקט כולו. על פי תפיסת המשרד להגנת הסביבה, הרשויות המקומיות והתושבים הם חלק בלתי נפרד מהאסטרטגיה לטיפול בפסולת ובעלי השפעה מכרעת על הצלחת פעולות המיחזור והשבת אנרגיה, מתוך מטרה לצמצם את ההטמנה ואת הנזקים הסביבתיים והבריאותיים ממנה. חינוך הציבור והעלאת המודעות לחשיבות הנושא יכולה לתרום למניעת התנגדות ציבורית ו-NIMBY (Not In My Back Yard). במדינה קטנה יחסית כמו ישראל, מעורבות הציבור בהקמת מתקני השבת אנרגיה מפסולת תהווה גורם חשוב בתהליך התכנון של אתרי השבת אנרגיה מפסולת.

המטרות העיקריות של שיתוף הציבור בתהליכי תכנון הן:

1. הגדלת השקיפות
2. שיתוף במידע וידע
3. זיהוי הצרכים והרצונות של הציבור ובעלי עניין ומיפוי מגוון הדעות והעמדות
4. קבלת משוב ורעיונות לשיפור התכנית
5. זיהוי שותפויות
6. קבלת לגיטימציה להחלטות ומחויבות בעשייה
7. הקטנת ההתנגדויות

בפרויקטים של מתקני השבת אנרגיה מפסולת ניתן להשתמש בשיטות שונות לתהליכי שיתוף ציבור כגון: קיום אספות, סדנאות וימי עיון עם התושבים, הקמת ועדות מלוות, צוותי פעולה ובחירת נציגים מייצגים שילוו את התהליכים, קיום דיונים מקצועיים לבחינת נושאים מהותיים (כגון שולחנות עגולים) ופרסום שלבי התכנית במקומונים ובעלוני שכתובים. הדעה הרווחת היא שפעולות אלו יכולות להסיר חסמים הנובעים מחובר ידע וחששות ולזרז את קידום הפרויקט, במקום לעכב אותו.



מרכז מבקרים במתקן להשבת אנרגיה מפסולת - HVC Alkmaar Waste to Energy, The Netherlands

במתקני השבת אנרגיה רבים מקובל להקים גם מרכז מבקרים שמאפשר קליטת קהל ומהווה כלי להסברה והעלאת מודעות לנושא חשיבות הטיפול בפסולת. בנוסף, המשרד להגנת הסביבה סבור כי עקב חשיבותו כתשתית לאומית הקמת המתקן תחייב שיתוף פעולה נרחב מגופים ציבוריים שונים עקב אופיו המיוחד. נדרשת עבודת מטה נרחבת ושיתוף פעולה בין בעלי העניין בממשלה וברשויות המקומיות לצורך יצירת התנאים הכלכליים להקמת מתקנים להשבת אנרגיה בישראל.

גופים בעלי עניין

- משרד האוצר - אגף החשב הכללי
- רשות מקרקעי ישראל
- מינהל התכנון, משרד האוצר
- רשות החשמל
- המשרד להגנת הסביבה
- משרד האנרגיה והתשתיות הלאומיות
- מינהל מקרקעי ישראל
- משרד הבריאות
- ארגוני סביבה
- חברת חשמל
- רשויות מקומיות
- בעלי עניין נוספים



HVC, Waste to Energy Alkmaar, The Netherlands

סיכום

מזה שנים רבות למדינת ישראל ברור כי הטמנה איננה חלופה סביבתית ראויה לטיפול בפסולת. למעלה משני עשורים מכון המשרד ליצירת שוק פסולת המתבסס על מיון ומיחזור פסולת במטרה להגדיל את שיעורי המיחזור. כל זאת תוך חתירה לשינוי בהרגלי הצריכה וההתנהגות של התושבים, אכיפת חוקי אחריות יצרן מורחבת ונקיטת צעדים להתייעלות. מסמך זה נועד לסייע למשרד להגנת הסביבה בקידום המדיניות של צמצום ההטמנה של פסולת עירונית, שהמהווה סוג של פסולת מוצקה (Municipal Solid Waste), זאת על ידי יצירת תמהיל טיפול מאוזן הכולל שילוב של טכנולוגיות למיחזור חומרים וקומפוסטציה (Materials Recovery) וטכנולוגיה של השבת אנרגיה מפסולת (Energy Recovery). המשרד להגנת הסביבה רואה בהקמת מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת תשתית לאומית בלתי נפרדת משאר תשתיות הטיפול בפסולת.

בהתאם לצפי גידול האוכלוסין והתכנית האסטרטגית לדיור לשנים 2017-2040, כמות הפסולת הצפויה לשנת 2030 תהיה כ-6.7 מיליון טון. התכנית האסטרטגית לפסולת של המשרד להגנת הסביבה קובעת את היעדים הבאים לשנת 2030: 51% מיחזור, 23% השבת אנרגיה, 26% הטמנה.

הערכות המשרד להגנת הסביבה הן כי על מנת לעמוד ביעדי התכנית האסטרטגית לפסולת יש צורך בתכנון והקמה של 3 מתקני השבת אנרגיה בפריסה ארצית ובקרבת מרכזי ייצור הפסולת. בראיה ארוכת טווח מעבר לשנת 2030, יש לתכנן את הקמתם של 2 מתקנים נוספים על מנת לצמצם את הטמנת הפסולת למינימום ובהתאמה ליעדים של האיחוד האירופי להפחתת ההטמנה (פחות מ-10%). יחד עם זאת, עלויות ההקמה והתפעול הגבוהות של מתקנים מסוג זה עלולה להקשות על הכדאיות הכלכלית של המגזר הפרטי בהשקעה ובהקמה. משכך, סבור המשרד שיש צורך בתמיכה ממשלתית משמעותית להנעת השוק ולעידוד הקמתם של מתקנים אלו, במסגרת מודל המשלב השקעות של המגזר הציבורי והפרטי דוגמת Public Private Partnership (PPP).

לפיכך, המשרד רואה לנכון לפעול ואף ליזום את הקמתם של מתקני ההשבה הראשונים בישראל על מנת לייצר שוק חדש וביקוש לטכנולוגיה מסוג זה. בהתאם למגבלות התקציב, המשרד נערך לקידום וייזום 3 מתקני השבת אנרגיה מפסולת בפריסה ארצית עד לשנת 2030.



Indaver Waste to Energy, Meath, Ireland

נספח א'

היבטים טכניים של מתקן השבת אנרגיה

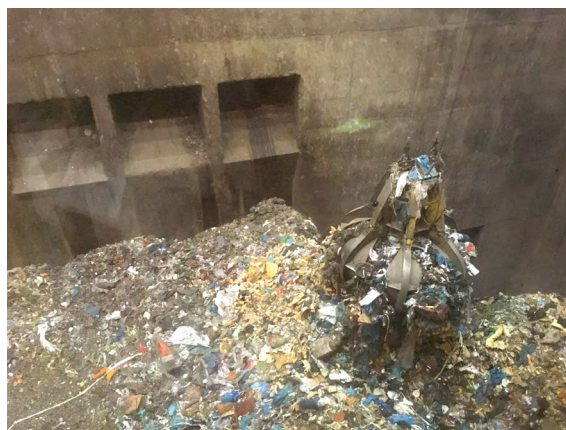
רוב מתקני השבת אנרגיה בעולם פועלים בשיטת בטכנולוגית Incineration - שריפת פסולת תחת תנאים מבוקרים. בשיטה זו, שבה הפסולת נדחפת על מעין רשת פלדה, או שבכה (grate) הנעה תוך כדי תהליך השריפה.

