

פלסטיקה בסביבה - אקולוגיה

ד"ר חיים אלקלעי, פרופ' אריה רם

עורך: ד"ר שמואל קניג



איגוד יצרני הפלסטיקה
משרד החמ"ס - המדען הראשי
סחימו"פ

המכון - מכון טכנולוגי לישראל
מוסד שמואל נאמן
למחקר מתקדם במדע ובטכנולוגיה





הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל
TECHNION - ISRAEL INSTITUTE OF TECHNOLOGY

THE S. NEAMAN INSTITUTE
FOR ADVANCED STUDIES IN SCIENCE & TECHNOLOGY

מוסד שמואל נאמן
למחקר מתקדם במדע ובטכנולוגיה

פלסטיקה בסביבה - אקולוגיה

ד"ר חיים אלקלעי

פרופ' אריה רם

עורך: ד"ר שמואל קניג

סברואר 1991

פּלסטיקה בסביבה: אקולוגיה

ד"ר חיים אלקלעי
פרופי אריח רם

עורך: ד"ר שמואל קניג

הדעות בפרסום זה אינן משקפות בהכרח את עמדתו של מוסד ש. נאמן.

Copyright ©, 1991. The Samuel Neaman Institute
for Advanced Studies in Science and Technology

פורסם מאי 1991
מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם
קרית הטכניון, חיפה 32000

תכן הענינים

2-3	תקציר מנהלים
4-6	1. מבוא - הגדרת הנושא ואפיונו
7-12	2. חמרים פלסטיים בפסולת
13-21	3. חלופות בטיפול בפסולת פלסטית
22-23	4. מערכים לאיסוף ומיון של חמרים פלסטיים בפסולת
24-31	5. חוקים/תקנות
32-34	6. תחליכי מיחזור
35-37	7. מוצרים מחומרים ממוחזרים
38-39	8. אספקטים כלכליים
40-41	9. מסקנות והמלצות
42	10. ביבליוגרפיה
43-45	נספח מס. 1

תקציר מנחלים

מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם במדע ובטכנולוגיה עורך מחקר מקיף על "חלופות לקידום תעשית הפלסטיקה והפולימרים בישראל". העבודה כוללת שלושה שלבים עיקריים:

- א. איסוף נתונים על מצב תעשית הפולימרים והפלסטיקה בארץ ובעולם מבחינה טכנולוגית, שיווקית וכלכלית.
 - ב. ניתוח משולב - טכנולוגי, שיווקי וכלכלי - אודות מצבה העתידי של תעשית הפלסטיקה בישראל.
 - ג. ניתוח חלופות לתעשית הפלסטיקה והפולימרים בישראל והשלכותיהן על כח-אדם, ארגון התעשייה, מחקר ופיתוח, חומרי גלם, ציוד, מיכון והשקעות.
- כחלק מהשלב הראשון בעבודה, מסכמת הסקירה הנוכחית את יחסי הגומלין בין הסביבה לתעשית הפולימרים והפלסטיקה בעולם ובישראל. דגש מיוחד ניתן למודעות הגוברת לבעיות איכות הסביבה ומקומה של הפסולת שמקורה בחומרים פלסטיים בכלל הפסולת הביתית והתעשייתית.

הפתרון הקיים לסילוק אשפה על ידי מילוי שטחים הגיע לרוויחה. לפיכך התפתחו מספר דרכים חלופיות לטיפול בפסולת פלסטית שהעיקרית ביניהן מבוססת על מיחזור. שיטות אחרות כמו פירוק על ידי קרינה או מיקרואורגניזמים, שריפה ופירוליזה לקבלת כימיקלים, הן משניות.

פוטנציאל המיחזור של חומרים פלסטיים בארץ יכול להגיע ל-110 אלף טון (45% מכלל הצריכה) כשהמקור העיקרי הוא מענף האריזה והחקלאות. בפועל ממחזרים כיום בארץ רק 7 אלפי טון ב-3 מפעלים. בארץ שיעור המיחזור של חומרים פלסטיים מפסולת מוצקה נמוך מזה המקובל בעולם. שריפה של חומרים פלסטיים, לקבלת שווה ערך אנרגטי, היא אמנם יעילה, אך מעוררת התנגדות בשל בעיות אקולוגיות פוטנציאליות בחומרים המכילים כלור (בעיקר PVC) וגזים שמקורם במתכות כבדות (תוספים ופיגמנטים). פתרון בעית האשפה הפלסטית על ידי שימוש בחומר מתפרק קוסם מאד. בהתאם, פותחו שיטות לפירוק פוטוכימי, ביוכימי והמסה. באופן מעשי קיימת מגבלה עקב חוסר שליטה על תנאי הפירוק בשטח וחשש תעשיית המיחזור לערוב חומרים מתכלים בחומרים ממוחזרים.

מכיוון שהמיחזור הוא התהליך המועדף, פותחו שיטות שונות לאיסוף ומיון כמו: מיון ראשוני במקור, איסוף בפתח הבית לפי קבוצות חומרים, ואיסוף במרכזי קניות על בסיס החזר פקדון.

רצון האוכלוסייה המערבית לאיכות חיים גבוהה וסביבה נקיה הביא להכנת מאות הצעות חוק, בארה"ב ובאירופה, בנושא האקולוגיה והפסולת. החוקים מחייבים סיווג למיחזור, תקנות לאיסוף אשפה ליד הבית, יעדים לרמת מיחזור מינימלית, סימון אריזות וקביעת פקדון למיכלים פלסטיים. בישראל הוכנה הצעת חוק על ידי ח"כ דן תיכון לפניו פסולת הניתנת למיחזור. גם הצרכנים מגלים ענין ונכונות לרכוש מוצרים "ידידותיים לסביבה". קיימת התיחסות רצינית של יצרני האריזות ושל יצרני חומרי הגלם. בארה"ב ואירופה הוקמו מרכזים לעיסוק במו"פ ויישום שיטות לאיסוף ומיחזור.

למיחזור היבטים מעשיים. ראשית קיים צורך לפיתוח תהליכי מיחזור כלכליים ויעילים ושנית יש למצוא שימוש מתאים וכלכלי לחומר הממוחזר. PET משמש ליצור סיבי פוליאסטר, סרטי קשירה ובקבוקים (לא למזון). פוליאתילן משמש לצנרת, ארגזים ומשטחים, חומר מעורבב משמש לתחליפי עץ ומשטחים. ההיבטים הכלכליים הם העיקריים בקיום תעשיית מיחזור יעילה. כבר כיום ניתן להעריך שתעשיית המיחזור בארץ יכולה להגיע להיקף של 25 מיליון דולר תוך קיום רווחיות סבירה.

בדומה לקיים בארצות המערב, מומלץ להקים מרכז אקולוגיה לחומרים שיעסוק בעיקר במיחזור חומרים פלסטיים. בכדי לקדם את נושא האקולוגיה יש להקציב משאבים לתמיכה במו"פ לפיתוח שיטות מיחזור, חומרים ושימושים. מבחינה מעשית יש לעודד הקמת מערכים לאיסוף ומיון פסולת פלסטית, בעיקר מאריזות, תוך קיום חקיקה ותמריצים תומכים לקידום נושא המיחזור. בעיקר מומלץ לשים דגש על סימון מוצרים, עיצוב אקולוגי למוצרים, והגברת המודעות במערכת החינוך לחשיבות האקולוגיה. כמו כן, מומלץ לבחון את שילובם של מדענים עולים במרכז האקולוגיה.

