

**מסמך מדיניות לקידום הקמת
מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת עירונית בישראל
(Waste to Energy)**

מוגש לאישור המועצה הארצית לתכנון ובניה

2.1.2018

**האגף לטיפול בפסולת
אשכול שלטון מקומי, חינוך וקהילה
המשרד להגנת הסביבה**



ראשי פרקים:

הגדרות

השבת אנרגיה מפסולת עירונית בישראל – עיקרי הדברים

פרק 1 - השבת אנרגיה מפסולת - תיאור כללי

פרק 2 - המצב בעולם

פרק 3 - מצב הפסולת העירונית בישראל

פרק 4 – השוואה בין הטמנת פסולת עירונית לפני טכנולוגית השבת אנרגיה מפסולת

פרק 5 – מדינת ישראל – יעדים לניהול פסולת עירונית

פרק 6 – הקמת מתקני השבת אנרגיה בישראל

פרק 7 – תכנון מתקני השבת אנרגיה בישראל

פרק 8 - סיכום

נספח א' – שלבים טכניים בתפעול מתקן להשבת אנרגיה מפסולת

נספח ב' – ערכי סף לפליטות מזהמים על פי הדירקטיבה האירופית להשבת אנרגיה

נספח ג' - ניצול אנרגיה במתקן להשבת אנרגיה

נספח ד' – פליטות ממטמנות

נספח ה' – מודל כלכלי בסיסי להקמת מתקני השבת אנרגיה בישראל

נספח ו' – מעורבות הציבור

הגדרות

- אתר או אתר פסולת - שטח המשמש לטיפול בפסולת, ובכלל זה תחנת מעבר ;
- הטמנה - סילוק פסולת באמצעות הטמנתה בקרקע וכיסוייה ;
- 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 לשם הפקת אנרגיה המתבצע במתקן באמצעות חימום
- 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 אינרטיית ופסולת גושית.
- פסולת מסוכנת - כהגדרתה בתקנות רישוי עסקים (סילוק פסולת חומרים מסוכנים) התשנ"א-8661 ;
- 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 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/8666/58) ונספחיה (EC/0115/55) 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 8 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 להטמנה ולהשתמש בפסולת כחומר גלם להפקת אנרגיה. מדינות האיחוד האירופי מצטיינות בצמצום ההטמנה עושות זאת על ידי שילוב טכנולוגיות של מיחזור והשבת אנרגיה, וכן קידום מדיניות של הפחתה במקור של פסולת. המיחזור כולל ניצול של זרמים ייעודיים והפיכתם לחומר גלם שניוני (זכוכית, נייר, פלסטיק, מתכות וכו') וטיפול בחומר פריק ביולוגי (בשיטות של כגון עיכול אנאירובי וקומפוסטציה). הטכנולוגיה העיקרית והמוכחת להשבת אנרגיה מפסולת (Waste to Energy) היא בשיטה של Incineration. בנוסף, מדינות האיחוד קובעות מנגנונים רגולטוריים התורמים להעלאת שיעורי המיחזור וההשבה כגון היטל הטמנה גבוה 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 מתוחזקים תחת הנחיות הדירקטיבה האירופית ונדרשים לעמוד בכל התנאים המחמירים ביותר לעניין פליטות ומזהמים. הטכנולוגיות לטיפול בפליטות יעילות ביותר ומאפשרות למתקנים אלו לעמוד בהיתרי הפליטות ואף להציג תוצאות הרבה יותר טובות מהנדרש.

יחד עם זאת, הטמנת פסולת היא עדיין החלופה הנפוצה ביותר ברוב מדינות העולם 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 מכוון 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.

הקמת מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת עירונית עתידה להוות חלופה ממשית לבעיית נפח ההטמנה, המחסור בשטחים להטמנת הפסולת בישראל ולצמצום הנזקים הסביבתיים הנלווים להטמנה. בהתאם לגידול האוכלוסין וכמות הפסולת הצפויה, הערכות המשרד להגנת הסביבה הן כי יש צורך בהקמת עד 5 מתקני השבת אנרגיה עד לשנת 2030 בפריסה ארצית ובקרבת מרכזי ייצור הפסולת. המשרד להגנת הסביבה רואה בהקמת מתקנים כאלו 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 מודל המשלב השקעות של המגזר הציבורי והפרטי דוגמת PPP. המשרד רואה לנכון לפעול ואף ליזום את הקמתם של מתקני ההשבה הראשונים בישראל על מנת לייצר שוק חדש וביקוש לטכנולוגיה מסוג זה.

מסמך זה מתבסס על מידע רב שנאסף מגופים רשמיים בתחום כגון ארגון הסביבה האירופי, OECD, CEWEP, ISWA, וכן ממידע שהתקבל ממומחים בתחום ניהול פסולת והשבת אנרגיה מגרמניה, אוסטריה ובריטניה שיעצו למשרד להגנת הסביבה במסגרת פרויקט TWINNING במימון האיחוד האירופי.



תמונה מס' 1: מתקן להשבת אנרגיה בפריז - ISSEANE, Waste to Energy Paris

1. השבת אנרגיה מפסולת - תיאור כללי

הטיפול התרמי (Thermal treatment) מתייחס למגוון טכנולוגיות לטיפול בפסולת הכוללות שימוש בחום גבוה תחת תנאים מבוקרים. 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 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 והפקת אנרגיה ליצירת חשמל או חום/קיטור לשימוש ביתי או תעשייתי. כיום, זוהי הטכנולוגיה המובילה ונחשבת למוכחת והאמינה ביותר בתחום השבת אנרגיה מפסולת ואמצעי יעיל לטיפול בפסולת שאיננה ניתנת למיחזור או לפסולת שירית (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).

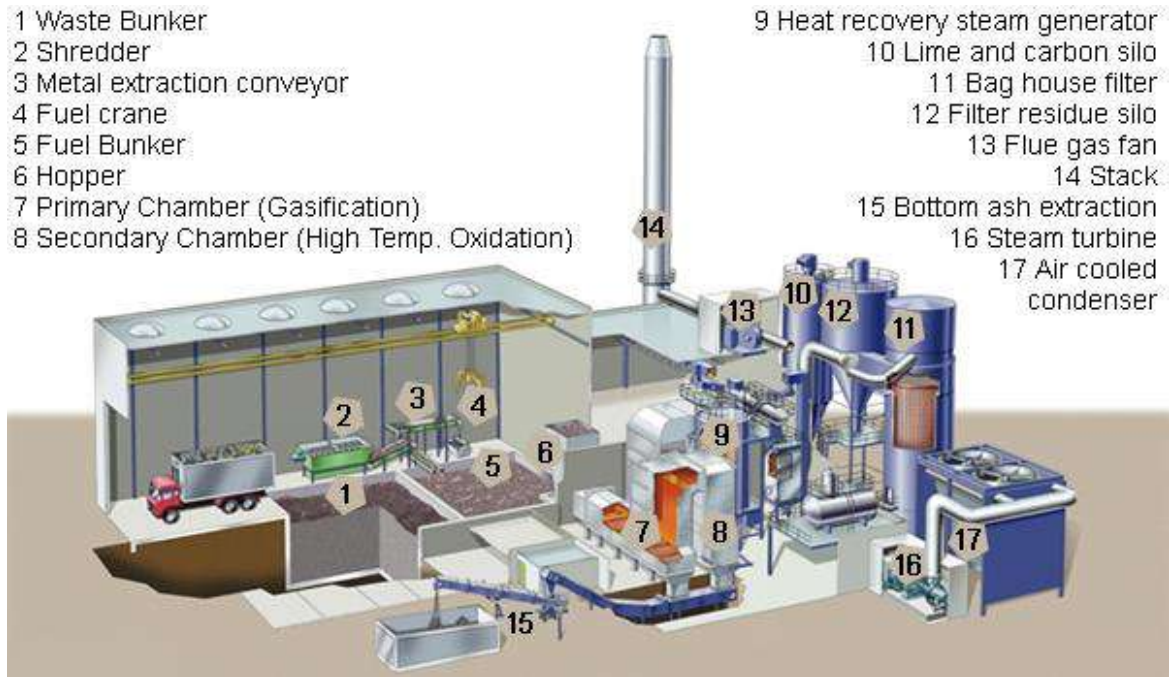
טכנולוגיות אחרות לטיפול תרמי כגון גזיפיקציה, פירוליזה הן שיטות חדשות יותר להפקת גז. בעולם ישנם מתקנים בודדים שהצליחו ורוב המתקנים מטפלים בפסולת ההומוגנית או שהם בחזקת מתקני ניסוי קטנים שעוברים התאמה לפסולת עירונית. טכנולוגיות פירוק גזי אצילות כגון פלסמה או הידרוליזה, ישימות עוד פחות מהקבוצה הנזכרת לעיל. 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 במתקן סגור ומבוקר 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 פריק ביולוגי) מחולצים קודם לכן בהסדר הפרדה במקור או במתקני מיון. הפסולת השירית שאיננה ניתנת למיחזור מועברת לשריפה במתקן ההשבה.

האנרגיה המופקת בתהליך משמשת לייצור חשמל או חום/קיטור. עם סיום התהליך, הפסולת מצטמצמת לכ-10% מנפחה המקורי ולכ-20% ממשקלה.

איור מס' 1: מתקן השבת אנרגיה מפסולת



<http://cr-enviro.com/our-product/waste-to-energy>

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

1. קליטת הפסולת בבור קליטה וערבוב
2. בעירה מבוקרת
3. הפקת אנרגיה (חשמל / חום)
4. טיפול בפליטות ובאפר הנפלטים מהתהליך
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 המצטרף לכל הנ"ל ומפונה לאתר פסולת או ממוחזר כחומר גלם לתשתיות. אפר זה מהווה בין 15 ל 20% מהתוצרים.
2. אפר מרחף (Flu 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 המשרד להגנת הסביבה - מסמך רקע להקמת מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת 7

מתקן להשבת אנרגיה מפסולת בשיטת Incineration מתכוון לעמוד בתקני איכות אויר המחמירים ביותר במטרה לטפל בפליטות באופן המקסימלי על מנת למנוע מפגעים סביבתיים. הפליטות במתקנים מבוקרים ומנוטרים באופן רציף בעזרת מערכות (CEMS) וכן מנוטרים בפתחי הארובות.

לשם הטיפול בפליטות קבע האיחוד האירופי דירקטיבה להשבת אנרגיה (Waste Incineration Directive)¹ ובה נקבעו הנחיות מחייבות לכל מדינות האיחוד עבור מתקנים מסוג זה. הדירקטיבה קבעה כי כל המתקנים יתוכננו, ייבנו ויופעלו באופן כזה שלא יעברו את ערכי הסף שנקבעו בנספח 2 (Annex II) ונספח 5 (Annex V) של הדירקטיבה עבור המזהמים הבאים: דיאוקסינים ופורנים, חלקיקים, תרכובות אורגניות (TOC), תחמוצות גופרית (SOx) ותחמוצות חנקן (NOx), גזים חומציים (HCl, HF), ומתכות כבדות (Mercury (Hg), Antimony (Sb), Arsenic (As), Lead (Pb), Chromium (Cr), Cobalt (Co), Copper (Cu), Manganese (Mn), Nickel (Ni), Vanadium (V) ו-Thallium (Tl)-Cadmium (Cd).