שלבי הטיפול במתקן טיפוס (moving grate):

- פריקת הפסולת מהמשאיות אל תא הקליטה בנפח המאפשר איחסון למספר ימים. נפח האגירה מובטח כדי לעמוד בתנודות הגעת פסולת או תקלות המחייבות אגירת פסולת.
- ערבוב הפסולת על ידי מנוף. הערבוב נעשה על מנת לשמור על הומוגניות הפסולת בעת ההזנה לתא הבעירה ומשיקולי יעילות הבעירה.
- הפסולת מועברת אל תא הבעירה באמצעות מנוף המזין את הפסולת ומונחת על השבכה שעליה מתבצעת השריפה.
- שריפת הפסולת בטמפרטורה גבוהה תחת תנאים מבוקרים.
- האפר התחתי יורד במגלש אל תא קליטה ומשם הוא מוזן אל מיכלי איסוף.
- שריפה משלימה של הגז החם הנוצר משריפת הפסולת במטרה למנוע יצירת פחמן חד חמצני (CO)
- הגז החם מוזן אל דוד מים ויוצר קיטור. על מנת להפיק חשמל, הקיטור מועבר לטורבינה המתרגמת אנרגיית חום לאנרגיה קינטית, ומניע גנרטור (המתרגם אנרגיה קינטית לאנרגיה חשמלית). החשמל מוזן ישירות לרשת החשמל האזורית, ולצרכי המתקן עצמו.
- גזי הפליטה מקוררים דרך משטח מחליף חום, ומועברים אל מערכת ניקוי גזי הפליטה.
- משקע אלקטרוסטטי מוציא את החלקיקים המוצקים (אבק) מגזי הפליטה ואת המתכות הכבדות באמצעות הפעלת מטען חשמלי, המוצאות מהמערכת באמצעות מנגנון פינוי מכני.
- גזי הפליטה עוברים צינון ודחיסה קלה כדי להכניסם לשלב השני בניקוי גזי הפליטה.
- סקרבר (משקף) רטוב בעל מספר שלבים, מסלק את שאריות המתכות הכבדות שבגזי הפליטה ואת תחמוצות הגופרית (SO₂). הפעולה מתבצעת בדרך כלל בעזרת תרכובות כלור.
- תא קטליטי המפרק את תחמוצות החנקן NO₂ ו-NO לחנקן גזי ולמים בעזרת אמוניה אלמימית, וכן פירוק דיוקסינים ופוראנים על ידי חמצון.
- פילטר בד עם פחם פעיל קושר את הדיוקסינים והפוראנים הנותרים.
- הגזים עוברים אל הארובה ויוצאים אל האוויר. מערכת ניטור הפליטות ממוקמת ביציאת הגזים אל הארובה.



אפר תחתי ממתקן השבת אנרגיה



מנוף להעברת פסולת לתא הבעירה

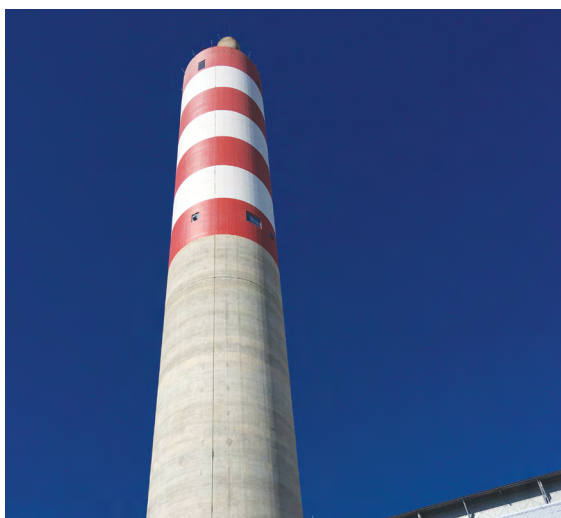
נספח ב'

בישראל, פעילות שריפת פסולת בשיעור העולה על 3 טון/שעה הינה פעילות טעונת היתר לפי חוק אוויר נקי (התשס"ח - 1998) המבוססת על ערכי הסף שנקבעו בדירקטיבה האירופית ה- IED. לפיכך, ובהתאם לחוק, מתקני ההשבה שיקומו בישראל יצטרכו לעמוד בחוק אוויר נקי ויוקמו בהתאם ל-Best Available Technology. תנאי לקבלת היתר בניה הינו הגשת בקשה להיתר פליטה ותנאי להפעלת המתקן הינו קבלת היתר פליטה לאוויר. חוק אוויר נקי (סעיף 23 (ד)) מאפשר קיומו של הליך משותף לאישור תכנית והיתר פליטה יחד.

ערכי סף (AIR EMISSION LIMIT VALUES) לפליטות מזהמים ממתקני השבת אנרגיה על פי חלק 3 מנספח 6 של הדירקטיבה האירופית ה- IED (Industrial Emission Directive)

הנחיות למתקני שריפת פסולת		ערך פליטה יממתי מ"ג/מק"ת	מזהם
ערך פליטה חצי שנתי	ערך פליטה חצי שנתי		
100%	97%		
60	10	10	HCl
4	2	1	HF
400	200	50	SOX
400	200	200	NOX
20	10	10	TOC
30	10	10	TPN
10		2	HBr
20		10	NH ₃
		ערך פליטה מרבי - 0.05	Hg
		ערך פליטה מרבי - 0.05	Cd+Ti
		ערך פליטה מרבי - 0.5	Sum Heavy Metals
		זמן דיגום 6-8 שעות, ערך מרבי: 0.1 ננוגרם/מק"ת	Dioxins+Furans

* HBr ו-NH₃ תוספת של הרגולציה בישראל



Valorsul Waste to Energy, Lisbon, Portugal



AEB Amsterdam Waste to Energy, The Netherlands

נספח ג'

ניצול אנרגיה במתקני השבת אנרגיה מפסולת

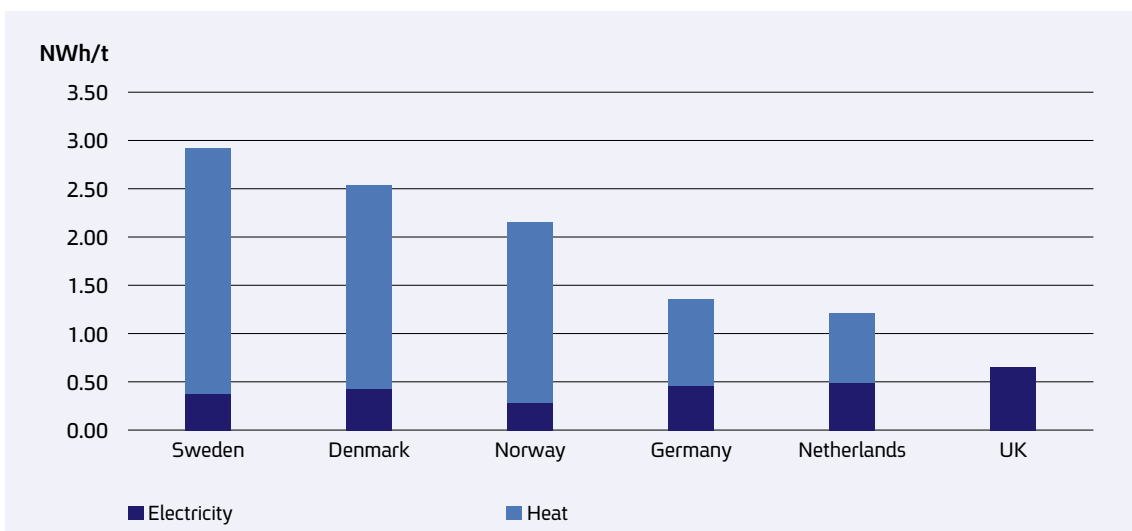
הפקת אנרגיה מפסולת עדיפה מבחינה סביבתית על הטמנה, ובתנאי שמדובר בפסולת שירית שאיננה ניתנת למיחזור, שהרכב הפסולת מתאים לטכנולוגיה של המתקן וכי המתקן פועל ביעילות מספיקה להפיכת הפסולת לאנרגיה. באופן כללי מתקן השבה מייצר לפחות 500 קוט"ש אנרגיה חשמל לטון פסולת וכ-1000 קוט"ש אנרגיה קיטור לטון פסולת. יחד עם זאת המתקנים החדשים המוקמים בשיטות המתקדמות יעילים הרבה יותר ויכולים לייצר 650-800 קוט"ש חשמל לטון פסולת. גז מטמנה מייצר בין 5-10 קוט"ש לטון אנרגיה חשמל בלבד¹².