1. מבוא - הגדרת הנושא ואפיונו

השימוש בחומרים פלסטיים בעולם גובר בקצב הגבוה מזה של חומרים אחרים (1). המודעות של העולם (בעיקר המערבי) לבעיות "איכות הסביבה - אקולוגיה" גדלה - וישנם הטוענים כי "אקולוגיה" תהווה את הנושא המוביל בעשור הקרוב. (2,3,4). מטרת סקירה זו היא לתעד את הנעשה בשטח הפלסטיקה והאקולוגיה בעולם ובארץ, עם דגש על הערכת ההשפעות של האקולוגיה על התפתחויות בענף הפלסטיקה בארץ בשנות התשעים, יידונו השלכות על צרכי המוצ'פ, כח אדם, התארגנות התעשייה ומוסדות ממשלתיים.

הבעיה האקולוגית הכרוכה בשימוש בחומרים פלסטיים נובעת מיציבותם היחסית לפירוק מיקרוביולוגי וכן לנפח היחסי הגדול של אריזות פלסטיות. אם נוסיף לכך את הגידול המתמיד של החלפת חומרים ישנים בחומרים סינטטיים בתחום האריזה, החקלאות, הקונסטרוקציות, רפואה וכו' הרי הגיעה העת למצוא פתרונות מתאימים כך שהזיהום הסביבתי יקטן עד כמה שאפשר. מובן שאין להסתפק בפתרונות טכנולוגיים ויש לגייס את התודעה הציבורית מצד אחד, ואת הרשויות הציבוריות מצד שני (אכיפה וחקיקה) על מנת להצליח במשימה ולהגיע לרווחיות. בסקר זה אנו מתמקדים בפסולת המוצקה המורכבת מחומרים פלסטיים (פולימרים) אשר באה ממקורות שונים: א. פסולת תעשייתית; ב. פסולת חקלאית; ג. פסולת מוסדית, ביתית (עירונית או כפרית).

הקטגוריה הראשונה (פסולת תעשייתית) היא חקלה ביותר לטיפול, כיון שהיא בדרך כלל נקיה יחסית, מוגדרת היטב (לא מדובר בתערובות) ונמצאת באחריות ישירה של המפעל המעבד מוצרים פלסטיים. ואכן, במרבית המקרים מצליח היצרן לאסוף את הפסולת (מוצרים פסולים ומקולקלים, קצוות וחומרים שעברו דגרדציה חלקית או אי התאמה), לטחון ולערבב עם חומרי גלם ראשוניים בפרופורציה שאינה מזיקה (מחזור ראשוני). לעתים, אין אפשרות לשלב חומר פגום (בגלל סטנדרטים גבוהים במיוחד), או שקיימת דגרדציה משמעותית בחומר הפגום (שינויי גוון וכו'). במקרה זה ניתן למצוא תעשיינים אשר מתמחים במיחזור חומרים סוג ב', עם טיפול מינימלי (ניקוי, תוספים או ערבוב עם סוגים אחרים). בארץ קיימים מפעלים שעוסקים במיחזור תעשייתי לשימושים אחרים מאשר של הספק הראשון (מיחזור משני).

החקלאות מהווה דוגמה של מקור צרכני מרוכז המשתמש בחומרים פלסטיים בכמויות גדולות. מקורות דומים קיימים בבתי חולים, במפעלי אריזה וכדומה. המיחזור בארץ כיום מבוסס בעיקר על יריעות פוליאיתילן מהחקלאות. בתום השימוש מהוות היריעות מפגע אקולוגי רציני, לכן חשיבות המיחזור של יריעות בחקלאות גדולה במיוחד.

הפסולת הביתית היא הפרובלמטית ביותר. יש צורך בפעולת הפרדה שיטתית של המרכיבים השונים (פעולה מסובכת ויקרה) ובמקרים רבים מגיעים לפרקציה של תערובת חומרים פלסטיים עם שאריות של חומרים נלווים (נייר, גומי ועוד). מאידך בפסולת הביתית קיים מאגר גדול של חומרים שונים (כולל זכוכית, מתכות קלות וברזל, חומר אורגני ועוד) אשר אינו מנוצל ומהווה מטרד אקולוגי רציני ביותר. המרכיב הפלסטי אינו הדומיננטי בפסולת ביתית, אך בנפח הוא עשוי לתפוס חלק גדול יחסי. תופעה זו גוברת עם השימוש בבקבוקים וצנצנות בעלי נפח גדול (ביחס למשקל). הפתרון הקיים לאיסוף אשפה ביתית הוא על ידי מילוי שטחים (בחלקם רחוקים ובחלקם מלאים). שיטה זו הגיעה לרוויה, כי אין די שטחים פנויים בהישג יד ברוב הערים והעלות מרקיעה שחקים.

הקושי בטיפול באשפה העירונית אינו קיים רק לגבי הפסולת הפלסטית, ואיננו נחלתה הבלעדית של מדינת ישראל - זוהי בעיה כלל עולמית. יש מספר דרכים לטיפול בפסולת הפלסטית:

א. מיחזור לשימוש חוזר.

ב. פירוק פנימי (degradation).

ג. פירוליזה ליצירת כימיקלים שונים, כולל מונומרים.

ד. שריפה מבוקרת להפקת אנרגיה.

כל ארבעת הפתרונות עדיפים על פני מילוי שטחים, הן מבחינה אקולוגית והן מבחינה כלכלית, אלא שבכולם נדרשת השקעה ראשונית משמעותית, ולכן יש צורך בתמיכה ממשלתית נמרצת. הפתרון הטוב ביותר הוא המיחזור, שיעילותו תלויה בהפעלת מוקדים לאיסוף ולהפרדה בין המרכיבים העיקריים של הפסולת: נייר, זכוכית, מתכת וחומרים פלסטיים. בתנאים מסויימים יכול המיחזור להיות אפילו רווחי. רצוי אמנם שהמוטיבציה של האזרחים לאיסוף והפרדה תהיה קיימת לתרומת פעולתם זו לאיכות הסביבה, כלומר על בסיס התנדבותי, אולם במידת הצורך יש להפעיל גם אכיפה. באירופה, ארה"ב והמזרח הרחוק יש כבר הצלחות ראשונות בכיוון זה, וגם בארץ מופיעים ניצני התארגנות דומה. מובן שארגון המיחזור בקנה מידה ארצי הוא מבצע מסובך, אולם לא יחיה מנוס מאימוץ פתרון זה, תוך סיוע כספי ממקורות ממשלתיים ועירוניים. במקביל למיחזור, נבדקים גם הפתרונות האחרים לבעיית הפסולת הפלסטית. בשנים האחרונות מוקדשים מאמצים רבים לפיתוח פולימרים המתפרקים עקב פעילות ביוכימית או פוטוכימית. ישנן הצלחות מסוימות בכיוון זה, אך בד בבד נוצרות בעיות חדשות כגון שינויים בתכונות הפולימר, והתפרקות מוקדמת ובלתי רצויה (פרה-מוטורית). גם שני הפתרונות האחרים - פירוליזה ושריפה, נבדקים ונעשים נסיונות להתגבר על בעיות הכרוכות בהם.