במתקנים המתקדמים להשבת אנרגיה, קיימות טכנולוגיות הנדסיות מורכבות שמטרתן למזער את הפליטות לאוויר ולייעל את תהליכי יצירת האנרגיה בדרכים ידידותיות לסביבה ותחת תנאים מבוקרים ומחמירים ביותר. מערכת הפליטות (Flue Gas System) מנטרל את החומרים המסוכנים. מערכות אלו מורכבות ממערכות שונות, כגון מערכות שיקוע מכאניות, מערכות שיקוע אלקטרוסטטיות; מערכות שיקוע רטובות למשקעים (scrubber), ועוד. טכנולוגית לניקוי הפליטות במתקני השבה, יעילות גם בהפחתת של גזי החממה.

בישראל, פעילות שריפת פסולת בשיעור העולה על 3 טון/שעה הינה פעילות טעונה היתר לפי חוק אוויר נקי (התשס"ח - 1998) המבוססת על ערכי הסף שנקבעו בדירקטיבה האירופית להשבת אנרגיה. 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. התאמת הליך זה למקרה הנוכחי תיבחן בהמשך.

נספח ב' – מפרט את סף הפליטות המקסימלי (Air Emission Limit Values) עבור מזהמים ממתקני השבת אנרגיה לפי נספח 5 של הדירקטיבה האירופית להשבת אנרגיה מפסולת.

¹ [Waste Incineration Directive](#)

2. 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, 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 פסולת מוצקה להטמנה. יעד האיחוד האירופי לשנת 2030 הוא 10% הטמנה בלבד, וכל מדינות האיחוד (EU-28) נדרשות להמשיך במאמצים למציאת פתרונות לפסולת על מנת לעמוד ביעד זה.

אמנם, לא כל מדינות איחוד עומדות ביעד זה, וגם המדינות המתקדמות ביותר הגיעו ליעד לאחר שנים רבות של הטמעת מדיניות, פיתוח תשתיות וחקיקה תומכת.

איור מס' 2: היררכיית הטיפול בפסולת³



באופן כללי, הניסיון האירופי מראה כי הפרדת הפסולת במקור (כגון אריזות, זכוכית, פלסטיק, מוצרים אלקטרוניים, שאריות מזון וגזם עירוני) היא המנגנון המרכזי שבעזרתו המדינות הללו מתקדמות לעבר עמידה ביעדי המיחזור. כיום, השבת אנרגיה מפסולת נחשבת כשיטה משלימה למיחזור שנועדה לצמצם את ההטמנה של פסולת שאיננה ניתנת למיחזור והיא כלי יעיל לטיפול בפסולת מבחינה סביבתית וכלכלית. רוב המדינות באיחוד האירופי עושות כל מאמץ לעמוד ביעדי המיחזור המאתגרים גם כן, אך שואפות לכך שגם שווקי 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 את הסתה של הפסולת ממיחזור, קבע האיחוד האירופי יעד מיחזור שאפתני של 65% בשנת 2030 ואף מתכוון להעלות יעד זה בעתיד.

² Directive 2008/98

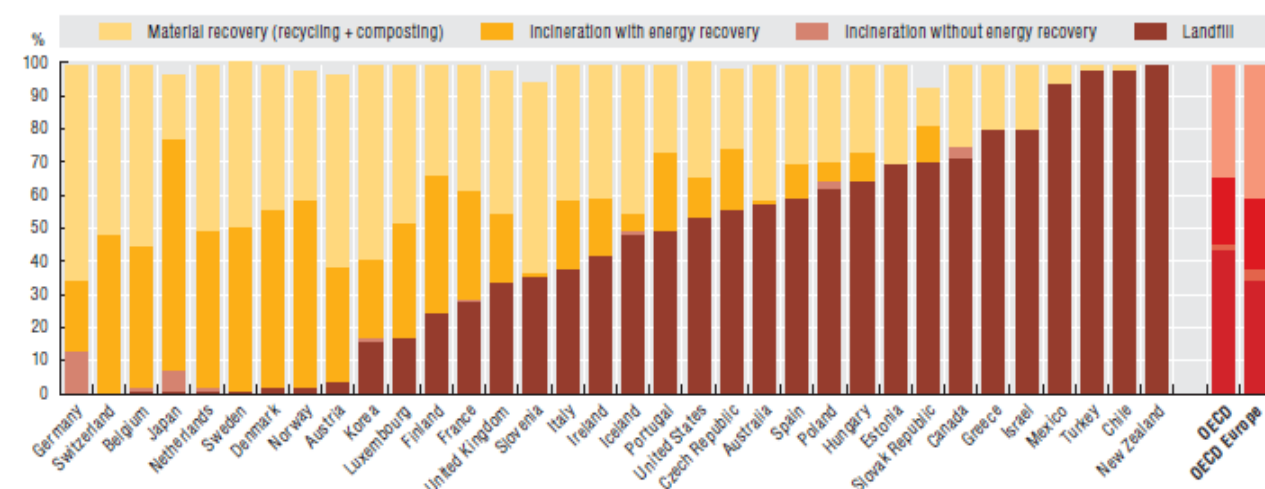
³ אתר האיחוד האירופי בנושא דירקטיבת פסולת

על בסיס תוצאה זו תשתית מפותחת לניהול משולב של פסולת צריכה להתבסס על טיפול בפסולת השיורית שאיננה ניתנת למיחזור (Residual waste). חומרים אלה בדרך כלל אינם ניתנים למיחזור בקלות, או שאינם בעלי ערך כלכלי, ולכן השימוש בהם כדלק נחשב לאפשרות הטובה ביותר. התוצאה היא שבמדינות המתקדמות ביותר, שיעורי המיחזור והשבת אנרגיה מגיעים לכמעט 100%, ורק 1-5% מהפסולת השיורית מוטמנת.

הגרף הבא⁴ מתאר את תמהיל השיטות לטיפול וסילוק פסולת עירונית (2015) במדינות ה-OECD. המדינות בולטות תחום המיחזור וההשבה הן שווייץ, גרמניה, בלגיה, יפן, הולנד, שוודיה, דנמרק, נורבגיה ואוסטריה.

גרף מס' 1: הגרף מתאר את אחוזי המיחזור, ההשבה והסילוק מסך הפסולת העירונית ב-OECD

Figure 1.31. Municipal waste disposal and recovery shares, 2013 or latest



OECD (2015), "Municipal Waste", OECD Environment Statistics (database).

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

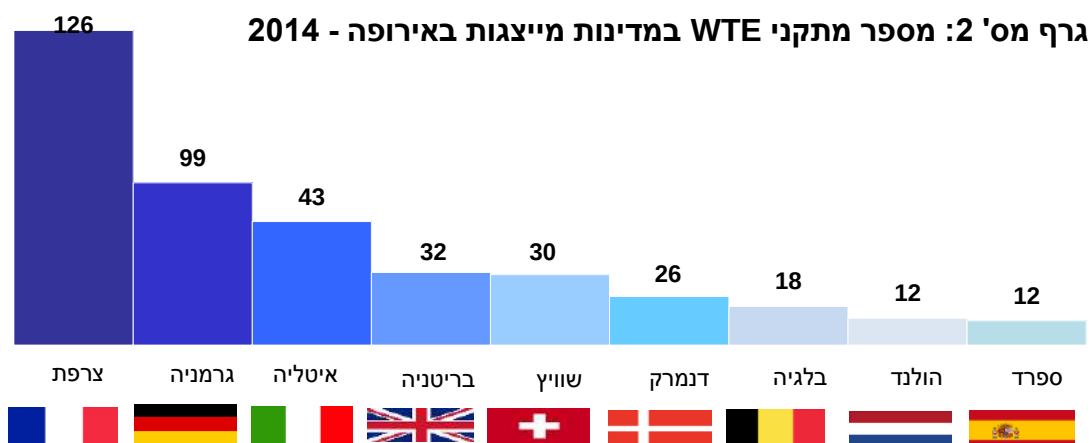
כ-35% מפסולת העירונית עוברת למיחזור

כ-20% מהפסולת העירונית עוברת להשבת אנרגיה

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

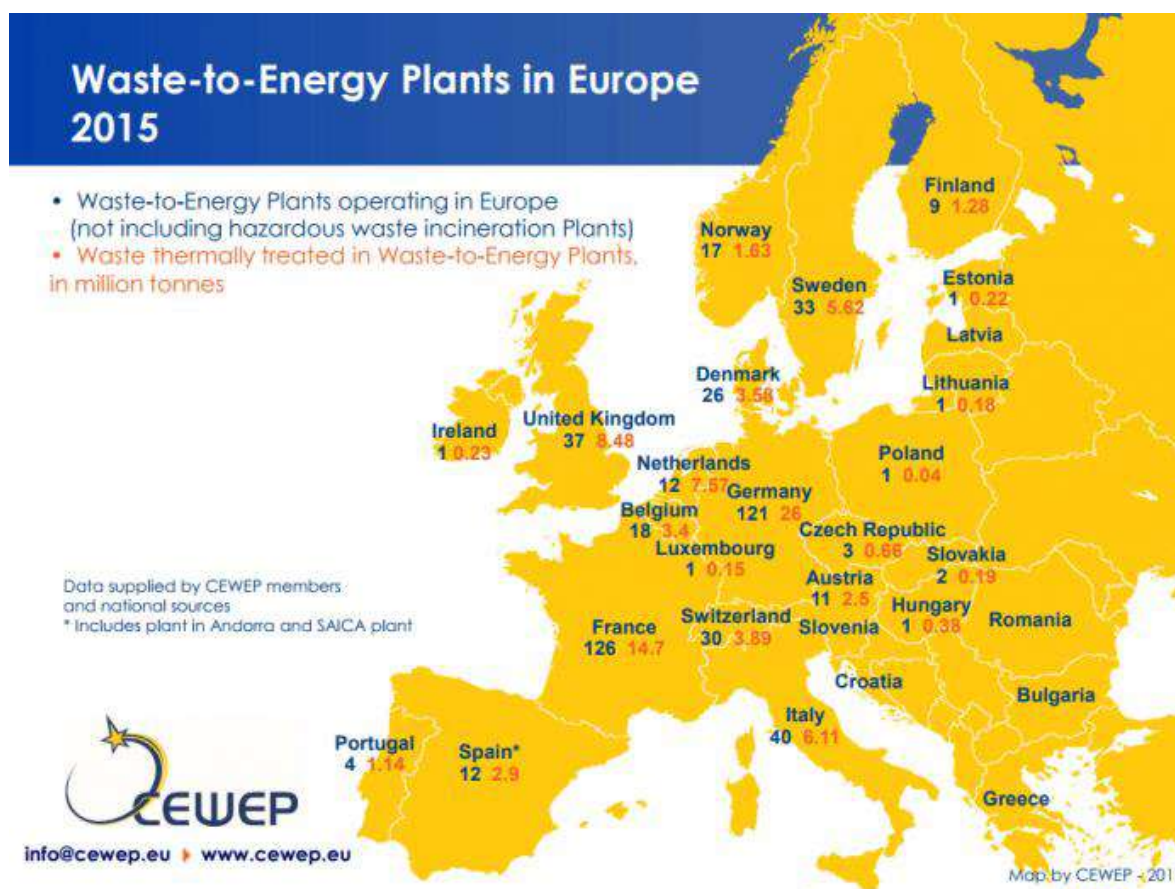
במדינות האיחוד האירופי השייכות ל-OECD המצב קצת יותר מתקדם: כ-40% מהפסולת עוברת למיחזור וכ-25% מהפסולת עוברת להשבה.