לפיכך, השבת אנרגיה מפסולת אינה עוסקת בניהול פסולת בלבד, אלא מהווה מקור אנרגיה, שתורם לאבטחת מקורות האנרגיה ברמה הלאומית. מתקן השבת אנרגיה מפיק כמות גדולה של אנרגיה חום, כאשר תהליך המרה שמתבצע הופך חלק מאנרגיה זו לחשמל. עם זאת, יותר ויותר מתקנים שואפים להשתמש באנרגיה להפקת חום או קיטור וחשמל יחד. גישה זו נקראת Co-generation - שילוב אנרגיה חום וחשמל.

הביקוש לאנרגיה חשמל לעומת אנרגיה חום

במדינות צפון אירופה קיים ביקוש גבוה יותר למתקני השבת אנרגיה מאשר במדינות מרכז ודרום אירופה, עקב הביקוש הרב לאנרגיה חום לחימום בתי מגורים וכן לאזורי תעשייה. על מנת לעמוד בצריכת אנרגיה החום ולהבטיח את אספקת הפסולת, חלק מן המדינות הללו אף מייבאות RDF ממדינות אחרות ומנצלות את האנרגיה המופקת. הגרף הבא משווה בין הביקושים השונים במדינות המובילות בתחום השבת אנרגיה באירופה:

קצב יצירת אנרגיה לטון פסולת (2016)



בישראל אין דרישה לאנרגיה חום לצורך חימום בתי מגורים אך ישנו פוטנציאל לאנרגיה חום במגזר העסקי. לפיכך, יש לבחון ולהתאים את מיקום המתקן בהתאם לצרכנים הפוטנציאליים על מנת לשפר את הכדאיות הכלכלית בהקמה, כגון באזורי תעשייה או בקרבתן.

הגדרה של פסולת למיחזור ולהשבה לצורך הסדרה תעריפית

על מנת להבין את מנגנון ההסדרה התעריפית של פסולת לאנרגיה יש להתייחס בסיס העניין להבחנות שבין השבה וסילוק פסולת. דירקטיבת האיחוד האירופי מסווגת את סוגי הטיפול בפסולת עירונית מוצקה (MSW) באופן הבא:

- שימוש עיקרי כדלק כאמצעי אחר לייצור אנרגיה - R1
- מיחזור/השבה של חומרים אורגניים שאינם ממסים (כולל קומפוסטציה והפקת ביוגז) - R3
- מיחזור/השבה של מתכות - R4
- מיחזור/השבה של חומרים אנאורגניים - R5
- פעולת סילוק - הטמנה - D1
- פעולת סילוק - שריפה (ביבשה) ללא השבת אנרגיה - D10

בשנת 2003, נקבעו באירופה העקרונות להבחנה בין פעולות R1 (שריפת פסולת למטרת הפקת אנרגיה) לפעולות D10 (שריפה ללא השבה). כדי שתהליך יסווג כפעולה R1, עליו לעמוד בקריטריונים הבאים:

- שריפת הפסולת חייבת להפיק כמות רבה יותר של אנרגיה מהאנרגיה הנצרכת על ידי התהליך עצמו;
- החלק הגדול יותר של הפסולת חייב להתכלות במהלך הפעולה (כלומר רוב הפסולת נשרפת לעומת התוצרים)
- חובה להשיב את כמות האנרגיה הגדולה יותר שמופקת ולהשתמש בה (כחום או כחשמל);
- הפסולת חייבת להחליף את השימוש במקור אנרגיה עיקרי.



Leudelange Waste to Energy, Luxembourg

הסדרה תעריפית:

מעבר לדמי הכניסה למתקן ההשבה, החלק המשמעותי ביותר של הכנסות מתקן השבת אנרגיה הוא ממכירת אנרגיה ליצירת חשמל או חום, כאשר בחלק מהמדינות הוכרו מתקני השבת אנרגיה כמתקני לייצור אנרגיה מתחדשת ואף נקבע תעריף אטרקטיבי למכירת חשמל כדי לתמרץ הקמת מתקנים נוספים. יתרון משמעותי של מתקני ההשבה הוא שמדובר במקור אנרגיה רציף, וכך ניתן להשלים מקורות אנרגיה מתחדשים אחרים, כגון רוח או אנרגיה סולרית.

הדירקטיבה האירופית קובעת כעת כי מתקני השבת אנרגיה ייעודיים לטיפול בפסולת עירונית ניתנים לסיווג כ-R1 רק כאשר יעילות האנרגיה שלהם שווה לערכים הבאים או גבוהה מהם:

- 0.60 - להתקנות פעילות מותרות, בהתאם לחקיקה הקהילתית הרלוונטיות, לפני ה-1 בינואר 2009
 - 0.65 - להתקנות שהותרו לאחר ה-31 בדצמבר 2008
- הנוסחה המשמשת לחישוב ערך זה של יעילות האנרגיה, "נוסחת יעילות האנרגיה R1" היא:

$$\text{Energy Efficiency} = \frac{(E_p - (E_f + E_i))}{(0.97 \times (E_w + E_p))}$$

In which:

Ep - means annual energy produced as heat or electricity. It is calculated with energy in the form of electricity being multiplied by 2.6 and heat produced for commercial use multiplied by 1.1

Ef - means annual energy input to the system from fuels contributing to the production of steam

EW - means annual energy contained in the treated waste calculated using the lower calorific value of the waste

Ei - means annual energy imported excluding **Ew** and **Ef**

0.97 - is a factor accounting for energy losses due to bottom ash and radiation.

חלק מהחשמל שנוצר נחשב כאנרגיה מתחדשת (החלק הפריק ביולוגית של הפסולת) ועל כן ברגע שניתן להוכיח כי תהליך השבת האנרגיה מפסולת מהווה פעולת השבה בהתאם להגדרה ולחישוב האמור, מקבל חלק זה תעריף או מיסוי מיוחד. ניתן לבחון את האפשרויות לסבסוד ממשלתי באמצעות תעריפי הזנה (feed-in tariffs) או מנגנונים אחרים כגון זה הקיים בבריטניה (Renewable Obligations) לחומר האורגני בפסולת בכדי לאפשר ולעודד תפעול רווחי של תשתית זו.

בהתאם להחלטה 454 של סעיף 6.6 של הרשות לשירותים ציבוריים לעניין קביעת תעריפים לייצור חשמל מביומאסה ופסולת, השימוש בפסולת בלתי פריקה ביולוגית להפקת חשמל תיחשב מקור אנרגיה פוסילי, והשימוש בה יוגבל להיקף המותר במסגרת כללי משק החשמל. תעריף הבסיס למתקנים שיעשו שימוש בפסולת בלתי-פריקה ביולוגית או בדלק פוסילי אחר יעמוד על 38.4 אג' לקוט"ש מיוצר ויתעדכן שנתית בהתאם לנוסחה הקבועה בהחלטה זו. יובהר כי על מתקנים אשר יעשו שימוש בפסולת פריקה ביולוגית בלבד יוסיף לחול התעריף האמור בהחלטה 454, המתעדכן בהתאם לנוסחה הקבועה בהחלטה.