מבחינת עיבוד החומרים הפלסטיים, הרי כל פולימר שונה מבחינת תנאי העיבוד, התכונות והיעוד. ניתן, לעבד תערובת של שני חומרים פלסטיים או יותר. פותח ציוד מתאים בכמה ארצות, כאשר המוצרים הם לרוב בעלי עובי גדול (כדי להתגבר על תכונות מכניות ירודות) לשימושים מגוונים כגון: גדרות, מעקות, מדרכות, ספסלים, ואביזרי גן ונוי, מוצרי חקלאות, מדפים, משטחים ועוד. השיקול אם להפריד לפולימרים בדידים או לעבור לתערובת הוא כלכלי, וקשור בעלות ויעילות ההפרדה. במקביל, קיימת האפשרות של השבחת התערובת על ידי פולימרים הקושרים כימית את שני המרכיבים (Compatibilizers), חומרים פעילי-שטח, מלאנים ועוד.

2. חומרים פלסטיים בפסולת

בחינה אמיתית של השפעת תעשית הפלסטיקה על הזיהום הסביבתי, חייבת לכלול נתונים על החלק היחסי של חומרים פלסטיים בפסולת, ומטרדים הנובעים מכך. בגלל בעית המחסור בארץ ובעולם של אתרי קבורת אשפה (Landfills), עיקר הבעיה קשור לטיפול בפסולת אשפה מוצקת (M.S.W. (Municipal Solid Waste) סקרים שונים בארץ ובעולם קובעים שאחוז הפלסטיקה בפסולת מוצקת (במשקל יבש) נע בין 7-12%, ובנפח האחוז כפול - 15-20% (ראה ציורים 1, 2, וטבלה 1). נייר, לדוגמא, נמצא באחוזים גבוהים מאלו של פלסטיקה בפסולת מוצקת (20-25%), אך אין מתיחסים לנייר כבעיה חמורה כל כך, היות והוא אמור להתפרק ביתר קלות מהחומר הפלסטי, וכן ישנה כבר מסורת נכבדה של מיחזור נייר (25%), בעוד שמיחזור פלסטיקה עדיין בראשית דרכו (1-2%). (1). כדאי להדגיש כי פסולת הפלסטיקה אינה מהווה מטרד בריאותי מסוכן, כפי שקיים בחומרים רעילים היכולים לזהם מקורות מים, או בחומרים כגון CFC הגורמים לבעיות באטמוספירה. היות והמטרד בעיקרו הוא בעיות מקום ואסתטיקה, הפתרונות לטיפול חייבים לבוא בסדר עדיפות מתאים, בהתחשב בסך כל המשאבים והצרכים שיש למדינה, ו/או על ידי יצירת תנאים (תמריצים כלכליים, חוקים, נוהלים) שיאפשרו הקמת מערכים כלכליים/תעשייתיים לטיפול בפסולת פלסטית.

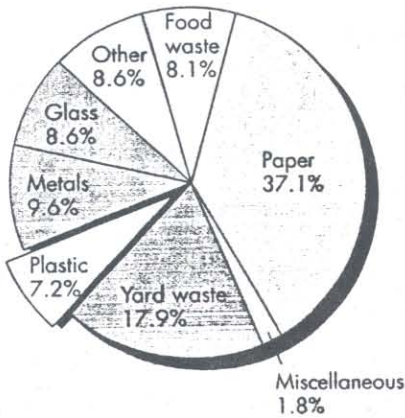
טבלה 1: שיעור החומרים הפלסטיים באשפה - עפולה 1985*

סוג האשפה	אחוז החומר הפלסטי	לחות (מים) (%)
אשפה כוללת	7.5	22
אשפה תעשייתית	3.8	3
אשפה מסחרית	6.7	17
אשפה ביתית	8.7	29

* נתוני אמניר

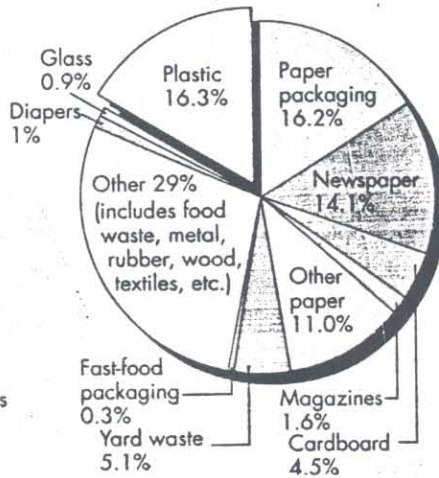
How plastic contributes to the solid-waste stream

By weight



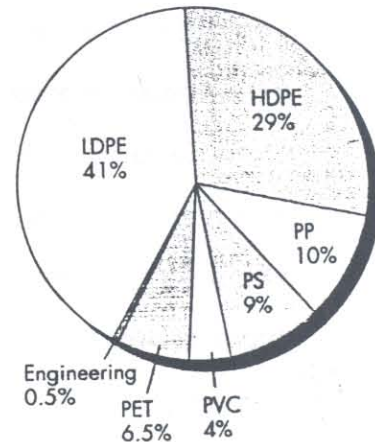
Source: Franklin Associates/Environmental Protection Agency

By volume



Source: Garbage Project, University of Arizona

By resin



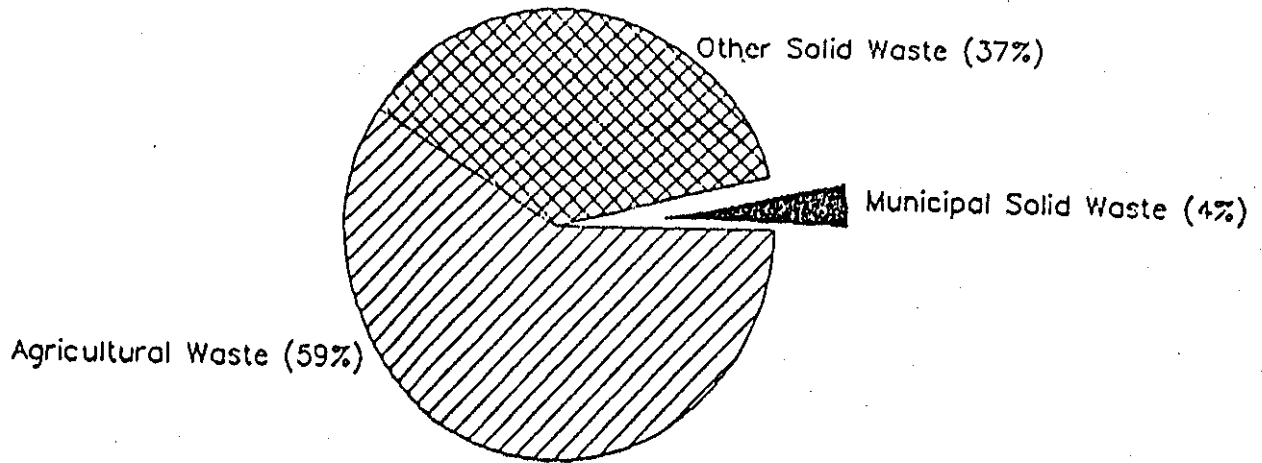
Source: Plastics World, from SPI production data for packaging end-uses

If you dug up a landfill, would you find plastic to be an environmental villain? No, two studies show. Landfill digs conducted by Franklin Associates and Dr. William Rathje of the University of Arizona show that numerous other materials—notably paper—are present in landfills in far greater amounts than plastic. These findings have yet to stem the anti-plastics tide sweeping the nation.