במדינות אירופה שוק המיחזור ושוק השבת אנרגיה מפסולת מתפתחים באופן הדרגתי ובמקביל. המדינות שעשו את הצעדים המשמעותיים ביותר בצמצום ההטמנה בעשור זה הם בריטניה, איטליה, פולין, ליטא וצ'כיה, זאת בעקבות העלאת היטל ההטמנה, שינויי חקיקה, פיתוח תשתיות לטיפול מתקדם בפסולת ועוד. באופן כללי, בין השנים 2004-2014 שיעור המיחזור באירופה עלה בקצב של כ-1% בשנה.



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 היווצרותה. בערים אחרות, המתקנים ממוקמים באזורי תעשייה או נמל או בשולי העיר. כל המתקנים נדרשים לעמוד בתנאים המחמירים ביותר למניעת פליטות של מזהמים לאוויר, בהתאם לדירקטיבה האירופית להשבת אנרגיה מפסולת.

איור מס' 3: מפת מתקני השבת אנרגיה באירופה⁵



קיימת חשיבות לגמישות ומודולריות בהיבטים של השבת אנרגיה מפסולת וזאת על מנת לנצל את הפסולת השיורית כמקור אנרגיה בטווח הקצר והארוך. לצד מדינות בעלות מסורת ארוכת שנים של הפקת אנרגיה מפסולת (כגון גרמניה ושוודיה), ישנן מדינות שהתבססו על הטמנה כאמצעי העיקרי לסילוק פסולת, כגון בריטניה, אשר פיתחו רק בשנים האחרונות את החלופה של השבת אנרגיה כצעד משלים למיחזור. מדינות רבות, שבהן עדיין אין מספיק מתקני השבת אנרגיה מייצרות דלק בצורת RDF או SRF מפסולת שיורית לשריפה בכבשני מלט או בתעשיית החשמל, וזאת במקביל לפיתוח מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת. ניצול ה-RDF לפחות בטווח הבינוני, מוסיף גמישות למערך הטיפול בפסולת.

האיחוד האירופי רואה באנרגיה הנוצרת מהפסולת הפריקה ביולוגית כאנרגיה מתחדשת (בהתאם למכסות של 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'**

חקיקה תומכת

ברוב מדינות האיחוד האירופי, קיימת חקיקה המחזקת את מדיניות המיחזור ומונעת את האפשרות שההטמנה תהיה חלופה זולה יותר מהשבת האנרגיה. הכלי העיקרי הוא העלאת היטל ההטמנה וכלי נוסף הוא איסור הטמנה של פסולת אורגנית 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. 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.

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 ההשבה 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 שיורית שאיננה ניתנת למיחזור - הקטנת נפח הפסולת ב-70%-90%.
- הפחתת פליטות גזי חממה הנפלטות ממטמנות כגון CO₂ ומתאן (CH₄)
- מקור אנרגיה חלופי: חיזוק משק החשמל המקומי ותרומה לביטחון האנרגטי של המדינה.
- ניצול הפסולת כמקור אנרגיה לחשמל או קיטור/חום: מהווה תחליף (חלקי) לדלק פוסילי

⁶ [WTER - Earth Engineering Center of Columbia University](http://www.wtert.org/)

- מתקן להשבת אנרגיה מפסולת יכול להיות ממוקם בקרבת למרכז היווצרות הפסולת – בתוך הערים או באזורי התעשייה, דבר המאפשר חיכוך 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.
- על פי מחקרים - כל דולר הכנסה למתקן WTE מייצר 1.77 דולר הכנסה לכלכלה של אותה מדינה.

אתגרים:

- עלות הקמה ותפעול גבוהים.
- איתור מיקומים והקמה במרכזי יצירת הפסולת (איזורי הביקוש)
- לרוב, תהליכי התכנון, המיכרוז וההקמה של פרויקטים מסוג זה ארוך
- 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 (ו-NIMBY)

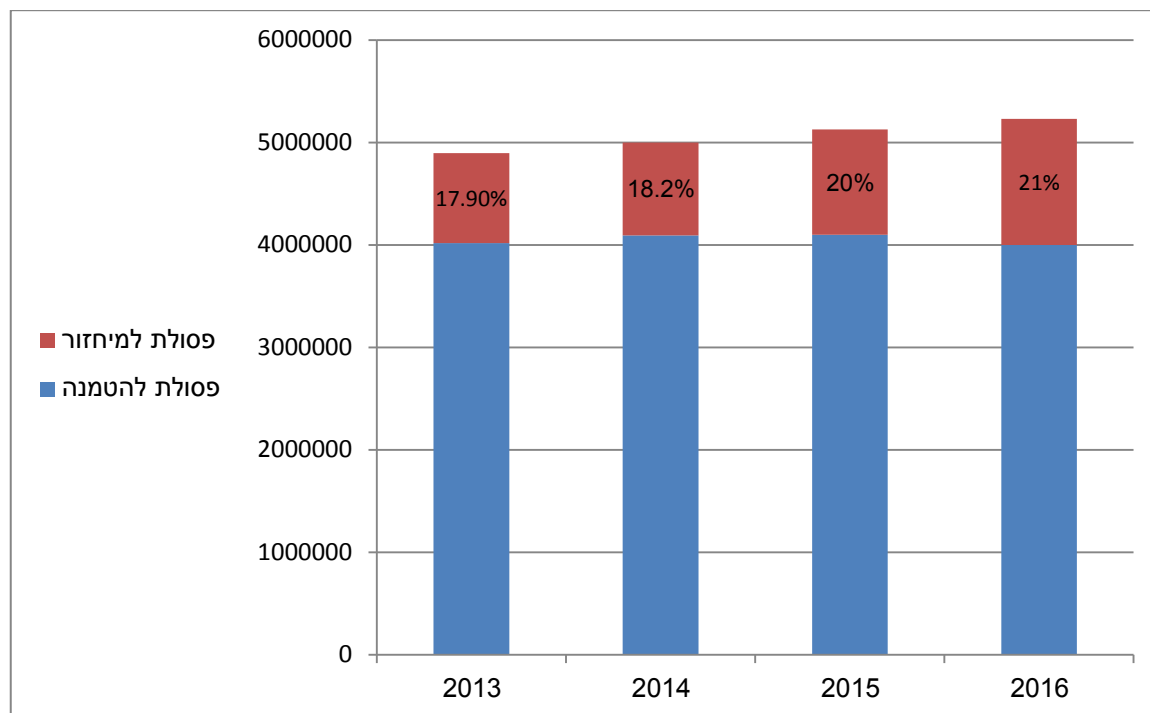


תמונה מס' 3: Dublin, Ireland - Covanta Waste to Energy

3. מצב הפסולת העירונית בישראל

על פי נתוני הלמ"ס, כיום בישראל כמות הפסולת העירונית עומדת על כ-5.3 מיליון טון בשנה (2016). כ-21% מן הפסולת העירונית הועברת למיחזור, והשאר הועברה להטמנה. על פי הלמ"ס, 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 (חוק האריזות) ואיסור הטמנה של פסולת אלקטרונית (חוק פסולת אלקטרונית).

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) ולהפנות פסולת שחולצה למפעלי המיחזור ולמתקני הקצה לסוגיהם. לשם כך נדרשות תשתיות הפרדה ברשויות המקומיות וכן הקמת מתקני מיון אזוריים ברמה טכנולוגית גבוהה.

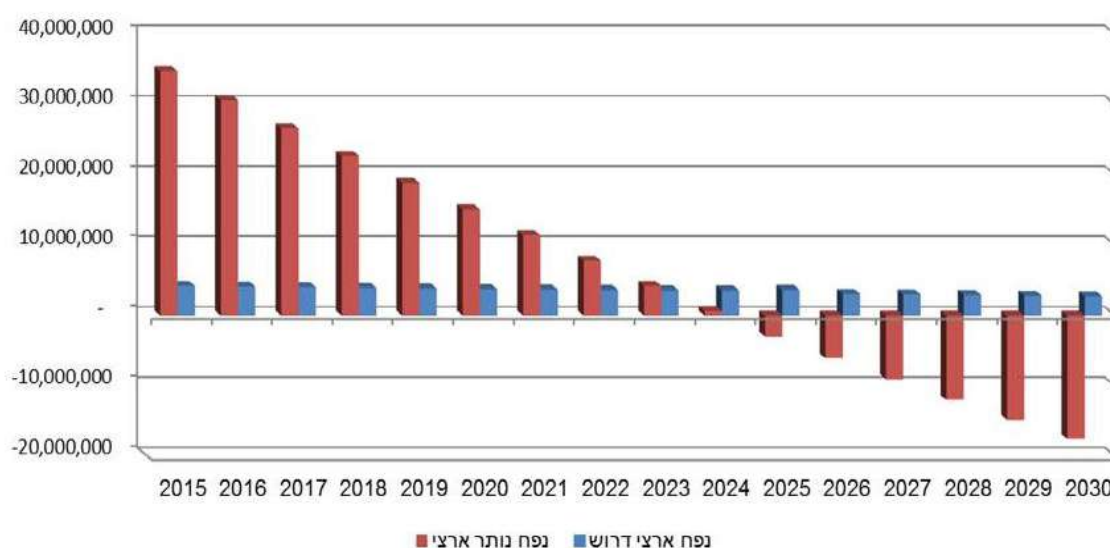
לפיכך, המשרד תמך בפרויקטים של מיחזור והפרדת פסולת במקור ובהקמת מתקנים לטיפול בפסולת וממשיך לעודד את שוק המיחזור המקומי על ידי מתן תמריצים באמצעות קולות קוראים לרשויות המקומיות להעלאת שיעורי המיחזור. יחד עם זאת, הפסולת הנוותרת, שאינה ניתנת למיחזור (מסיבות כלכליות או טכנולוגיות) צריכה להיות מופנית, בהתאם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

הטמנה בישראל

בישראל ישנם כיום 13 מטמנות מאושרות לקליטת פסולת עירונית, בעיקר בדרום הארץ ובצפון הארץ עתידות להיסגר רוב המטמנות בשנים הקרובות. רוב הפסולת משונעת ממרכז הארץ לאתר ההטמנה אפה שבמישור רותם בדרום – ממוצע של 150 ק"מ ממקום היווצרות הפסולת. על כן עלויות השינוע ורמת הפליטות גבוהות לעומת שינוע של פסולת לאתר טיפול סמוך אחר.