שוק החשמל בישראל

רקע

- צריכת החשמל השנתית בארץ עומדת על כ-65 מיליארד קוט"ש, וגדלה בקצב של כ-3.3% בשנה.
- שיא הביקושים בישראל בשנת 2015 נמדד על כ-12,905 MW.
- היקף הייצור המקסימלי המותקן בישראל נכון לתחילת שנת 2016 הינו 17,318 MW.

- חברת החשמל הינה החברה המובילה במשק החשמל בישראל ומייצרת כ-72% מהיקף החשמל במדינה. כושר הייצור המותקן שלה עומד על כ-13,600 MW, וביכולתה לספק את כל הביקוש.
- כושר הייצור המותקן הפרטי נכון לשנת 2016 עומד על כ-3,718 MW, המהווים כ-28% מהיקף ייצור החשמל המבוקש במדינה.

מדיניות הגברת התחרות בשוק

- קיימת מדיניות ממשלתית מובהקת להגברת התחרותיות במקטע ייצור החשמל, באמצעות חקיקה, פרסום מכרזים והסדרה תעריפית על מנת לעודד יזמים ויצרנים פרטיים להיכנס לשוק. כמו כן הממשלה אסרה על חברת החשמל לפתוח תחנות כוח נוספות.
- על פי דוח הרשות לחשמל, בשנת 2020 צפוי היקף הייצור המותקן ממקורות פרטיים להגיע לכ-40% מהיקף הייצור הכולל.
- כיום כ-2% מהיקף ייצור החשמל נעשה ממקורות אנרגיה מתחדשת.
- במסגרת החלטת ממשלה, נקבע יעד של ייצור אנרגיה ממקורות אנרגיה מתחדשת של 10% עד שנת 2020.
- לפיכך, מקטע הייצור נפתח לתחרות וכניסת יזמים פרטיים, אך מקטעי ההולכה והחלוקה נשארו בשליטת חברת החשמל.
- חברת החשמל מחויבת לחבר את היצרנים הפרטיים לרשת ההולכה והחלוקה ולכלל התשתיות הדרושות. כמו כן, חברת החשמל אחראית לגיבוי במקרה של קריסה/תקלה של יצרן פרטי.

אנרגיות מתחדשות

חלק ניכר מהפסולת לאנרגיה הנפוצה כיום במדינות האיחוד האירופי היא הביומסה או חומר אורגני (פריק ביולוגי), השייכת לתחום האנרגיות המתחדשות. זה גם המקרה בהתייחס לביומסה מפסולת עירונית המופרדת במקור. יודגש כי באירופה יש תעריף מועדף רק לאנרגיות מתחדשות, קרי מביומסה בלבד. הצפי הוא כי בשנת 2020 כמות האנרגיה המתחדשת המיוצרת מביומסה תוכל לספק לכ-22.9 מיליון תושבים אנרגיה ממקור מתחדש. בשל עלויות ההטמנה הגבוהות ברוב ממדינות אירופה, מובטחת הכדאיות הכלכלית של המיחזור, אך מאידך גם הכדאיות כלכלית גבוהה יותר של הפקת אנרגיה.

הגדרות הדירקטיבה האירופית לאנרגיה מתחדשת

בשנת 2009 קיבל האיחוד האירופי החלטה (DIRECTIVE 2009/28/EC) בדבר קידום השימוש באנרגיה ממקורות מתחדשים. להלן הגדרות רלוונטיות של הדירקטיבה (נספח א):

אנרגיות מתחדשות - שמש, רוח, ביומסה, גז מטמנות, גז ממט"שים וביוגז. ביומסה מוגדרת כחלק הפריק ביולוגית (Biodegradable) של פסולת, פסולת עירונית, פסולת תעשייתית ושל שאריות שמקורן הוא ממקור ביולוגי מחקלאות (לרבות רכיבים צמחיים ובעלי חיים), יער ותעשיות דומות כמו דיג וחקלאות ימית. הדירקטיבה מגדירה בנוסף תנאים מחייבים לקיימות עבור דלקים ממקור ביומסה.

הגדרות ארגון האנרגיה העולמי (IEA) לאנרגיה מתחדשת (1)

ארגון האנרגיה העולמי (IEA) מחלק את תחום האנרגיות המתחדשות לשלוש קבוצות עיקריות: ביודלקים ופסולת מתחדשת, הידרו ואחרים. אנרגיה מתחדשת היא כזו שהמקור שלה מתחדש באופן קבוע. אנרגיה זו כוללת בין היתר ביודלקים מוצקים ונוזליים, ביוגז, פסולת עירונית מתחדשת (נספח ב).

- ביוגז לייצור חשמל/חום מיוצר בעיקר מעיכול אנאירובי של ביודלקים ופסולת מוצקה

- בידולקים מוצקים מוגדרים באופן הבא:
 - חומר אורגני, לא פוסילי ממקור ביולוגי מהמקורות: עצים, פסולת עץ, פסולת מוצקה, כולל פסולת צמחית, חומרים מחיות, אשפה מחיות, חומרי לוואי ושאריות מייצור נייר.
 - פחם עץ- שאריות מוצקות מתהליך זיקוק ופירוליזה של עץ ומקור צמחי אחר.
- מטמנות, בוצת שפכים, פסולת בעלי חיים, משחטות, תעשיות מזון ממקור חקלאי.
- פסולת עירונית מתחדשת - החלק הפריק ביולוגית של הפסולת לייצור חום/חשמל.

נתוני ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות מדינות נבחרות¹³

מדינה	אחוז של אנרגיות מתחדשות במשק האנרגיה	אחוז יחסי של בידולקים ופסולת מתחדשת מסך אנרגיות מתחדשת במשק האנרגיה	אחוז יחסי של פסולת עירונית מתחדשת מסך בידולקים ופסולת מתחדשת במשק האנרגיה	אחוז מוחלט של אנרגיה המופקת מפסולת עירונית מתחדשת מכלל מקורות האנרגיה
OECD	7.6%	57%	9.5%	0.4%
, OECD אירופה	10.4%	60%	9.3%	0.58%
גרמניה	9.3%	78%	9.5%	0.7%
בלגיה	4.1%	90%	11%	0.4%
צרפת	7.9%	69.1%	8.3%	0.45%

מהנתונים של ארגון האנרגיה העולמי לעיל ניתן לראות כי המרכיב העיקרי של מקורות האנרגיה המתחדשת מפסולת הוא בידולקים - חומר פריק ביולוגית (ביומסה וביוגז).



AEB Amsterdam Waste to Energy, The Netherlands

נספח ד'

פליטות ממטמנות

פליטות גזי חממה

אחד ההיבטים העיקריים בניהול מטמנות פסולת עירונית ביחס להשפעות הסביבתיות הוא פליטות של גזי החממה (GHG). מחקרים שונים מוכיחים כי הטמנת פסולת עירונית היא בעלת ההשפעה הסביבתית השלילית ביותר מכל שיטות הטיפול מבחינת פוטנציאל התחממות גלובלית (GWP100), לאחריו שיטות של השבת אנרגיה ופחות מכך מיחזור. רכיב הפליטות העיקרי כתוצאה מהטמנת פסולת עירונית הוא המתאן (CH₄), שהינו הגז העיקרי האחראי לאפקט החממה ולאחריו CO₂ ו-N₂O.