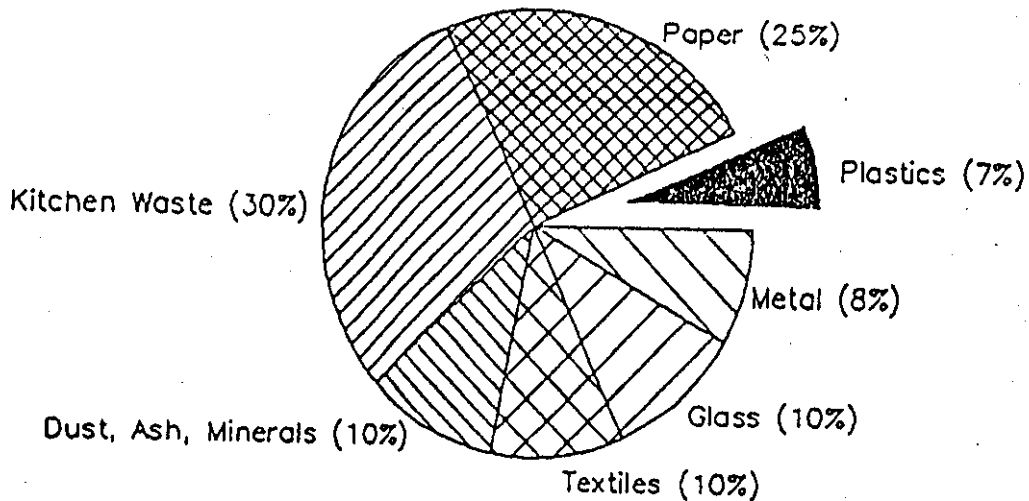
ציר מס. 2: חומרים פלסטיים בפסולת מוצקה באירופה

PLASTICS IN MSW, EEC, 1986

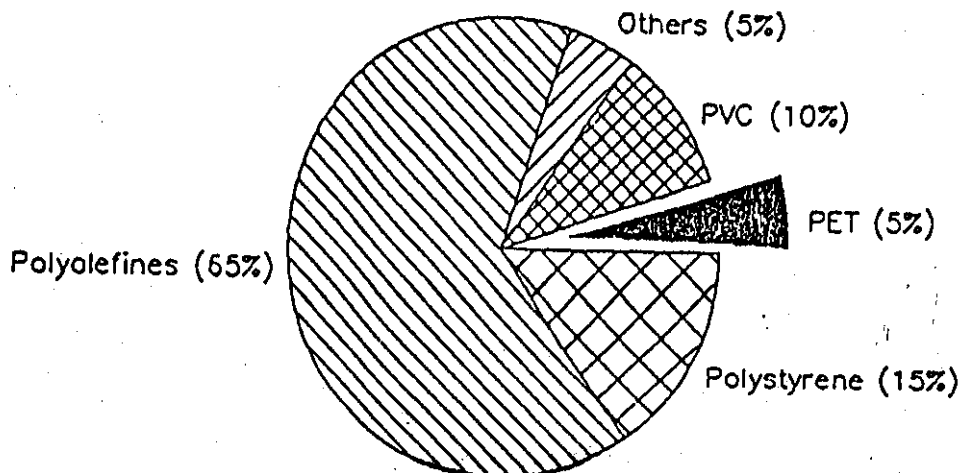
Total = 2200 MM Mt/yr



Total = 100 MM Mt/yr



Total = 7 MM Mt/yr



Total PET = 0.35 MM Mt/yr = 0.014% of Total Waste

הטיפול בפסולת הפלסטית התעשייתית, חקלאית, ביתית ומוסדית, חייב להביא בחשבון את:

- א. סה"כ כמות החומרים הפלסטיים בשימוש.
- ב. מגורים בהם נעשה השימוש בפלסטיקה (מגדיר אורך חיים ממוצע).
- ג. סוגי החומרים, דרגת נקיונם ורמת הפרדת הפסולת.
- ד. שיטות ועלויות איסוף, מיון וטיפול בפסולת הפלסטית.

הכמויות של חמרי הגלם בשימוש (בארץ ובעולם) מובאות בטבלה 2. תאורטית, סה"כ הכמות הפוטנציאלית האפשרית לטיפול בארץ מוערכת בכ-110,000 טון פלסטיק בשנה, לפי ניתוח שימושים וחומרים (ראה טבלה 3). מספר דומה (116,000 טון) צוטט על ידי מר דן מורגנשטרן בכנס לאיכות הסביבה 1990.

טבלה מס. 2: השימוש בחומרים פלסטיים לפי מגורים בעולם ובארץ (באחוזים)

זמן שימוש*	ישראל	ארה"ב	אירופה	איזור שימוש
ק	30	30	39	אריזה
ק-ב	25	22	1	חקלאות
א	15	23	19	בניה
ב-א	5	4	7	תחבורה
ק-ב	5	-	3	כלי בית
ק-א	20	21	31	שונות
	240,000	27,000,000	26,000,000	סה"כ בטונות (89)

* זמן שימוש

קצר - 1 < שנה
 בינוני - 1-10 שנה
 ארוך - 10 > שנה

טבלה מס. 3: פוטנציאל מיחזור של חומרים פלסטיים בישראל

ענף	אחוז	שימוש שנתי	חייג עיקריים	זמן שימוש	% מחזור
אריזה	30	72,000	PE/PS/PET/PVC	1	95
חקלאות	25	60,000	PE/PP	1-5	35
בניה	15	36,000	PE/PVC/ENG	10	10
תחבורה	5	12,000	ENG/PP	3-5	25
שונות	20	48,000	כולם	1-10	20
סך הכל	100	240,000			~ 45

לטיפול - פוטנציאל מוערך בכ-110,000 טון

המקורות העיקריים למיחזור חומרים פלסטיים בארץ מצויים בשימושים חקלאיים ובחומרי אריזה. לגבי השימושים החקלאיים מדובר בעיקר בכיסוי הממות ומנהרות (גבוהות ונמוכות) וכן באביזרי השקיה ורשתות. קיימים מספר מפעלים העוסקים במיחזור יריעות פוליאתיילן משומשות בחקלאות על ידי איסוף, רחיצה, דחיסה, גריסה וייצור פתיתים. ההיקף הכללי בייצור של מפעלי המיחזור הוא כ-7,000 טון לשנה, ומחולק בין שלושה מפעלים עיקריים: אמניר (3,000 טון לשנה), ישראלפטרק (1,500 טון לשנה) ופלגמים (1,000 טון לשנה). כושר הייצור של מפעלים אלה גדול פי 2-1.5 מהתפוקה הנוכחית. צואר הבקבוק הוא בארגון האיסוף והשיווק.