יתרת נפחי הטמנה בישראל מצומצמת מאוד ועל פי תחזית המשרד להגנת הסביבה, השטח הקיים (ללא פתיחת אתרי הטמנה חדשים) 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, איתור שטחים להקמת מטמנות חדשות הפך למשימה בלתי אפשרית וכיום רוב הפסולת העירונית משונעת 100 ק"מ או יותר דרומה. השטח להטמנה הנדרש בישראל ל-20 שנה הקרובות מוערך בכ-2,500 – 4,000 דונם. בראייה לטווח רחוק, לא מדובר בשטח קטן, והנזקים הסביבתיים של שטח הטמנה גדול 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 ההטמנה⁷. ההשלכות הסביבתיות של ההטמנה כוללות פליטת גזי חממה וזיהום אוויר כתוצאה מפליטת גזים מסוכנים אחרים, תפיסת שטחי קרקע המהווים משאב

⁷ EEA (European Environment Agency) (2014). Projections of Municipal Waste Management and Greenhouse Gases. EEA, Copenhagen

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 אך גם במטמנות איכותיות קיים סיכוי לזיהום קרקע ומי תהום ומפגעי ריח. 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. במטמנות מתקדמות ניתן לאסוף חלק מהגזים הנפלט (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- CO_2 . מחקרים שונים מוכיחים כי הטמנת פסולת עירונית היא בעלת ההשפעה הסביבתית השלילית ביותר מכל שיטות הטיפול בפסולת עירונית מבחינת פוטנציאל התחממות גלובלית (GWP_{100}), לאחריו שיטות של השבת אנרגיה ופחות מכך מיחזור. בארצות הברית, גז המתאן הנפלט ממטמנות מהווה כ-17% מסך פליטות המתאן במדינה. לפיכך, הסטת הפסולת מהטמנה למיחזור והשבה היא הפתרון ההולם ביותר את המטרה של צמצום אפקט החממה.

שריפות ממטמנות

מעבר לפליטות הקבועות, תמיד קיימת הסכנה לשריפות הנוצרות מהתנאים הפיזיים במטמנה. לשריפות ממטמנות פוטנציאל גבוהה לפגיעה באיכות החיים ובריאות הציבור עקב פליטות של מזהמים רבים כתוצאה מהשריפה. ניהול נכון של המטמנה יכול למנוע במידה רבה את השריפות, אך בפועל, הפוטנציאל הוא גבוה, במיוחד כאשר אל המטמנה מועברת פסולת שלא עברה מיון או טיפול. כ-30% מהפסולת בישראל מועברת ישירות להטמנה ללא מיון, במיוחד מהרשויות המקומיות בדרום הקרובים לאתרי ההטמנה. לאחר שמתרחשת שריפה, קשה מאוד לכלות אותה לגמרי ויש סכנה לשריפות נוספות.



תמונה מס' 4: מטמנת דודאים

4. השוואה בין הטמנת פסולת עירונית לבין טכנולוגיות להשבת אנרגיה מפסולת

במדינות המתקדמות ביותר כגון גרמניה, בלגיה והולנד, אחוזי ההטמנה עומדים על אחוזים בודדים בלבד. על מנת להתמודד עם האתגרים של קיבולת מצומצמת של שטחים למטמנות וההשפעות הסביבתיות השליליות, קבע האיחוד האירופי בשנת 1999 את הדירקטיבה למטמנות (Landfill Directive) במטרה להסדיר את ניהול הפסולת במטמנות במדינות האיחוד.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, וכן לצמצם 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 ע"י מעבר לטכנולוגיות מתקדמות. 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 של סביבתיים וכלכליים :

מספר רב של מחקרי Life Cycle Analysis המשווים סוגים שונים של טיפול הפסולת עירונית מראים כי השבת אנרגיה היא סביבתית יותר מאשר הטמנה. יחד עם זאת, המיחזור והטיפול הביולוגי עדיפים סביבתית על פני השבה והטמנה. על ידי שילוב של מיחזור והשבת אנרגיה, נפח הפסולת מופחת עד כ-90% ואת רוב האפר הנותר לאחר התהליך ניתן למחזר. כתוצאה מכך, ניתן לנצל את נפח ההטמנה הנותר להטמנת פסולת שאיננה ניתנת למיחזור והשבה, להאריך את אורך חיי התאים המטמנות הקיימות באופן דרמטי ולמנוע את הצורך בהקמת מטמנות חדשות.



תמונה מס' 5: Spittelau Waste to Energy Plant, Vienna, Austria

⁸ תקציר דירקטיבת ההטמנה [Landfill Directive](#)

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

שלילי ביותר	שלילי	בינוני	ללא השפעה	חיובי באופן מועט	חיובי	חיובי מאוד
-------------	-------	--------	-----------	------------------	-------	------------

השבת אנרגיה	הטמנה	
איכות אוויר^{9,10}		
מזהמים עיקריים	CH ₄ , CO ₂ , תרכובות חנקתיות, NO _x . אין מערכות סינון וטיפול בפליטות	SO _x , NO _x , HCL, HF, אבק (Total Organic Content) TOC יש מערכות סינון וטיפול בפליטות
מזהמים נוספים - קרצינוגנים וטרטוגנים	120-150 מזהמים שונים המשוחררים 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 וצורך 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	אין זיהום קרקע
תפיסת קרקע	כ-2000 דונם עד 2030 (מעבר לקיים היום)	50 דונם לכל מתקן (סה"כ 150 דונם עד 2030).
שיקום הקרקע	שיקום, ניטור וטיפול בגזים לאורך עשורים לאחר סגירת האתר	אין צורך בשיקום ובניטור לאחר סגירת האתר (בעיקר אם נמצא באזור תעשייה).
השפעה נופית	חמורה (עד הסגירה והשיקום)	נקודתית. השפעה נמוכה באזורי 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 בממוצע 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

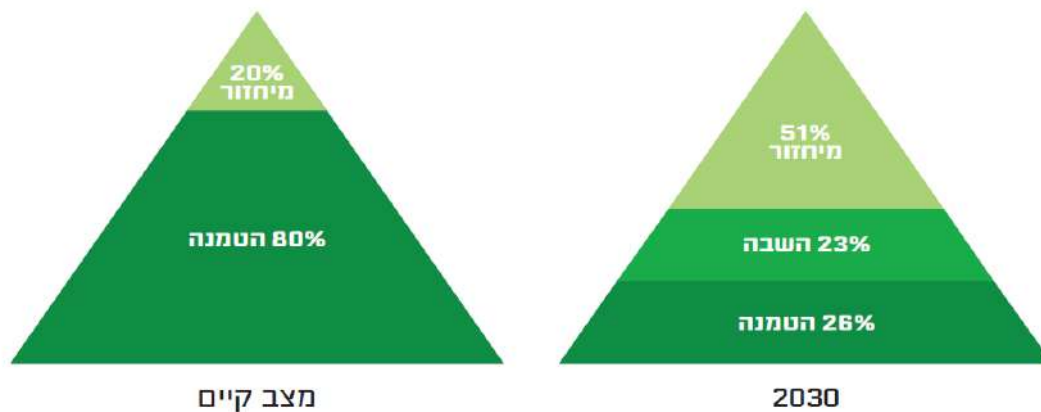
מידע נוסף על הפליטות והשפעות הסביבתיות של מטמנות – בנספח ב' ובנספח ד'

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%.

במידה ולא יקומו בעשור הקרוב מתקני השבת אנרגיה מפסולת, קשה לצפות שמדינת ישראל תגיע ליעד ההטמנה נמוך מ-30%. במצב זה, כ-50% מהפסולת תועבר להטמנה והיתר למיחזור. הסיבות לכך הן מגוונות, בין היתר בגלל ששוק המיחזור הוא מאוד תנודתי, מושפע מהכלכלה העולמית ורגיש לעלויות וירידות במחירי חומרי הגלם הבתוליים. במצב כזה, שוק המיחזור עלול להישאר בקיפאון, וחלופת ההטמנה תמשיך להיות החלופה העיקרית, וזאת למרות ההשפעות הסביבתיות השליליות של חלופה זו.

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



בחינת חלופות לקביעת תמהיל הטיפול בפסולת עירונית

במסגרת הכנת התכנית האסטרטגית לטיפול בפסולת עירונית נבחנו מספר חלופות לתמהילים לטיפול בפסולת עירונית עד לשנת 2030. כמו כן, נבחנו ההשלכות הכלכליות של ביצוע החלופות בהתבסס על מחיר קצה לטיפול בטון פסולת לרשות המקומית. לאחר בחינת החלופות ביחס לעלות/תועלת נבחרה "חלופה 2030" מכיוון שהיא מאפשרת לעמוד ביעדי התכנית ובראשם צמצום ההטמנה לפחות מ-30%, תוך שיפור השירות והוזלת הטיפול בפסולת לרשויות המקומיות. 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.

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% ואיתו כמו הפסולת הנוצרת.

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.

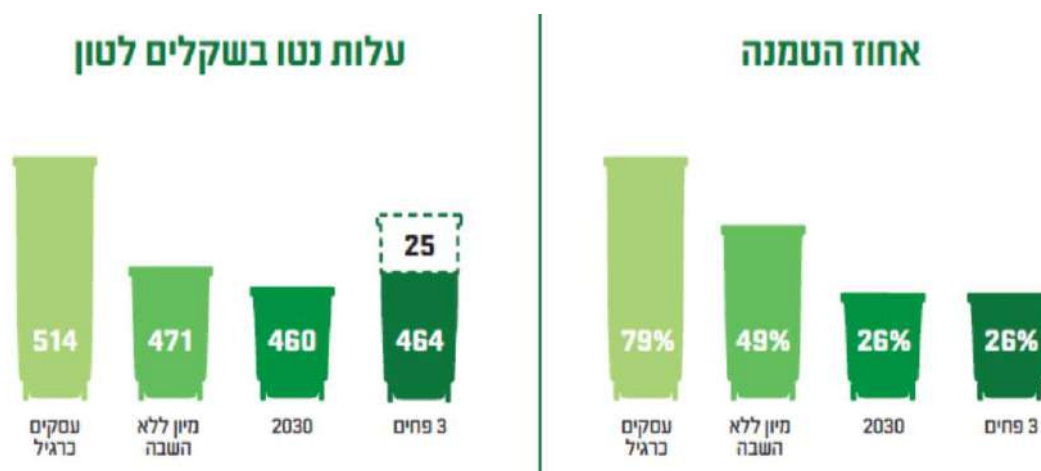
עלות הטיפול לרשות המקומית: 460 ₪ לטון פסולת

חלופת 3 הפחים: 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

איור מס' 5: סיכום החלופות



בחירת החלופה המועדפת

שתי החלופות היחידות העומדות ביעדי התכנית האסטרטגית לטיפול בפסולת לשנת ה'חלופת 2030 וחלופת 3 הפחים. חלופת מיון ללא השבה אינה עומדת במטרות צמצום הטמנה 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. לפיכך, קידום המיחזור בישראל והעלאת שיעורי המיחזור ממשיך להיות יעד מרכזי, אך התנודתיות בשוק המיחזור הגלובלי, קצב גידול המשרד להגנת הסביבה - מסמך רקע להקמת מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת 20

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 נמוך יותר ואופן היישום לאזרח פשוט יותר.

תמהיל הטיפול בפסולת 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 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. הטכנולוגיות השונות אינן מתחרות אחת בשנייה, אלא משלימות את מערך הטיפול המשולב בפסולת ונותנות מענה לצרכים השונים ולסוגי הפסולת השונים. מכיוון ישנו חלק לא מבוטל מהפסולת העירונית שלא ניתן למחזר, בין אם מסיבות טכנולוגיות או כלכליות. לפיכך, השבת אנרגיה אמורה לטפל בחומר שלא ניתן למחזר (פסולת שירית), בסוף השרשרת.