אתרי ההטמנה תורמים ברמה העולמית לכ-10% מהפליטות של גזי החממה. פליטות גזי חממה חושבו על ידי סוכנות הסביבה האירופית, אשר זיהו את אחוז הפליטות בהתאם לסוגי המתקנים השונים לטיפול בפסולת כדלקמן¹⁴:

- הטמנה - 95%
- שריפת פסולת ללא השבת אנרגיה - 3%
- מיחזור - 2%

הרכיב הפריק ביולוגית בפסולת עירונית מייצר גז מתאן (CH₄) במשך עשרות שנים לאחר הטמנתו. גז המתאן הוא הגורם העיקרי לאפקט החממה. מסיבה זו, במדינות המתקדמות ביותר, הפסולת האורגנית מועברת למתקנים לטיפול ביולוגי, שהנם ניתן לקלוט את כל המתאן ולנצל אותו לטובת יצירת Bio-gas הנחשב כאנרגיה מתחדשת. את הפליטות של מתאן הנמדדות במטמנות יש לבחון ב-3 תקופות חיים שונות:

- שלב א' - מטמנה פעילה ולא מכוסה הפולטת מתאן ופחמן דו חמצני בעקבות פעילות של חיידקים אירוביים ואנאירוביים. רוב הפליטות הם גז מתאן (50-60%) ו-CO₂ (40-50%). הפליטות מתחילות להיווצר כחצי שנה לאחר הטמנת הפסולת באתר ומגיעה לשיאה לאחר כ-20 שנה. המתאן משתחרר לסביבה וגם נלכד בתוך המטמנה.
- שלב ב' - השלב המתאנוגני - המטמנה אטומה ומייצרת כמות משמעותית של מתאן. כמות המתאן המיוצרת תלויה בכמות החומר הפריק ביולוגי הנמצא בפסולת.
- שלב ג' - לאחר סגירת המטמנה חומרים שונים ממשיכים להתפרק בקצב משתנה וממשיכים לייצר מתאן וגזים נוספים לתקופה בלתי מוגבלת.

האתגר הגדול הוא לתפוס את המתאן, במיוחד בשלב השני, ולייצר אנרגיה על ידי בעירה. באופן כללי, לכידת המתאן בצורה היעילה ביותר אפשרית כשתאי המטמנה מלאים ומכוסים. עד אז, המתאן משתחרר לסביבה באופן מבוקר חלקית. על פי מחקרים שונים, אחוז ההשבה של מתאן למטרת יצירת אנרגיה עומד על כ-50% במטמנות המתקדמות ביותר אך ברוב המטמנות, לא ניתן להגיע ליעילות כזו. יעילות השבת האנרגיה מגז מתאן ממטמנות עומדת על כ-33% ביצירת חשמל. משוואה לחישוב מניעת פליטות ממטמנות:

$$\text{ECO}_2 \text{ savings} = \text{methane for recovery (kg)} \cdot \text{HHV (MJ/kg)} \cdot \text{efficiency (33\%)} \cdot \text{CO}_2 \text{ emissions/MJ for electricity}$$

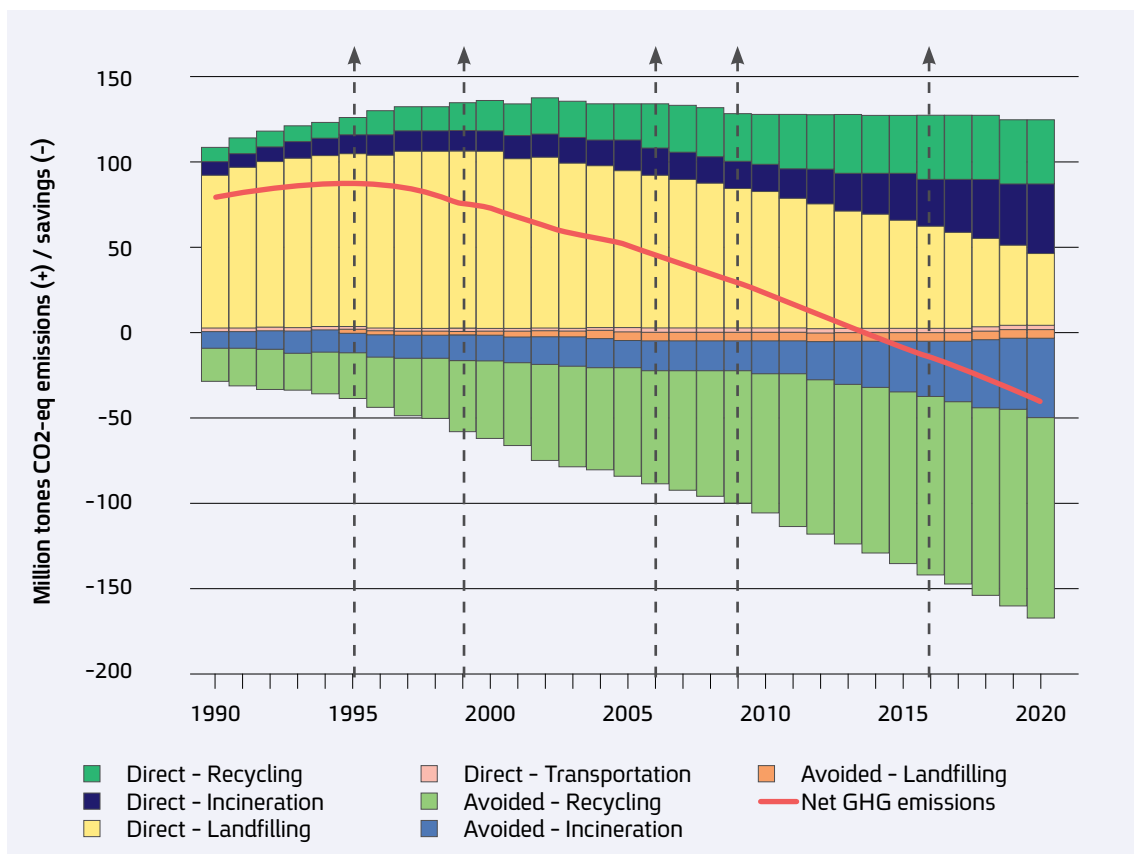
פחמן דו חמצני

הרכיב השני המשפיע על פוטנציאל אפקט החממה הוא CO₂. כ-297 ק"ג לשעה של פחמן דו חמצני נפלטים על כל טון פסולת. לפיכך, הטמנת הפסולת בישראל גורמת לייצור של כ-1,200,000 טון CO₂eq בשנה. לשם השוואה, כמות זו שווה לפליטות השנתיות של כ-250,000 רכבים פרטיים.

השימוש בפסולת עירונית (MSW) כמקור אנרגיה היא סביבתית יותר משאר החלופות האנרגטיות (פחם, דלק, גז טבעי), מבחינת שחרור CO₂. הטבלה הבאה מתארת את הפליטות של CO₂ ממקורות אנרגיה שונים.

FUEL	CO ₂ (Pounds per megawatt hour)
MSW	1016
Coal	2249
Oil	1672
Natural Gas	1135

בהשוואה בין חלופות שונות לטיפול בפסולת (מיחזור, השבה, הטמנה) ניתן לראות כי מיחזור והשבת אנרגיה חוסכות בפליטות של CO₂ ביחס לחלופת הטמנה. הגרף הבא מתאר את החיסכון בפליטות CO₂ כתוצאה משיטות טיפול שונות:



תרכובות חנקן

ביחס לשיטות טיפול אחרות, ההטמנה יוצרת את התרומה הגדולה ביותר של פליטת NOx ואמוניה כתוצאה משריפת גזים ומפליטות אחרות המורכבות מחנקן וזרחן. השיטות לטיפול ביולוגי מייצרות פליטות באחוזים דומים כך שבהשוואה בין הטמנה לטיפול ביולוגי - פוטנציאל זה זהה.