המקור הגדול, אך הבעייתי ביותר הוא האשפה העירונית. מניחים שבישראל כל אורח מייצר בממוצע 1.1 ק"ג אשפה ליום (לעומת 1.6 ק"ג לנפש בארה"ב, 1.05 ק"ג לנפש ביפן ו-0.82 ק"ג לנפש באיטליה). סך כל האשפה השנתית בארץ מוערך ב-2 מליון טון לשנה. אם נעריך ב-6% את כמות החומרים פלסטיים באשפה הביתית, נגיע לכמויות של 120,000 טון לשנה (הערכות מדברות על 10%). הבעיה העיקרית במיחזור חומרים פלסטיים מאשפה ביתית היא ארגון האיסוף והתפירה. לאחר מכן באים השלבים של ניקוי, ייצור מוצרים ושיווק.

הרכב אופייני של אשפה מוצקה על בסיס דו"ח מלמד של משרד האנרגיה (1980) מופיע בטבלה מס. 4.

טבלה מס. 4: הרכב אשפה מוצקה בחיריה - 1986*

סוג החומר	אחוז (בסיס: משקל-יבש)
חומר רקבובי	51.3
נייר וקרטון	19.4
סינטי (פלסטיק רך + קשה)	12.1
מתכות	5.4
טקסטיל ועור	3.9
גזם	3.0
זכוכית ושונות	4.9
סה"כ	100.0

* בסיס: דוי"ח מלמד - משרד האנרגיה - אוגוסט 1986.

נראה שיש כר נרחב לטיפול נוסף: הערך הכספי הטמון בחומרים מגיע לעשרות מליוני דולר בהתחשב בערך הראשוני של חמרי גלם פלסטיים (2,000-700 דולר לטון).

3. חלופות לטיפול בפסולת פלסטית

טיפול יעיל בפסולת הפלסטית חייב להיות מושתת על גישה אינטגרטיבית המאחדת מיכלול של אפשרויות, עם דגשים שונים בהתאם למצב הספציפי בשטח. קיימות מספר אפשרויות לטיפול בפסולת:

א. הקטנת כמות הפסולת במקור

ב. מיחזור

ג. שריפה לצרכי אנרגיה

ד. פלסטיק מתכלה

ה. פירוק ליצירת חומרים כימיים

ו. פינוי לאתרים

דוגמאות לפעילות קיימת ומתוכננת באירופה נתונות בטבלה 5.

3.1 הקטנת כמות הפסולת במקור

הקטנת כמות הפסולת במקור היא אמנם השיטה הטובה ביותר, אולם היא מסובכת לביצוע מאחר שכרוכה בה פגיעה בנוחיות וברמת החיים הקיימת. היא מצריכה, למשל, חזרה לשימוש באריזות ובמוצרים רב-פעמיים, דבר שיש בו פגיעה בנוחיות. מעבר כזה מצריך פעולה הסברתית נרחבת כדי לשכנע את הציבור לבצעו. בצד השכנוע לפעילות וולונטרית, ניתן להפעיל תקנות כגון גבית תשלום עבור סילוק אשפה, לפי כמות. אפשרות נוספת היא ייצור אריזות חד פעמיות בעלות נפח קטן יותר, והימנעות מאריזות עודפות.

3.2 מיחזור

מיחזור היא הגישה הסבירה ביותר, ובעלת הסיכויים הטובים ביותר, בהתחשב בנסיון עם חומרים אחרים כמו: נייר ואלומיניום שבהם אחוז המיחזור 30% וכ-25% בהשוואה לכ-1% בפלסטיקה (ציור 3). עלויות המיחזור ותהליכי המיחזור תלויים באופן ישיר באיכות החומר הממוחזר.

האפשרות ל"הפרדה" בשלב האיסוף היא קריטית בתהליך המיחזור. לכן חשובה חקיקה בנושא זה כפי שקיימת בארצות שונות, והוצעה אף בישראל (נספח א'). ככל שהחומר נקי יותר, ערכו גבוה יותר, ואפשר להשתמש בו קרוב ככל האפשר לשימוש הראשוני.

טכנולוגיות רבות פותחו בהקשר למיחזור. עיקר המאמץ התמקד עד עתה בחומרים כ-PET המהווה את חומר האריזה הנפוץ ביותר לבקבוקי משקאות. מערכי מיחזור לחומר זה מטפלים ברחבי העולם בלמעלה מ-100,000 טון PET, בעיקר על חברת Wellman. למרות שהתהליך מורכב וכולל איסוף הבקבוקים, טיפול בגריסה והפרדת המרכיבים השונים (הבקבוק מ-PET, התחתית מ-HDPE, הפקס מאלומיניום או PP, המדבקה מנייר, דבק למדבקה ודבק לתחתית) הוא כלכלי וכדאי, וחברת Wellman מרוויחה. ההשלכות לגבי הארץ - יש מקום בעתיד למפעל למיחזור PET. כלכלית, קיימות דרישות לגודל מינימלי מסויים - 2000-3000 טון לשנה, דבר הדורש איסוף ומיחזור של כ-25% מכלל הבקבוקים מ-PET בארץ.

תהליך אלטרנטיבי להפרדה הוא שימוש בתערובת פולימרים והחומרים הנלווים להם כמו שהם, ללא הפרדה (Comingled). תערובות אלה נגרסות ומעוצבות בלחץ ובחום. תוך כדי כך הן עוברות גם עיקור. בשיטה זו נעשה שימוש באירופה ובארצות הברית. בדרך כלל מהווים פוליאולפינים, בעיקר פוליאאתילן, 60-65% מהתערובת, והם יוצרים מטריצה המאגדת את המרכיבים האחרים (40-35%). מרכיבים אלה יכולים להיות נייר, מתכות, זכוכית וזיהום. החומר הפלסטי המתקבל משמש כתחליפי עץ, בשימושים כמו ספסלים, גדרות, משטחים, בדרך כלל בשילוב עם עץ או מתכת.

טבלה 5: פעילות קיימת ומתוכננת לטיפול בפסולת פלסטית באירופה.