מעל כל זה, ההפחתה המקור היא המשמעותית ביותר בהיררכית הטיפול הפסולת. הטיפול המשולב כולל הפחתה של פסולת במקור כגון שקיות ניילון, מזון, ועוד. זאת ניתן לעשות על ידי חקיקה ושינוי דפוסי התנהגות של התושבים. חוקי אחריות יצרן מורחבת מאפשרים לקדם הפרדה ומיחזור של זרמים ייעודיים כגון פסולת אריזות או מתמחזרים, זכוכית, צמיגים, פסולת אלקטרונית, גזם וכי'.

האסטרטגיה לטיפול משולב בפסולת עירונית, נשענת על שילוב טכנולוגיות שונות לטיפול בפסולת, במטרה לצמצם את ההטמנה והנזקים הסביבתיים הנגרמים מהטמנה ולקדם ניהול בר קיימא של פסולת עירונית.



תמונה מס' 6: Holland, Alkmaar Waste to Energy

¹¹ [Diverting waste from landfill - Effectiveness of waste-management policies in the European Union](#)
המשרד להגנת הסביבה - מסמך רקע להקמת מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת 21

צעדים 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.

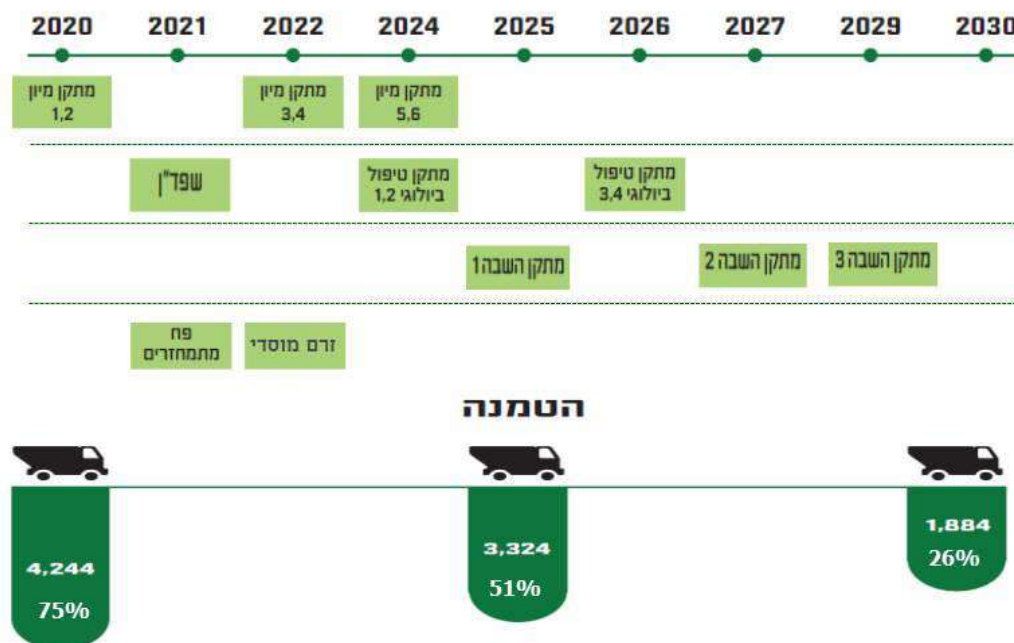
מתקני מיון - מיון פסולת מאפשר הוצאת חומרי גלם בעלי ערך והעברתם למיחזור, ולהפרדת הרכיב האורגני, הגורם למרבית הנזק הסביבתי בעת הטמנתו, והעברתו לטיפול המתאים. המשרד יקדם את התכנון הדרוש להקמת עד שישה מתקני מיון חדשים בישראל עד לשנת 2024. המשרד יתמוך כספית בהקמת מתקני המיון, בתמורה להתחייבותם לגביית מחיר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

מתקני עיכול אנאירובי וקומפוסטציה - המשרד יסייע בהקמת ארבעה מתקני טיפול בפסולת פריקה ביולוגית, בשאיפה שימוקמו קרוב 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 היעד 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 לסיוע שוק זה. שילוב ה-RDF בתמהיל הטיפול בפסולת עירונית יסייע בטווח הקצר לחיזוק משק האנרגיה בישראל.

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



המשרד להגנת הסביבה - מסמך רקע להקמת מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת 22



הקמת מתקני טיפול בחומר פריק ביולוגי

תמיכה בהקמת 4 מתקני טיפול בהיקף של
600 טון ליום לכל מתקן
400 מיליון ₪

הפקת לקחים מתמיכות קודמות לרבות
מתקן לעיכול אנארובי בשפד"ן
2019-2020

ניתוח כלכלי להיקף התמיכות הנדרשות
לכל מתקן ובחירת מסלול קידום -
תמיכות או PPP
2020

קידום תכנון- הכנת תב"עות למתקנים
2021

ליווי מכרז למתקן טיפול בשפד"ן
2017-2021



הקמת מתקני מיון מתקדמים בכל הארץ

תמיכה בהקמה ושדרוג 6 מתקנים בהיקף
של 1500 טון ליום לכל מתקן
360 מיליון ₪

עדכון תקנות רישוי עסקים
[תחנת מעבר לפסולת]
2018

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

ליווי מכרזים למתקני מיון מתקדמים



הקמת מתקנים להשבת אנרגיה

תמיכה בהקמת 3 מתקנים בהיקף של
1000-1500 טון ליום למתקן
2.475 מיליארד ₪

בדיקת התכנות לאתרים - איכות אוויר
2017

קידום מתקן השומרוני הטוב *
2017

הוצאת מכרז לצוות תכנון והגשת תכנית
למוסד תכנון
2017-2018

השלמת תסקיר השפעה על הסביבה
2019

הכנת טיוטת מכרז
2019

תכנון האתרים ואישורם במוסדות התכנון
ופרוסום מכרז בינלאומי להקמת המתקנים
2020

ליווי המכרז PPP (בדיקה, בחירה, הקמה ותפעול)
2021-2025

6.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 בחיירה, 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 שנקבעה בתכנית האסטרטגית לדיור 2017-2040, 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. היעד שנקבע בתכנית האסטרטגית החדשה לטיפול בפסולת של המשרד קובע יעד הטמנה של פחות מ-30%. בהינתן היעד זה והתקציב העומד לטובת הפיתוח (הקרן לשמירת הניקיון) עד לשנת 2030, ניתן להקים 3 מתקני השבה בהיקף של 500,000 עד 550,000 טון בשנה לכל מתקן (כ-1,000-1,500 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 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' 2: הערכת כמויות הפסולת ומס' המתקנים הנדרשים במחוזות השונים עד לשנת 2030:

מס' מתקנים	סה"כ צפי פסולת טון/שנה לשנת 2030	פסולת שנה/טון 2016	פסולת יום/טון 2016	תוספת פסולת שנה/טון עד ל-2030	תוספת אוכלוסייה (3.2) נפשות ליה"ד	בינוי בפועל עד 2030 (0.6 מהתכנון)	יחידות דיור תכנון עד 2030 ¹²	
1-2	1,750,457	1,505,990	4126	244467	393984	123120	216000	צפון
				169769	273600	85500	150000	חיפה
2	2,562,099	2,208,980	6052	353119	569088	177840	312000	מרכז
				224095	361152	112860	198000	ת"א
1-2	840,053	677,075	1855	162978	262656	82080	144000	ירושלים
	1,038,419	780,370	2138	258049	415872	129960	228000	דרום

על פי הטבלה המוצגת, פיזור האתרים במרחב הארצי לפי מחוזות יהיה 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 למחוז אחר. לאחר 2030 יוקמו מתקנים נוספים - 2 או יותר כתלות בצרכי האוכלוסייה ומרכזי ייצור הפסולת ומקור תקציבי. יהיה צורך לבחון את נתונים הללו שוב, ולבחון ולהתאים את מיקום המתקנים וגודלם בהתאם לצרכים התכנוניים.

¹² [התכנית האסטרטגית לדיור 2017-2040](#)

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 (40-25 שנה).
- עוד על היבטים כלכליים ורציונל להקמת מתקן להשבת אנרגיה – נספח ה'
- על בסיס בחינה תכנונית של המתקן והתשתיות הנלוות (כבישי גישה, תיפעול, חיבור לחשמל ותחנת מעבר ממיינת), 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.

האתגרים המרכזיים בישראל

- איתור מתחמים להקמת מתקנים
- הבטחת כלכליות הפרויקט: ברוב המדינות המפותחות, מחיר הכניסה למתקני השבה גבוה משמעותית בהשוואה לדמי הכניסה למטמנות בישראל, והיטל ההטמנה גבוה יותר, דבר המפחית את הכדאיות הכלכלית למתקני השבת אנרגיה.
- אנרגיה: ישנו צורך בהסדרה של תעריף החשמל ובאיתור מקורות הכנסה נוספים (חום/קיטור)
- יש צורך בהסדרת שוק הפסולת ופיתוח שוק מיחזור מפותח לרבות העצמת פח מתמחזרים במקור 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 והשתתפותן כבר בתחילת הדרך בתהליך הוא נושא בעל חשיבות רבה. נושא זה ייבחן וייקבע כבר בשלב הסגירה הפיננסית של המתקן.
- הרכב ומיון הפסולת - אחת השאלות החשובות ביותר היא הרכב הפסולת המטופל במתקני השבה ואופן מיון 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 מיון יגרום להעלאת הערך הקלורי של הפסולת. לפיכך, עוד תרם הקמת המתקן, יש צורך לקבוע מהו הערך הקלורי הנדרש לתפעול המתקן ומהו האיוון הנכון של הרכב הפסולת בהתאם.

7. תכנון מתקנים להשבת אנרגיה בישראל

שינוי מס' 2 לתמ"א 16 / 4 עוסקת במספר נושאים וביניהם קביעת ההליך לקידום תכנית לאתר לטיפול תרמי. פרק הפסולת בתמ"א 1 מחליף את תמ"א 16 / 4 לפסולת מוצקה על שינוייה. הפרק מסדיר את תחום הטיפול בפסולת הן באמצעות השבתה (מיחזור, קומפוסטציה והפקת אנרגיה) והן באמצעות סילוקה. הפרק, מסדיר 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 זה היא לעודד תהליכי השבה, ולצמצם פעולות סילוק 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, אתר לטיפול תרמי בנוסף לדרישות הקיימות מאתר פסולת נדרש לבצע סקר היתכנות להוצאת האנרגיה מהאתר לפי חוק החשמל, תשנ"ו. 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

1. שטח: כ- 50 דונם.
 - רדיוס שירות סביר ממקורות איסוף / מיון פסולת: מרחק הובלה של 20 עד 30 ק"מ מתחנות מעבר לפסולת
2. ייעודים אפשריים:
 - באזורי תעשייה ומלאכה או בצמידות דופן.
 - באתרים המטילים מגבלות על הסביבה (מתקנים הנדסיים / אתרי טיפול ייעודיים בפסולת) או בצמידות דופן.
3. קרקע בבעלות מדינה (יבחן ע"י רמ"י).