פליטות של גזים נוספים

כאחוז אחד (1%) מהפליטות במטמנה כוללים כ-120 עד 150 גזים שונים בעלי השפעות טוקסיקולוגיות שונות. בניגוד למתקנים להשבת אנרגיה שבהם יש טכנולוגיות מתקדמות ביותר לטיפול וניטרול גזים מסוכנים, במטמנות גזים אלו נפלטים לסביבה. המטמנה המייצרת גם תרכובות אורגניות נדיפות (ללא מתאן). הטבלה הבאה מופיעים חלק מן החומרים בעלי ההשפעה הטוקסיקולוגית הגבוהים ביותר הנפלטת ממטמנה.¹⁵

Benzene	Chloroethane	Chloroethene	2-butoxy ethanol
Arsenic	Mercury	Methanal	1,3-butadiene
1,1-dichloroethane	1,1-dichloroethene	Tetrachloromethane	Trichloroethene
Hydrogen sulphide	Furan	1,2-dichloroethene	Carbon disulphide
Chloromethane	Tetrachlorodibenzodioxin		



מטמנת חרובית ליד בית שמש

נספח ה'

מודל כלכלי בסיסי להקמת מתקן להשבת אנרגיה - רציונל

לצורך הערכת המשרד להגנת הסביבה את ההיבט הכלכלי של הקמה ותפעול של מתקן השבת אנרגיה גובש מודל בסיסי ומופשט שנועד לבדוק היתכנות ולספק סדר גודל ראשוני בדבר המאפיינים הכלכליים וההיבטים העיקריים שיש להביא בחשבון, באמצעות מנגנון מימוני המשלב את המגזר הציבורי והפרטי יחד. מבנה Public Private Partnership הוא מנגנון המימוני הנפוץ ביותר בעולם כיום להקמת מתקני השבת אנרגיה מפסולת. מנגנון כזה מוכח כיעיל בהבטחת הפרויקט - הקמה, תפעול וניהול לטווח הרחוק. המנגנון נועד לשקף היבטים כלכליים מנקודת מבטו של היזם ושל הגוף המממן בבואם להשקיע בפרויקט, ומנקודת מבטה של המדינה או הרשות המקומית שמספקת את התנאים הדרושים ליצירת כדאיות כלכלית לפרויקט. המודל נועד להביא לתשואה המינימלית הסבירה על ההון העצמי של היזם ולספק את התמיכה הממשלתית הדרושה להשגת תשואה.

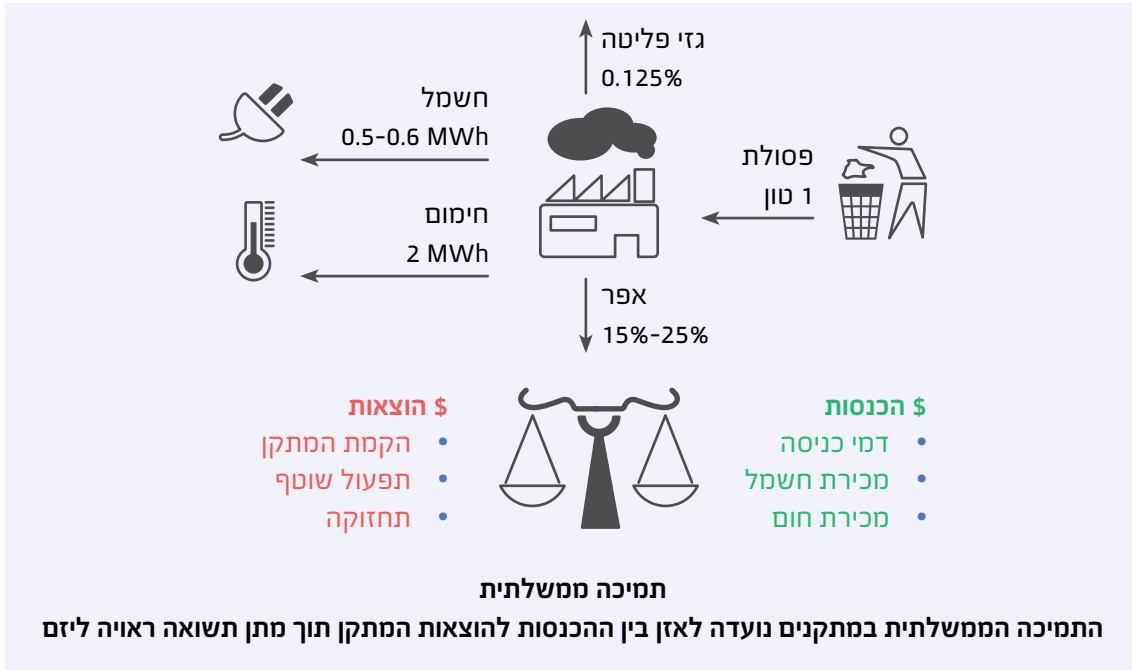
המטרה במודל המוצע היא לקבוע בצורה טובה יותר את גודל התמיכה הממשלתית הדרושה למתקן להשבת אנרגיה בישראל. במודל נלקחו בחשבון האילוצים והמגבלות של השוק, דוגמת: סדרי הגודל של התקציבים הנדרשים בבניית מתקן, היקף התמיכה הממשלתית הדרושה, מחיר מבוקש ל-MWh המיוצר במתקן, מחיר כניסה לטון פסולת, תעריפי חשמל נדרשים.

ריכוז הנחות מרכזיות להקמת מתקן להשבת אנרגיה בישראל

ערך	פירוט	כללי
500-550 אלף טון בשנה	כמות פסולת מטופלת	כללי
1.05 מיליארד ש"ח (550 דולר לטון)	עלות הקמה	הוצאות
13%	תשואה מינימלית ליזם	רווחים
220 ש"ח לטון	דמי כניסה למתקן	הכנסות
התעריף המוצג במודל הכלכלי הינו תעריף לביו-מסה אשר עומד על 0.384 שקל לקוט"ש.	מחיר מכירת חשמל	הכנסות
40 \$ לטון	עלות תפעולית	הוצאות
73.5 מיליון ש"ח (75% מעלות ההקמה)	עלות אחזקה שנתית	הוצאות

על מנת ליצור כדאיות כלכלית למגזר הפרטי להקמת המתקן ישנו צורך ביצירת ודאות של מקורות ההכנסה למתקן בדרכים הבאות:

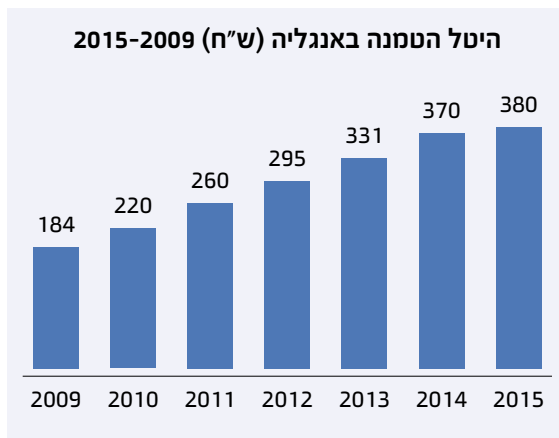
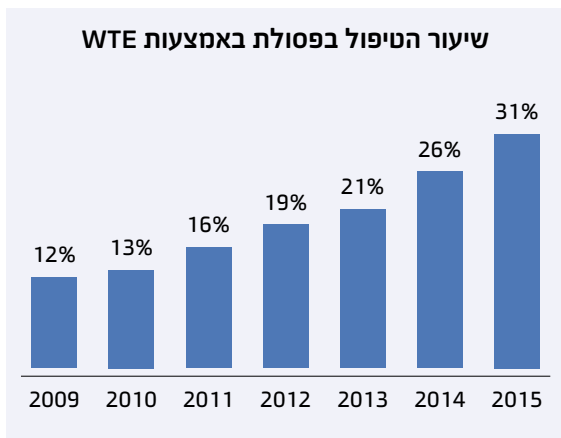
- העלאת היטל ההטמנה ויצירת מתווה ברור לטווח הארוך
- מתן מענקי הקמה ממשלתיים
- יצירת תעריף אנרגיה מיוחד להשבת אנרגיה מפסולת
- קביעת רשתות בטחון
- עידוד ספציפי לטכנולוגיות של טיפול תרמי בפסולת (כגון החלטת ממשלה)