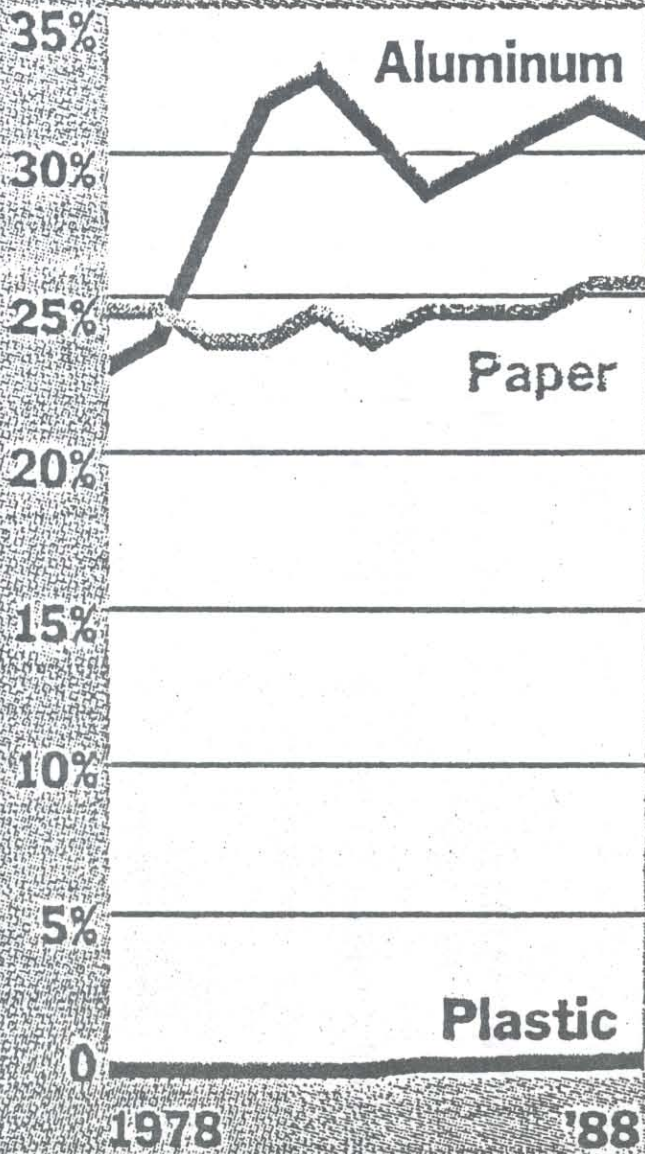
BELGIUM	:	OVAM	COLLECTION + RECYCLING
FRANCE	:	GECOM PELICAN	COLLECTION PLASTIC BOTTLES, MICRONIZING, RECYCLING COLLECTION PLASTIC BOTTLES
ITALY	:	RDF ENIMONT RAVENNA PLASTICA AMICA	REFUSE DERIVED FUEL IN CEMENT/BITUMEN INDUSTRY PR-ACTIVITIES TO IMPROVE THE IMAGE OF PLASTICS
GERMANY	:	VKE R&D PROGRAM BASF/BAYER/HOECHST	RECYCLING OF CLEAN SOURCE AND COMINGLED WASTE ENERGY RECYCLING PROJECT
UK	:	SHEFFIELD / MANCHESTER HASTINGS INCPEN	PM-COLLECTION / SEPARATION SYSTEMS REFUSE DERIVED FUEL NATIONAL COORDINATION INITIATIVE ON PWM AND OTHERS

ציור מס. 3: השתנות אחוז המיחזור של אלומיניום, נייר ופלסטיק (א) ומשקלם (ב)

מ-1978 עד 1988

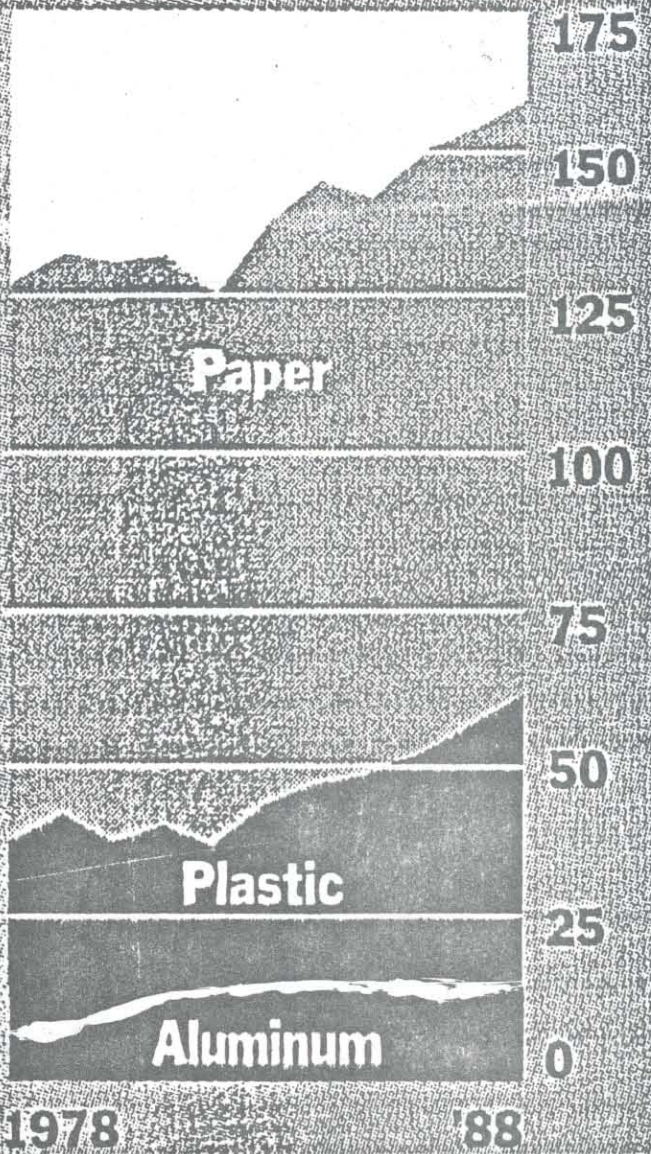
PLASTIC RECYCLING HAS A LONG WAY TO GO

RECYCLING RATE



PRODUCTION

billions of pounds



SOURCE: INSTITUTE OF SCRAP RECYCLING INDUSTRIES INC.

K

P

3.3 שריפה

לחומרים הפלסטיים ערך קלורי גבוה. כמות האנרגיה ליחידת משקל בחומרים הפלסטיים הנפוצים באשפה (PE/PP/PS) היא למעלה מכפולה מזו של פחם ונייר, קרובה לערך הקלורי של דלק בערה ופי ארבעה מהערך הקלורי של אשפה (טבלה 6). כך שבכל מקרה שמיחזור לא סביר כלכלית, בהחלט יש מקום לבדוק אפשרות של שריפה מתוך כוונה לשימוש באנרגית התהליך.