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')
- הוצאת האנרגיה מהמתקן וחיבור לרשת חשמל
- תכנית להשתלבות נופית
- מסמך תחבורתי

תסקיר השפעה על הסביבה

לנוכח צפיפות האוכלוסייה בישראל ובעיות איכות אוויר הקיימות באזורים מסוימים במדינה, המעבר לפתרון השבת אנרגיה מפסולת בישראל מחייב 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 בתי מגורים, מוסדות רפואה וחינוך לעומת צמידות דופן לאזורי תעשייה.

עמדת המשרד להגנת הסביבה היא שהקמת מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת צריכה להתבצע על פי התקנים המחמירים ביותר מבחינת פליטות ומזהמים תוך השוואתם להנחיות בדבר הקמת מתקנים כאלו כפי שקיים באירופה, גם בהתייחס לאיכות האוויר הקיימת ברקע באתרים אלו, ולכל הפחות על פי הנחיות הדירקטיבה האירופית.

מזה שנים רבות למדינת ישראל ברור כי הטמנה איננה חלופה סביבתית ראויה לטיפול בפסולת. למעלה משני עשורים מכוון 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 כאלו תשתית לאומית בלתי נפרדת משאר תשתיות הטיפול בפסולת.

הקמת מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת עירונית עתידה להוות חלופה ממשית לבעיית נפח ההטמנה, המחסור בשטחים להטמנת הפסולת בישראל ולצמצום הנזקים הסביבתיים הנלווים להטמנה.

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

הערכות המשרד להגנת הסביבה הן כי יש צורך בתכנון והקמה של 3 מתקני השבת אנרגיה בפריסה ארצית ובקרבת מרכזי ייצור הפסולת על מנת לעמוד ביעדי התכנית האסטרטגית לפסולת. בראיה ארוכת טווח, יש לתכנן את הקמתם של 2 מתקנים נוספים על מנת לצמצם את הטמנת הפסולת למינימום (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 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 ויזום 3 מתקני השבת אנרגיה מפסולת בפריסה ארצית.

רוב מתקני בשבת אנרגיה בעולם פועלים בשיטת השבכה (grate) שבה הפסולת נדחפת על מעין רשת פלדה, או שבכה נעה (grate) שבה השבכה נעה תוך כדי תהליך השריפה. שלבי הטיפול במתקן טיפוסי : (moving grate) :

1. פריקת הפסולת מהמשאיות משאיות אל תא הקליטה בנפח המאפשר איחסון למספר ימים. נפח האגירה מובטח כדי לעמוד בתנודות הגעת פסולת או תקלות המחייבות אגירת פסולת.
2. ערבוב הפסולת על ידי מנוף (משיקולי יעילות הבעירה).
3. הפסולת מועברת אל תא השריפה באמצעות מזין פסולת ומונחת על השבכה שעליה מתבצעת השריפה. במתקנים חדישים השבכה נעה באיטיות.
4. האפר התחתני יורד במגלש אל תא קליטה ומשם הוא מוזן אל מיכלי איסוף.
5. במתקנים חדישים, מתבצעת שריפה משלימה של הגז החם הנוצר משריפת הפסולת במטרה להשלים את השריפה ולמנוע יצירת פחמן חד חמצני (CO)
6. הגז החם מוזן אל דוד מים ויוצר קיטור. חלק מהחום נמכר בצורת קיטור. על מנת להפיק חשמל, הקיטור מועבר לטורבינה המתרגמת אנרגיית חום לאנרגיה קינטית, ומניעה גנרטור (המתרגם אנרגיה קינטית לאנרגיה חשמלית). החשמל מוזן ישירות לרשת החשמל האזורית, ולצרכי המתקן עצמו.
7. גזי הפליטה מקוררים דרך משטח מחליף חום, ומועברים אל מערכת ניקוי גזי הפליטה.
8. משקע אלקטרוסטטי מוציא את החלקיקים המוצקים (אבק) מגזי הפליטה ואת המתכות הכבדות באמצעות הפעלת מטען חשמלי, המוצאות מהמערכת באמצעות מנגנון פינוי מכני
9. גזי הפליטה עוברים צינון ודחיסה קלה כדי להכניס לשלב השני בניקוי גזי הפליטה
10. סקרבר (משקף) רטוב בעל מספר שלבים, מסלק את שאריות המתכות הכבדות שבגזי הפליטה ואת תחמוצות הגופרית (SO₂). הפעולה מתבצעת בד"כ בעזרת תרכובות כלור.
11. שלב שלישי בניקוי גזי הפליטה : תא קטליטי המפרק את תחמוצות החנקן NO₂ ו- NO לחנקן גזי ולמים בעזרת אמוניה אלמימית, וכן פירוק דיוקסינים ופוראנים ע"י חמצון.
12. פילטר בד עם פחם פעיל וחומר קושר את הדיוקסינים והפוראנים הנותרים.
13. משם עוברים הגזים אל הארובה ויוצאים אל האוויר. מערכת ניקוי הפליטות ממוקמת ביציאת הגזים אל הארובה.

נספח ב': ערכי סף (AIR EMISSION LIMIT VALUES) לפליטות מזהמים ממתקני השבת אנרגיה על פי

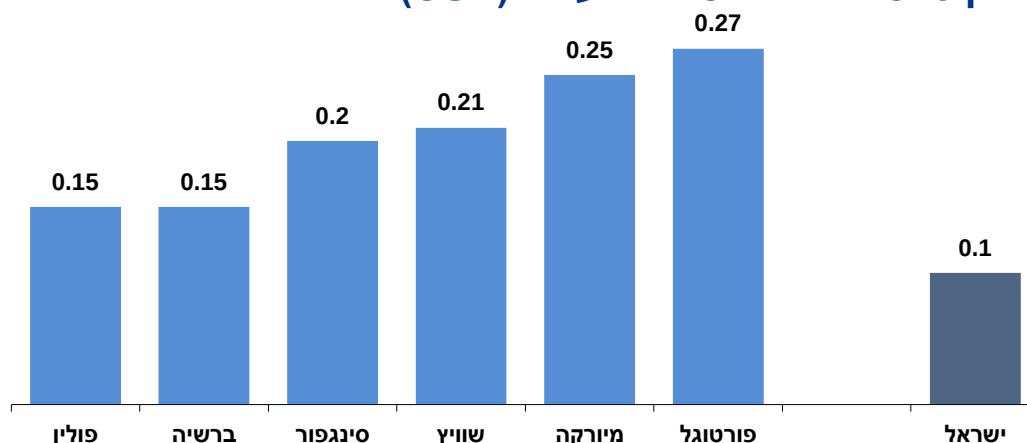
נספח 5 של הדירקטיבה האירופית להשבת אנרגיה (Waste Incineration Directive)

Pollutant	ELV
Dust	10 mg/m ³
Total Organic Carbon (TOC) - Gaseous and vaporous organic substances	10 mg/m ³
Hydrogen chloride (HCl)	10 mg/m ³
Hydrogen fluoride (HF)	1 mg/m ³
Sulphur dioxide (SO ₂)	50 mg/m ³
Nitrogen monoxide (NO) and nitrogen dioxide (NO ₂) for existing plants with a nominal capacity exceeding 6 tonnes per hour or new incineration plants	200 mg/m ³
Nitrogen monoxide (NO) and nitrogen dioxide (NO ₂), for existing incineration plants with a nominal capacity of 6 tonnes per hour or less	400 mg/m ³
Dioxins and furans	0,1 mg/m ³
(Mercury (Hg), Antimony (Sb), Arsenic (As), Lead (Pb), Chromium (Cr), Cobalt (Copper (Cu), Manganese (Mn), Nickel (Ni), Vanadium (V)	0,1 mg/m ³
Cadmium (Cd) Thallium (Tl)	0,1 mg/m ³

הפקת אנרגיה מפסולת עדיפה מבחינה סביבתית על הטמנה, ובתנאי שהפסולת השיורית כוללת גם את התכולה המתחדשת הנכונה, שהרכב הפסולת מתאים לטכנולוגיה של המתקן וכי המתקן פועל ביעילות מספיקה להפיכת הפסולת לאנרגיה. שיקולים אלה צריכים לעמוד בליבו של כל פרויקט. באופן כללי הפקת אנרגיה מפסולת במתקן השבה מייצרת כ-500 קוט"ש אנרגית חשמל לטון פסולת וכ-1000 קוט"ש אנרגית קיטור לטון פסולת. גז מטמנה מייצר בין 5-10 קוט"ש לטון אנרגיה חשמל בלבד¹³.

אך הפקת אנרגיה מפסולת אינה עוסקת בניהול פסולת בלבד, אלא האנרגיה המופקת מהווה מקור אנרגיה חשוב, שתורם לאבטחת מקורות האנרגיה ברמה הלאומית. מתקן השבת אנרגיה מפיק בפעילותו כמות גדולה של אנרגיית חום, כאשר תהליך המרה שמתבצע הופך חלק מאנרגיה זו לאנרגיה חשמלית, עם זאת נותרת אנרגית החום רבה הניתנת לניצול לצרכי מפעלים ובתים פרטיים וליצירת הכנסות נוספות למתקן. רוב האנרגיה מפסולת המופק כיום משמש כמקור ליצירת חשמל. עם זאת, יותר ויותר מתקנים שואפים להשתמש באנרגיה להפקת חום או קיטור. גישה זו נקראת שילוב אנרגיית חום וחשמל.

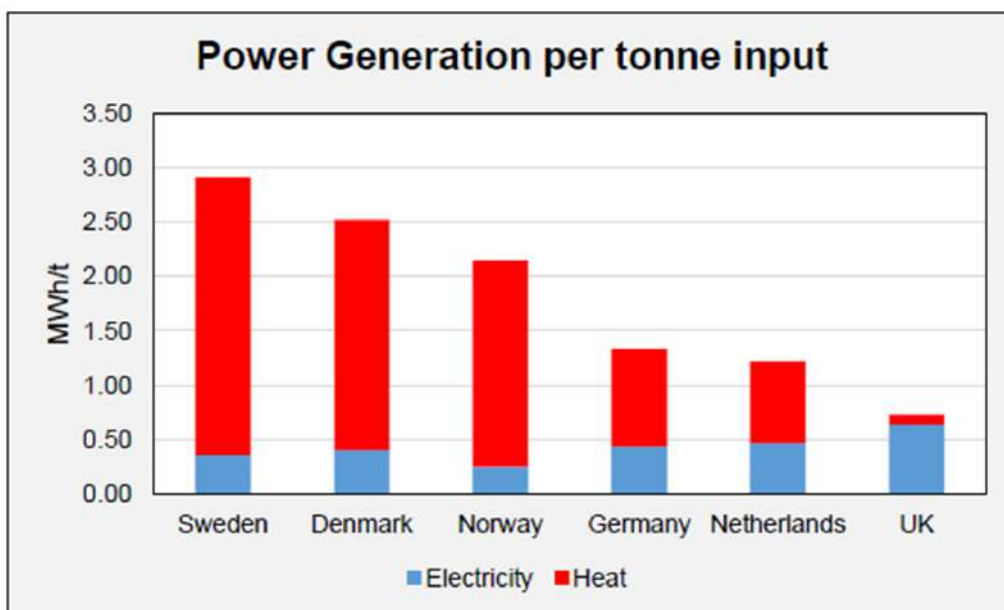
מחיר קוט"ש במדינות שונות בעולם (USD)



הביקוש לאנרגיית חשמל לעומת אנרגיית חום

ראוי לציין כי באופן יחסי, במדינות צפון אירופה קיים ביקוש גבוה יותר למתקני השבת אנרגיה מאשר במדינות מרכז ודרום אירופה, עקב הביקוש הרב לאנרגיית חום. אנרגיית החום מנוצלת לחימום בתי מגורים וכן מנוצלת באזורי תעשייה. על מנת לעמוד בצריכת אנרגיית 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:

¹³ [United States Environmental Protection Agency](https://www.epa.gov/energy/fuel-switching-comparing-greenhouse-gas-emissions)



בישראל כיום אין דרישה לאנרגיית חום בבתים אך ישנו ביקוש לאנרגיית חום במגזר העסקי. לפיכך, יש לבחון ולהתאים את מיקום המתקן בהתאם לצרכנים הפוטנציאליים על מנת לשפר את הכדאיות הכלכלית בהקמה, כגון באיזורי תעשיית 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) – 3R
- מיחזור/ השבה של מתכות – R4
- מיחזור/השבה של חומרים אנאורגניים – R5
- פעולת סילוק – הטמנה – 1D
- 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)
- המשרד להגנת הסביבה - מסמך רקע להקמת מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת 32

- חובה להשיב את כמות האנרגיה הגדולה יותר שמופקת ולהשתמש בה (כחום או כחשמל);
- הפסולת חייבת להחליף את השימוש במקור אנרגיה עיקרי.