דוגמאות לשוק השבת אנרגיה בבריטניה

שוק ה-WTE באנגליה¹⁶

- לפני כעשור שיעורי ההטמנה וייצור הפסולת לנפש באנגליה היו דומים לשיעורים כיום בישראל, אך מספר מהלכים מרכזיים קירבו את המדינה לעמידה ביעדי האיחוד האירופי.
- על מנת לעודד טיפול בפסולת בצורות שהינן ידידותיות לסביבה, מאז שנת 2009 החל היטל ההטמנה לעלות בצורה דרסטית, עלייה של כ-122.5% על פני 9 שנים.
- בנוסף ניתנו תמריצים כספיים לפיתוח התחום כגון תעריפים מובטחים לאנרגיות מתחדשות ומענקים בסך 3.6 מיליארד ליש"ט לכ-30 פרויקטים.
- בין השנים 2008 ו-2015 עלה שיעור הפסולת המטופלת באמצעות WTE בבריטניה מ-10% ל-31%.



מתודולוגיה לבחינת עלות הקמה בישראל

לצורך ניתוח הדרישות התקציביות והתפעוליות קובעו במודל חלק מהמשתנים על מנת לבחון את ההשפעה הכלכלית מנקודות המבט של היזם ושל התמיכה הממשלתית הנדרשת כתוצאה משינוי בפרמטרים האחרים. יש לציין כי מדובר במנגנון ראשוני שנועד לבחון את ההיתכנות של פרויקטים של השבת אנרגיה בישראל.

המודל מתבסס על מאפיינים גנריים של מתקן להשבת אנרגיה מפסולת ולא מתייחס כלל למאפיינים הספציפיים שיידרשו בעת הקמת מתקן בישראל, זאת למעט גודל המתקן. לא הובאו בחשבון היבטים טכניים כגון: המאפיינים הפיזיים של המתקן גודל, כמות טורבינות, היקף הפקת חשמל ועוד. על מנת להפעיל את המודל, גובשו הערכות שמרניות ובהמשך המדינה תצטרך לבנות מודל כלכלי מפורט המבוסס על כלל המאפיינים הספציפיים של המתקן המתוכן שיכלול בין היתר את המאפיינים הפיזיים של המתקן מאפייני הפסולת, טכנולוגיה רצויה, מיקום המתקן, מגבלות פיזיות, מגבלות רגולטוריות וכו'. בניית המודל המפורט תידרש להתבצע בשיתוף עם יועצים כלכליים וטכניים בעלי ניסיון בינלאומי מוכח בתחום.

נבחנו 13 מתקני השבת אנרגיה ממדינות שונות בעולם, שהינם בעלי היקף טיפול שנתי בפסולת בין 250-750 טון בשנה. חושב לכל מתקן רלבנטי יחס עלות הקמה לטון פסולת. בוצע ממוצע של היחסים הנ"ל שסיפק "כלל אצבע" שניתן יהיה לעבוד בעתיד.

ריכוז דוגמאות למתקני השבה בהיקף של בין 245 - 730 אלף טון פסולת בשנה

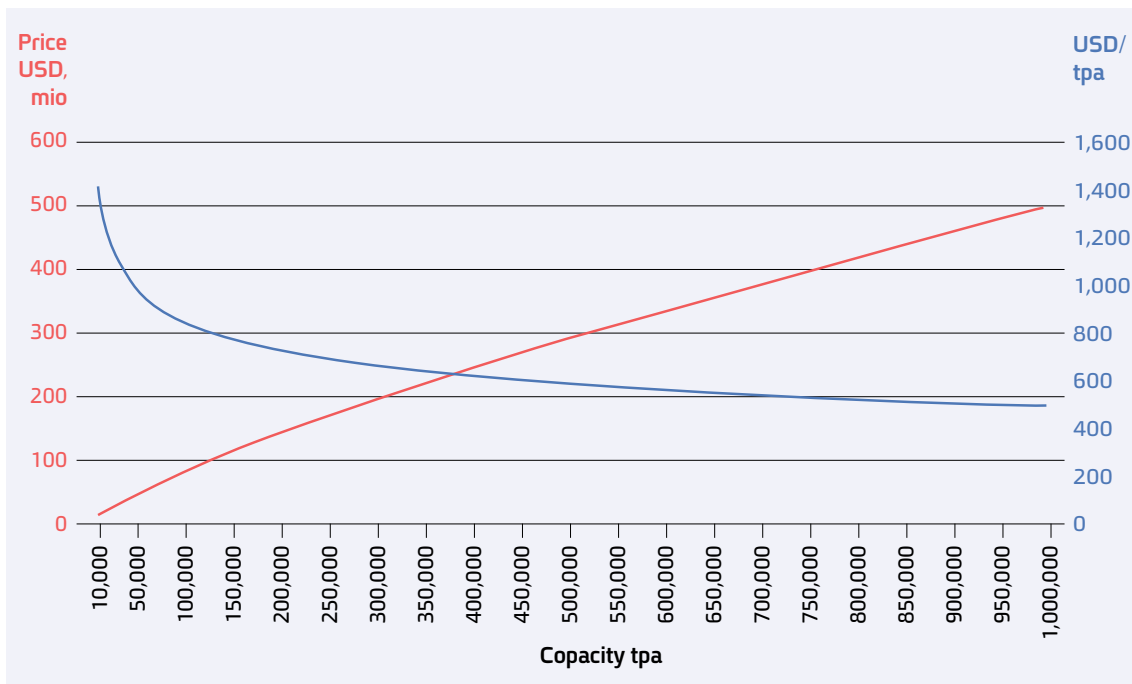
מדינה	טיפול טונות בשנה	עלות מתקן (דולר)	עלות הקמה לטון (דולר)
אנגליה - Glamorgan	350,000	286,000,000	817
אנגליה - Berkshire	400,000	205,000,000	512
אנגליה - Portsmouth Devon	245,000	241,000,000	983
אנגליה - Greatmoor	300,000	200,000,000	666
הולנד - Amsterdam	530,000	396,000,000	747
הולנד - Delfzijl	275,000	176,000,000	640
צרפת Paris-Ivry	690,000	535,000,000	775
צרפת Issy Molineux	440,000	478,000,000 (ללא עלות החלק התת קרקעי)	1085
איטליה - Scarpino, Genova	500,000	256,000,000	512
רוסיה - MSZ-3	360,000	187,000,000	519
ספרד	730,000	365,000,000	500
פורטוגל - Valorsul	662,000	180,000,000	271
איטליה - Acerra	600,000	380,000,000	633
לוקסמבורג	160,000	120,000,000	746
		ממוצע עלות הקמה לטון	671

נמצא כי הממוצע עומד על 2,415 ש"ח לטון, כלומר על היקף פסולת של כ-500 אלף טון בשנה עלות ההקמה המוערכת היא כ-1.2 מיליוני ש"ח לטון.