טבלה מס. 6: ערך קלורי של חומרים פלסטיים בהשוואה לדלקים וחומרים אחרים

Material	BTU per pound
Plastics	
Polyethylene	19,900
Polypropylene	19,850
Polystyrene	17,800
Rubber	10,900
Newspaper	8,000
Leather	7,200
Corrugated Boxes (paper)	7,000
Textiles	6,900
Wood	6,700
(Average for MSW)	4,500 to 4,800
Yard Wastes	3,000
Food Wastes	2,600

By comparison, the heat content of common fuels is:

Residual Fuel Oil	20,900
Wyoming Coal	9,600

השריפה של חומרים פלסטיים היא אמנם יעילה, אולם מעוררת התנגדות בדעת הקהל בשל בעיות אקולוגיות שהיא עלולה לגרום. בתהליך השריפה קיימת אפשרות לקבלת גזים רעילים ומזהמים, שמקורם במתכות כבדות (גשם חומצי), בתרכובות אורגניות ובעיקר בתרכובות המכילות כלור. בהקשר זה מוזכר בעיקר ה-PVC שבשריפתו נוצרים גזים רעילים כמו Dioxanes (CDD), פורניוס (CDF) וחומצה הידרוכלורית. בעיות נוספות נובעות מסילוק האפר הנוצר בשריפה. בכל הבעיות הנ"ל ניתן לטפל בטכנולוגיות קיימות. מומחים לשריפת אשפה טוענים כי ניתן להקטין את אחוז המרכיבים המסוכנים שמקורם במתכות, בגזי הפליטה ובאפר לרמות בטוחות באמצעים שונים כמו שיקוע אלקטרוליטי וסינון דרך בד. במקביל, מפתחת התעשייה תחליפים אורגניים לפיגמנטים המכילים מתכות כמו עופרת, קדמיום וכרומיום, המשמשים לעתים קרובות להקניית גוון לפלסטיק. גזים חומציים מסולקים בעזרת מלכודות ביעילות של 95% עבור HCl ו-70-90% עבור SO₂. גם את כמות התרכובות האורגנית בפליטה ניתן להקטין מאד. כתוצאה מכך שריפת PVC אינה בעייתית כפי שהיתה (9), (10), מה גם שחלקו בסה"כ כמות הפלסטיק קטן, וקיימת מגמה להקטין עוד יותר את השימוש בו למוצרים חד-פעמיים. באתרים מסויימים במספר מדינות (גרמניה, שוויצריה) חל איסור להכניס PVC למתקני הבעירה.

השימוש בפתרונות השונים לבעית הפסולת שונה מאד ממדינה למדינה (ציור 4). ביפן ממחזרים כ-50% מהפסולת, שורפים 34% וקוברים רק כ-16% מהפסולת. בארה"ב, לעומת זאת, ממחזרים רק 10%, שורפים 4% מהפסולת, ורוב רובה, כ-86%, מובל לאתרים. ישנן תכניות להגדיל את אחוז הפסולת העירונית המטופלת בשריפה בארה"ב ל-25% עד שנת 1992, ול-50% לקראת שנת 2010. באירופה אחוז הפסולת המטופלת בשריפה הוא 30-50%. בישראל נעשים נסיונות בקנה מידה קטן לטיפול באשפה בשריפה. ההשקעה הראשונית במתקני הבעירה גבוהה, ומחייבת טכנולוגיה מתקדמת ובקרה מתאימה, אולם למרות זאת יש לשקול יישום שיטה זו בארץ.

ציור מס. 4: טיפול בפסולת מוצקה באירופה, יפן וארה"ב



3.4 פלסטיק מתכלה

האפשרות לייצור חומר פלסטי שיכול להתפרק בעת הצורך ועל ידי כך לפתור את בעית הטיפול בפסולת - קוסם מאד. ישנם הרבה פיתוחים של חומרים או תרכובות חומרים פלסטיים ותוספות הגורמים לכך שמוצר פלסטי יוכל להתכלות בתנאים מסויימים - U.V. Photodegradable, Biodegradable, Dissolvable. התהליכים מתוארים בציור 5.

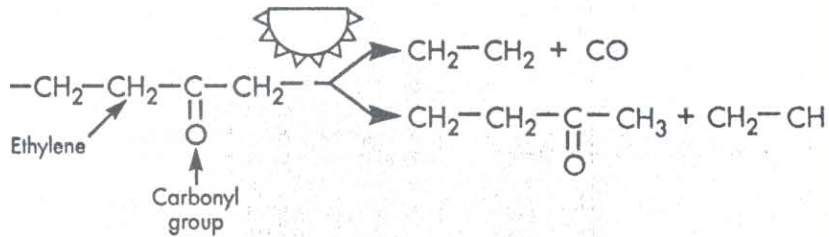
מעשית, יש מקום מוגבל ושולי לשימוש בחומרים מתכלים בעיקר בחקלאות (MULCH) או בארזות חד-פעמיות מסויימות למניעת זיהום סביבתי לצדי הדרכים ובחופים (Litter). מספר חברות, כולל פלסטופיל, משווקות חומרים בתחום זה.

למרות שבשלב מסוים פרסמו בארה"ב ברבים את ענין הפירוק (להרגעת הקהל והרשויות שניסו למנוע שימוש בארזות פלסטיק) התברר, כי התהליכים לא תמיד אמינים ומבוקרים. אור או רטיבות לא בהכרח קיימים בכמות נדרשת, וההתפרקות לא מתבצעת. חברת MOBIL החליטה להפסיק פרסום בענין זה. בשלב מסויים היה אף חשש בקרב הממחזרים של חומרים פלסטיים שעירוב חומרים מתכלים עלול להוריד את תכונות הפלסטיק הממוחזר - קרוב לודאי שבהתחשב בכמות המזערית של חומרים מתכלים ובמגבלות שהוזכרו, ההשפעה תהיה שולית.

פיתוח מענין בנושא של "תפירת פולימר" היא של חברת Belland (ציור 5) שעל ידי הכנסת קופולימר מתאים לשרשרת מצליחים לקבל פולימר מסיס או בלתי מסיס בכדי לאפשר טיפול נאות בפסולת הנובעת ממיכלים חד-פעמיים.

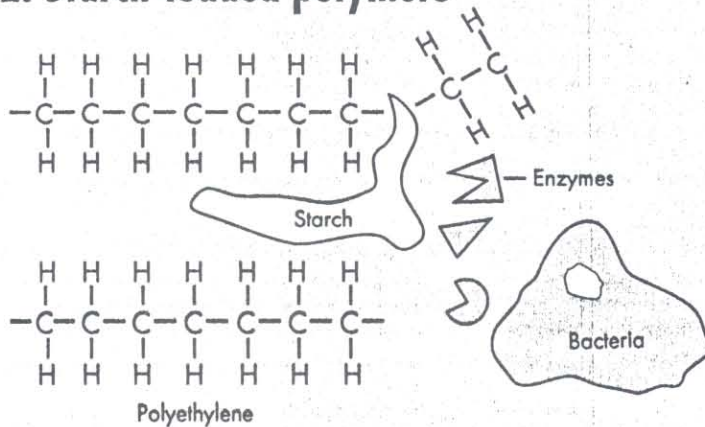
חברת קוקה קולה תומכת בטכנולוגיה זו כאפשרות לפתרון בעית הפסולת (11). גישה זו יכולה לשמש כבסיס לפיתוח סוגי פולימרים ספציפיים לפתרון בעיות מיוחדות ומוגדרות במחזור, גם בארץ.