הסדרה תעריפית:

חלק ניכר מהכנסות מתקן השבת אנרגיה הן ממכירת אנרגיה ליצירת חשמל או חום/קיטור, כאשר בחלק מהמדינות הוכרו מתקני השבת אנרגיה כמתקני לייצור אנרגיה מתחדשת ונקבע 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:

$$\text{Energy Efficiency} = \frac{(E_p - (E_i + E_{ij}))}{(0.97 * (E_w + E_{ij}))}$$

In which:

E_p	The 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 (GJ/year)
E_i	The annual energy input to the system from fuel contributing to the production of steam (GJ/year)
E_{ij}	The annual energy imported excluding E-w and E-f (GJ/year)
E_w	The annual energy contained in the treated waste calculated using the net calorific value of the waste (GJ/year)
0.97	The factor accounting for energy losses due to bottom ash and radiation

חלק מן החשמל 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.

כיום אין בישראל הסדרה תעריפית למתקני השבת אנרגיה מפסולת. התעריף המוצג במודל הכלכלי הינו תעריף לביו-מסה אשר עומד על 0.384 שקל לקוט"ש.

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-MW 12,905.
- היקף הייצור המקסימלי המותקן בישראל נכון לתחילת שנת 2016 הינו MW 17,318.

המשרד להגנת הסביבה - מסמך רקע להקמת מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת 33

- 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 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. מסקירת הנעשה באירופה עולה כי המדינות בעלות אחוז המיחזור הגבוה ביותר בהכרח מיישמות טיפול בשיטת הפסולת לאנרגיה ומציגות שיעורי הטמנה נמוכים. באשר להפקת אנרגיה מפסולת שאיננו ממקור אורגני קיים באירופה מיסוי על הפליטות. בשל עלויות ההטמנה הגבוהות ברוב ממדינות אירופה, מדיניות זו מובילה להבטחת הכדאיות הכלכלית של המיחזור, אך מאידך גם לכדאיות 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
 - ביודלקים 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 בע"ח, משחטות, תעשיות מזון ממקור חקלאי.
 - פסולת עירונית מתחדשת - חלקים פריקים ביולוגיים של הפסולת הנשרפים ישירות לייצור חום/חשמל.
- השוני בהגדרות מקורו בהגדרת המושג ביומסה. שני הארגונים קובעים כי הביומסה היא בעיקר ממקור פריק ביולוגי וה-IEA נותן הגדרות רחבות יותר למושג זה.

נתוני ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות מדינות נבחרות¹⁴

מדינה	אחוז של אנרגיות מתחדשות במשק האנרגיה	אחוז יחסי של ביודלקים ופסולת מתחדשת מסך אנרגיות מתחדשת במשק האנרגיה	אחוז יחסי של פסולת עירונית מתחדשת מסך ביודלקים 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 ביודלקים – חומר פריק ביולוגי (ביומסה וביוגז). לעומת זאת, המרכיב המתחדש בפסולת העירונית מהווה רק כ- 10% ביחס לקבוצה.

¹⁴ IEA-Renewables Information 2011 Edition

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 בפסולת עירונית 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-20% מהפליטות של גזי החממה. פליטות גזי חממה חושבו על ידי סוכנות הסביבה האירופית, אשר זיהו את אחוז הפליטות בהתאם לסוגי המתקנים השונים לטיפול בפסולת כדלקמן (Eurostat, 2014):

- 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 האחראי 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. בשיטה זו ניתן להעלות את שיעורי המיחזור וההשבה באתרי הקומפוסטציה והעיכול האנאירובי של החומר הפריק ביולוגית.

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 CH₄ (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. יעילות השבת האנרגיה מגז מתאן ממטמנות עומדת על כ-33% ביצירת חשמל. משוואה לחישוב מניעת פליטות ממטמנות:

$\text{ECO2 savings} = \text{methane for recovery (kg)} \cdot \text{HHV (MJ/kg)} \cdot \text{efficiency (33\%)} \cdot \text{CO2 emissions/MJ for electricity}$

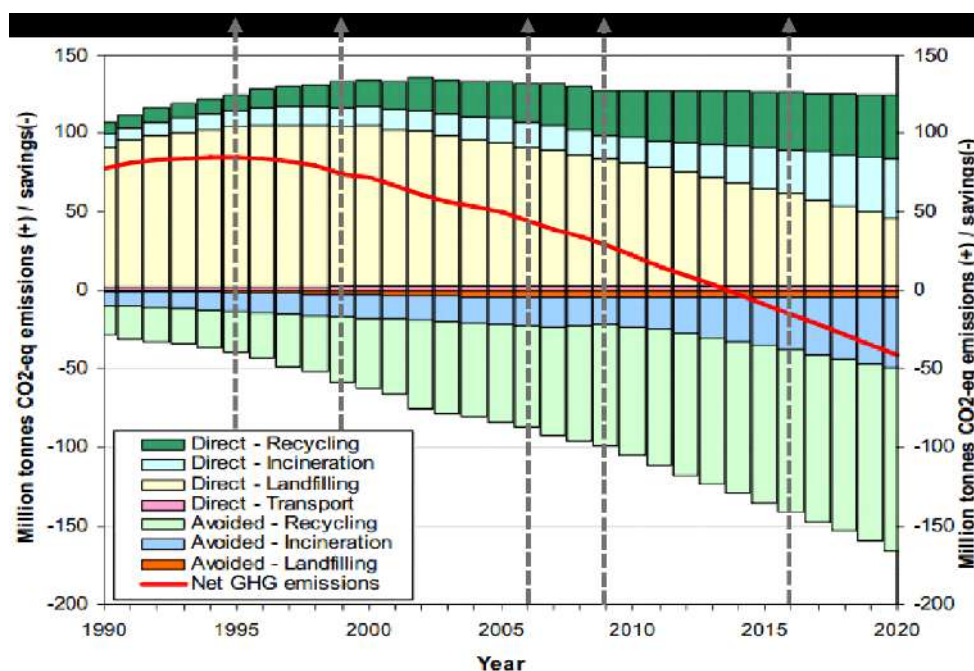
פחמן דו חמצני

הרכיב השני המשפיע על פוטנציאל אפקט החממה הוא CO₂. כ- 297 ק"ג ש"ע /של פחמן דו חמצני / טון פסולת. לפיכך, הטמנת הפסולת בישראל גורמת לייצור של כ-1,200,000 מיליון 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 ההטמנה. 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 השפעה טוקסיקולוגית שונה. בניגוד למתקנים להשבת אנרגיה שבהם יש טכנולוגיות מתקדמות ביותר לטיפול וניטרול גזים מסוכנים, במטמנות גזים אלו נפלטם לסביבה. המטמנה המייצרת גם תרכובות אורגניות נדיפות (ללא מתאן). הטבלה הבאה מופיעים חלק מן החומרים בעלי ההשפעה הטוקסיקולוגית הגבוהים ביותר נפלטם ממטמנה.

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		

Table 1 – Ranking the substances with the highest toxicological impact present in landfills (Parker et al., 2012, p.vi)

נספח ה' - מודל כלכלי בסיסי להקמת מתקן להשבת אנרגיה – רציונל

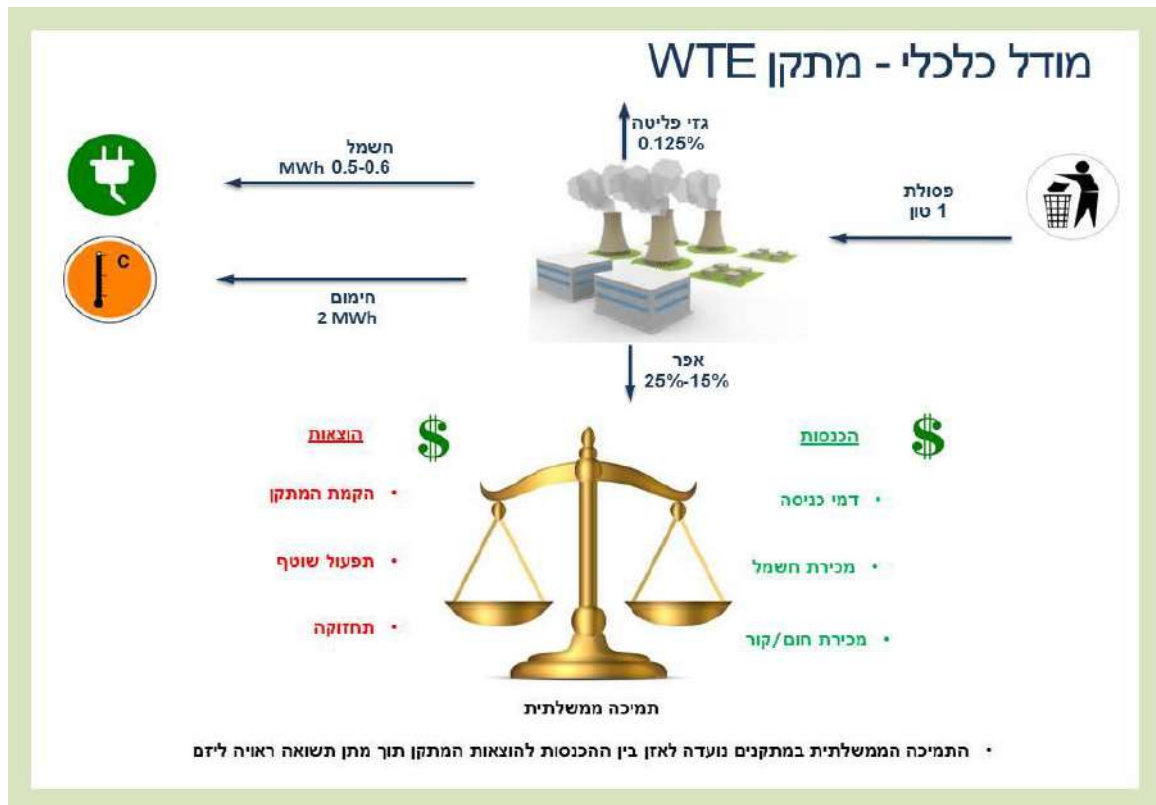
לצורך הערכת המשרד להגנת הסביבה את ההיבט הכלכלי של הקמה ותפעול של מתקן השבת אנרגיה גובש מודל בסיסי ומפושט שנועד לספק סדר גודל ראשוני בדבר המאפיינים הפיננסיים והפרמטרים העיקריים שיש להביא בחשבון, באמצעות מודל מימון של PPP. המודל נועד לשקף היבטים פיננסיים מנקודת מבט של היזם ושל הגוף המממן בבואם להשקיע בפרויקט, ומנקודת מבטה של המדינה שמספקת את התנאים הדרושים ליצירת כדאיות כלכלית לפרויקט. המודל נועד להביא לתשואה המינימלית הסבירה על ההון העצמי של היזם ולספק את התמיכה הממשלתית המינימלית הדרושה להשגת תשואה. המטרה במודל היא לקבוע בצורה טובה יותר את גודל התמיכה הממשלתית הדרושה למתקן להשבת אנרגיה בישראל. במודל נלקחו בחשבון האילוצים והמגבלות של השוק, דוגמת: המחשת סדרי הגודל של התקציבים הנדרשים בבניית מתקן, היקף הסובסידיה הממשלתית הדרושה, מחיר מבוקש ל-MWh המיוצר במתקן, מחיר כניסה לטון פסולת, תעריפי חשמל נדרשים.