עלות הקמת מתקן להשבת אנרגיה מפסולת מורכבת ממשתנים רבים וישנם הבדלים מהותיים בעלות ההקמה של מתקני השבה בין מדינות שונות, ואף באותה מדינה. נמצא כי בסין עלויות ההקמה נמוכות משמעותית מעלויות ההקמה בארה"ב ובמדינות האיחוד האירופי. עלות ההקמה ממוצעת לטון בסין עומדת על כ-200 דולר, ולשם השוואה עלות ההקמה הממוצעת בארה"ב עמדה על כ-400 דולר, ו-550 דולר בממוצע במדינות אירופה. כלומר,

עפ"י העלויות הנ"ל עלותה הקמה לטון עומדת על בין 750 - 2000 ₪ לטון פסולת. משמע עלות מתקן שיטפל בכ-500 אלף טון פסולת בשנה תהיה 370 מלש"ח - 1.2 מיליארד ₪. לפיכך, על מנת להגיע לעלות הקמה מדויקת ישנו צורך בהבהרה של כלל הנקודות להלן ובמעורבות של מומחים בתחום. הגרף הבא מציג את ה-CAPEX של מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת כתלות במחיר ההקמה (בדולר) לעומת כמות הפסולת (בטון) הנקלטת במתקן בשנה. על פי הנוסחה הבאה ניתן לחשב את ה-CAPEX של מתקן להשבת אנרגיה מפסולת, עלות ההון של מתקן השבה שקולט 550,000 טון פסולת בשנה הוא 313 מיליון דולר עבור מתקנים המייצרים חשמל בלבד.

עלות ההון (CAPEX) של מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת¹⁷



המשתנים העיקריים הכלולים בעלות ההון של מתקן השבת אנרגיה:

- מאפייני המתקן (טכנולוגיה, גודל, תשתיות נילוות, עיצוב אדריכלי ועוד)
- מספר קווי הייצור - כמות הטורבינות, תנורי החימום וכו'
- הרכב הפסולת - במיוחד ביחס לערך הקלורי
- מיקום המתקן, מגבלות פיזיות וגיאוגרפיות
- מגבלות רגולטוריות
- מבנה המכרז
- עלויות תפעוליות
- דמי כניסה (לטון פסולת)
- הכנסות ממכירת חשמל / חום
- הכנסות ממכירת פסולת ממוינת / חומרים ממוחזרים כגון מתכות ואפר

ניתוח רגישות לפעילות המתקן - תמיכה ממשלתית

טבלת רגישות להיקף התמיכה הממשלתית תוך מתן תשואה של 13% ליזם						
מחירי כניסת פסולת לטון						
300	250	235	230	225	220	
547,324	752,438	814,079	835,334	856,589	877,840	350
492,485	695,308	758,318	779,275	799,607	820,455	384
431,690	634,572	697,367	718,838	739,115	760,781	420
219,850	425,222	486,155	504,828	526,788	545,588	550
138,439	341,495	403,150	424,631	443,898	465,212	600

מחיר מכירת חשמל (MWh)

על פי הנחות היסוד נדרשת תמיכה בסך 820 מיליון ש"ח להקמת המתקן על מנת להפוך את הפרויקט לכלכלי (77% מעלות ההקמה)

* במצב של מימון ממשלתי מלא של המתקן מחיר הכניסה המינימאלי יעמוד על 168 ש"ח לטון

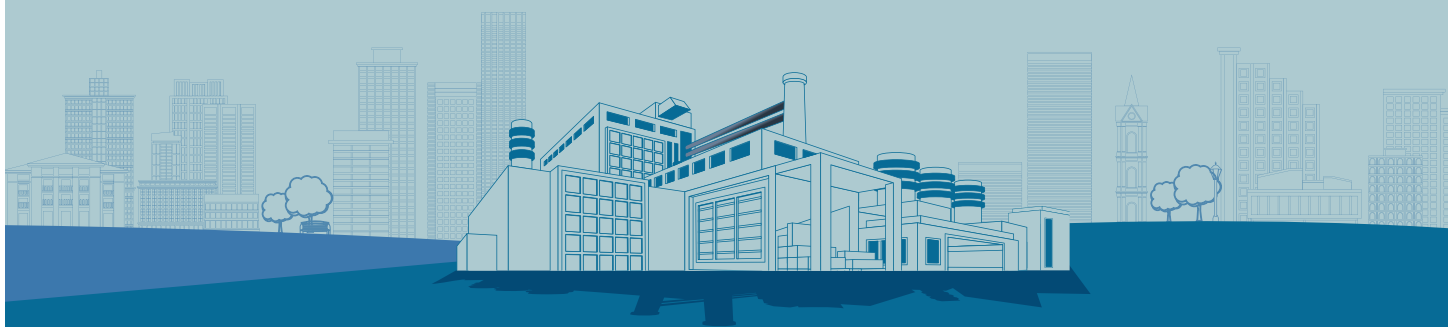
ניתוח רגישות לפעילות המתקן - תשואה ליזם

טבלת רגישות להיקף התמיכה הממשלתית תוך מתן תשואה של 13% ליזם						
מחירי כניסת פסולת לטון						
300	250	235	230	225	220	
25%	16%	12%	11%	9%	8%	350
28%	19%	15%	14%	13%	11%	384
30%	21%	18%	17%	16%	15%	420
37%	30%	28%	27%	26%	25%	550
40%	33%	31%	30%	29%	29%	600

מחיר מכירת חשמל (MWh)

רשימה בבליוגרפית

- <http://cr-enviro.com/our-product/waste-to-energy> 1
Directive 2008/98 2
אתר האיחוד האירופאי בנושא דירקטיבת פסולת 3
- <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264235199-en.pdf?expires=153554> :OECD Library 4
[6745&id=id&accname=ocid71016392&checksum=A7E9354AB0CFAB0F9631F24A4FC4DE50](https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264235199-en.pdf?expires=153554&id=id&accname=ocid71016392&checksum=A7E9354AB0CFAB0F9631F24A4FC4DE50)
- <http://www.cewep.eu/2017/09/07/waste-to-energy-plants-in-europe-in-2015/> CEWEP 5
WTERT - Earth Engineering Center of Columbia University 6
- Better management of municipal waste will reduce greenhouse gas emissions - Supporting 7
document to EEA Briefing 2008/01
https://www.eea.europa.eu/.../Supporting_document_to_EEA_Briefing_2008-01.pdf
EU Landfill Directive 8
- [Environmental and Economical Assessment of MSW Management in Europe: An Analysis between](#) 9
[the Landfill and WTE Impacts](#)
Waste Incineration Directive 10
- [Diverting waste from landfill - Effectiveness of waste-management policies in the European Union](#) 11
United States Environmental Protection Agency 12
IEA-Renewables Information 2011 Edition 13
- <https://ec.europa.eu/eurostat/> :Greenhouse gas emissions from waste disposal, Eurostat, 2014 14
[statistics-explained/index.php/Archive:Greenhouse_gas_emissions_from_waste_disposal](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Archive:Greenhouse_gas_emissions_from_waste_disposal)
- Investigation of the Composition and Emissions of Trace Components in Landfill Gas R&D 15
Technical Report P1-438/TR T. Parker, J. Dottridge, and S. Kelly
<http://gassim.co.uk/documents/P1-438-TR%20Composition%20of%20Trace%20Components%20in%20LFG.pdf>
- Government Review of Waste Policy in England 2011, Waste Management Plan for England - July 16
[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69402/pb13542-action-plan-.pdf) 2013
[file/69402/pb13542-action-plan-.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69402/pb13542-action-plan-.pdf)
Waste to Energy International 17



לצד

www.sviva.gov.il