ריכוז הנחות מרכזיות להקמת מתקן להשבת אנרגיה בישראל

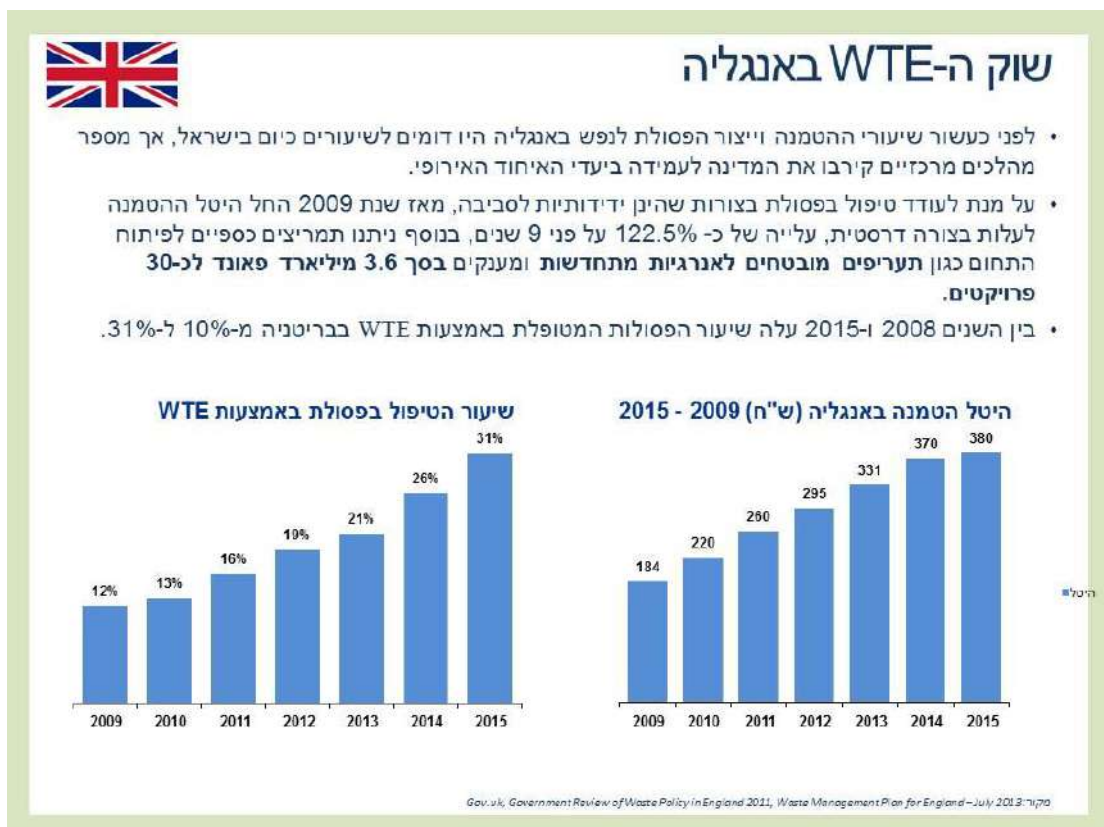
פירוט	ערך	
כללי	גודל המתקן	500-550 אלף טון בשנה
	עלות הקמה	1.05 מיליארד ש"ח (550 דולר לטון)
	תשואה דרושה ליזם	13%
הכנסות	מחיר כניסה	220 ש"ח לטון
	מחיר מכירת חשמל	כיום אין בישראל הסדרה תעריפית למתקני השבת אנרגיה מפסולת. התעריף המוצג במודל הכלכלי הינו תעריף לביו-מסה אשר עומד על 0.384 שקל לקוט"ש.
הוצאות	עלות תפעולית	\$ 40 לטון
	עלות אחזקה שנתית	73.5 מיליון ש"ח (7% מעלות ההקמה)

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

- העלאת היטל ההטמנה ויצירת מתווה ברור לטווח הארוך
- מענקי הקמה ממשלתיים
- הסדרה תעריפית - - יצירת תעריף מיוחד להשבת אנרגיה מפסולת
- עידוד מימון פרויקטלי ופרויקטי PPP
- עידוד ספציפי לטכנולוגיות של טיפול תרמי בפסולת (כגון החלטת ממשלה)



דוגמאות לשוק השבת אנרגיה בבריטניה



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 המתודולוגיה הנ"ל אינה מבוססת דיה והיא תוצאה של מגבלות המידע.

מודל זה מתבסס על מאפיינים גנריים של מתקן להשבת אנרגיה מפסולת ולא מתייחס כלל למאפיינים הספציפיים שיידרשו בעת הקמת מתקן ראשון 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, הפעלנו הערכות שמרניות ובהמשך תהליך העבודה הממשלה תצטרך לבנות מודל פיננסי 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 שיספק "כלל אצבע" שניתן יהיה לעבוד בעתיד.

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

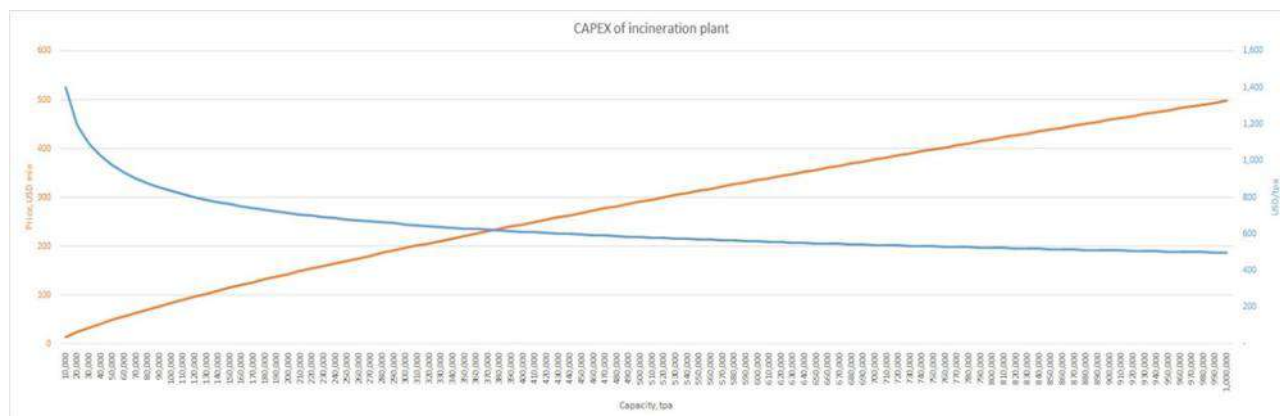
מדינה	טיפול טונות בשנה	עלות מתקן (דולר)	עלות הקמה לטון (דולר)
אנגליה - Glamorgan	350,000	286,000,000	817
אנגליה - Berkshire	400,000	205,000,000	512
אנגליה - Portsmouth Devon	245,000	241,000,000	983
אנגליה - Greatmoor	300,000	200,000,000	666
הולנד - Amsterdam	530,000	396,000,000	747
הולנד - Delfzijl	275,000	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	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

המשרד להגנת הסביבה - מסמך רקע להקמת מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת 41

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 ₪ לטון.

עלות הקמת מתקן להשבת אנרגיה מפסולת מורכבת ממשתנים רבים וישנם הבדלים מהותיים בעלות ההקמה של מתקני השבה בין מדינות שונות, ואף באופה 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 מיליארד ₪. לפיכך, על מנת להגיע לעלות הקמה מדויקת ישנו צורך בהבהרה של כלל הנקודות להלן ובמעורבות של מומחים טכניים בתחום.

CAPEX של מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת¹⁵



המשתנים העיקריים הכלולים בעלות הקמה CAPEX של מתקן השבת אנרגיה:

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

¹⁵ [Waste to Energy International](#)

ניתוח רגישות לפעילות המתקן - תמיכה ממשלתית

טבלת רגישות להיקף התמיכה הממשלתית תוך מתן תשואה של 13% לזם

מחיר כניסת פסולת לטון

300	250	235	230	225	220		
547,324	752,438	814,079	835,334	856,589	877,840	350	מחיר מכירת חשמל (MWh)
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	

- 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 לזם

טבלת רגישות לתשואה לזם עם שיעור תמיכה ממשלתית של 75%

מחיר כניסת פסולת לטון

300	250	235	230	225	220		
25%	16%	12%	11%	9%	8%	350	מחיר מכירת חשמל (MWh)
28%	19%	15%	14%	13%	12%	384	
30%	21%	18%	17%	16%	15%	420	
37%	30%	28%	27%	26%	25%	550	
40%	33%	31%	30%	29%	29%	600	

מעורבות ציבורית כבר בשלבים הראשונים של תכנון מתקנים להשבת אנרגיה הוא קריטי להצלחת הפרויקט כולו. במקרים אלו, הרשויות המקומיות והתושבים הם חלק בלתי נפרד מהאסטרטגיה לטיפול בפסולת ובעלי השפעה מכרעת על הצלחת פעולות המיחזור והשבת אנרגיה. חינוך הציבור והעלאת המודעות לחשיבות הנושא יכולה לתרום למניעת התנגדות ציבורית ו-NIMBY. במדינה קטנה יחסית כמו ישראל, מעורבות הציבור בהקמת מתקני השבת אנרגיה מפסולת תהווה גורם חשוב בתהליך התכנון של אתרי השבת אנרגיה מפסולת.

בנוסף, המשרד להגנת הסביבה סבור כי עקב חשיבותו כתשתית לאומית הקמת המתקן תחייב שיתוף פעולה נרחב מגופים ציבוריים שונים עקב אופיו המיוחד. המשרד סבור כי 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
- רשויות מקומיות
- בעלי עניין נוספים