1. Photodegradable copolymers



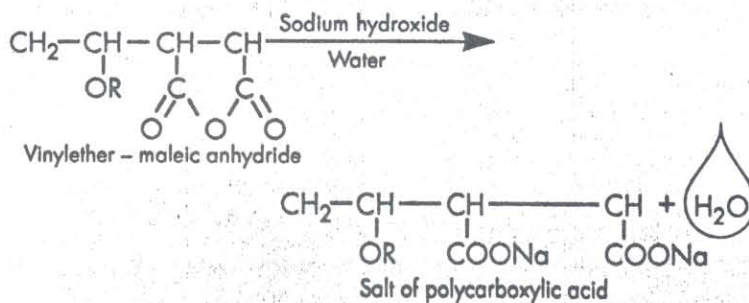
Polyethylene with carbonyl groups (carbon-oxygen double bond) breaks up when exposed to UV radiation.

2. Starch-loaded polymers



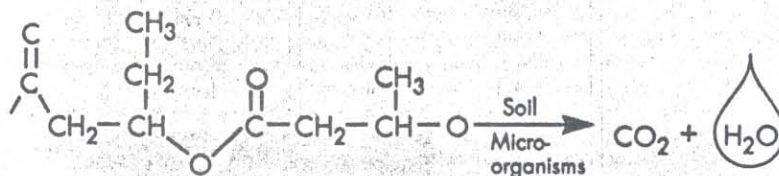
Bacterial enzymes dissolve starch linkages between polymer chains. Chains may break up into smaller units, and overall mechanical strength is weakened.

3. Belland process



Vinyl ether-maleic anhydride copolymer has built-in breaking points. Neutralization with sodium hydroxide results in microscopic linear polymer chains.

4. Bacterially produced biodegradable polymer



PHBV polymers, made from fermentation of sugar by bacteria, can be eaten by common soil and sewage bacteria.

3.5 טיפול בחומרים תרמוסטיים

חומרים תרמוסטיים (כפוליאורתנים, פנוליים) אי אפשר למחזר בשיטות המתאימות לחומרים תרמופלסטיים. יש הנוהגים לגרוס את המוצר/החומר ולהשתמש בו כמלאן. שיטה אחרת, עדיפה, קשורה לפירוק כימי של החומר למרכיביו ההתחלתיים. למרות שהדבר אינו נפוץ, קיימים תהליכי הידרוליזה בטמפרטורה גבוהה ולחץ להפיכת קצף פוליאורתן לדיאמינים ופוליאולים. לאחרונה הוצג תהליך "אלכוהוליזה" (12) לייצור פוליאולים מפוליאורתן. נבנה מתקן נסיוני (כ-25 טון לחודש) והפוליאול הממוחזר מתאים, לטענתם, לייצור ספוגי פוליאורתן באיכות טובה ובמחיר תחרותי.

3.6 פינוי לאתרים

בתחתית הכדאיות נמצאת השיטה הנפוצה של פינוי הפסולת המוצקה/האשפה לאתרים מיוחדים בהם אוספים את מצבורי הפסולת. המקומות המתאימים והעלויות הכרוכות בניהול אתרים (בכדי לצמצם המפגעים האקולוגיים) גורמים לכך שאלטרנטיבה זו היא הבעייתית ביותר. במקומות רבים בעולם הצטמצמו המקומות "הפנויים" וזכורה אותה "אונית אשפה" אמריקנית שנדדה חודשים ברחבי העולם בחיפוש מקום לפרוק "מטענה" ללא הצלחה. ישנה נטיה ל"קנוס" מביאי אשפה מסויימים (Tipping Fees) בסכומים בין 100-20 דולר לטון כדי לתת תמריץ למציאת חלופות. בארץ "חיריה" עולה על גדותיה, וישנן תכניות להעברת פסולת למקומות חליפיים בבית גוברין, ו/ או בנגב, דבר שיגדיל את הוצאות הטיפול.

4. מערכים לאיסוף ומיון של חומרים פלסטיים בפסולת

מבחינת החלופות המקום אליו מנותבת פסולת הפלסטיקה תלוי בחלקו הגדול בהרכב ובאיכות הפסולת. המיחזור הוא התהליך המועדף ובמידה ואפשר להגיע למיון מסודר של הפסולת לפני איסופה - כדאיות המיחזור תגדל.

הגישות, כפי שהן מיושמות במקומות שונים כוללות:

4.1 מיון ראשוני במקור

מיון ראשוני במקור לקבוצות חומרים נפרדות הניתנות למיחזור. החלוקה המועדפת היא: 1. נייר, 2. פלסטיק, 3. זכוכית, 4. מתכת.

4.2 איסוף נפרד

לפי קבוצות חומרים, בפתח הבית (Curbside) - לא בהכרח באותם ימים, או על ידי אותם גופים, יש אפשרות לאיסוף בכלי רכב מותאם או בכלי רכב שונים. הדבר מתבצע היום (על פי חוק) במספר מקומות בארצות הברית, כולל העיר ניו יורק, מדינת קונטיקט, מסצ'וסטס ועוד. בארה"ב האיסוף מתבצע על ידי חברות פרטיות גדולות. עד 1993 צופים מיחזור של 300,000 טון בקבוקים כתוצאה מתרומת איסוף ליד הבית (13).

4.3 איסוף במרכזים

איסוף מרכזי של אריזות תמורת פקדון ניתן למימוש בסופרמרקטים. עם החזרת האריזה מתקבל הפקדון חזרה (בארה"ב 5-10 סנט). בעזרת חוקי הפקדון מתקבלות חזרה מרבית האריזות בארה"ב (בקבוקים) והן מועברות למרכזי מיחזור. HDPE, PET הם החומרים העיקריים בשימוש בארה"ב. שיעור השימוש הוא כ-400,000 טון/בשנה PET וכ-450,000 טון/בשנה בקבוקי HDPE. ב-1988 מוחזרו 20% מהבקבוקים.

4.4 איסוף התנדבותי

איסוף התנדבותי למרכזי איסוף נעשה על ידי קבוצות מתנדבים - לא בהכרח בעקביות, וביעילות נמוכה.

4.5 איסוף מסחרי

איסוף על ידי חברות הגובות תשלום או משלמות מחיר נמוך בהתאם לנסיבות, לגופים מסחריים החייבים ל"הפטר" מפסולת.

4.6 סיכום

היעילות, בהתאם לנסיון בארה"ב בשיטות האיסוף השונות (13), נותנת יתרון גדול לאיסוף ליד הבית, כפי שניתן לראות להלן:

החזרה	שיטת האיסוף
10%	מרכז התנדבותי (Drop-Off)
15-20%	החזר פקדון (Buy-Back)
70-90%	איסוף ליד הבית (Curbside)

5. חוקים/תקנות

5.1 הגישה הרשמית

רצון האוכלוסייה המערבית ליהנות מסביבה נקיה, נוחה, ואיכות חיים גבוהה, מביא להתייחסות ביקורתית לתרומת הפלסטיקה לזיהום הסביבה. כתוצאה ממידע לא מדויק, נוצר בשלב מסוים דימוי שלילי ביותר לחומרי הפלסטיקה (מעבר ליחס האמיתי) ומאות (כ-800) הצעות חוק ותקנות בענין פלסטיקה וסביבה הוגשו בעיקר בארה"ב ובאירופה (14). (ראה טבלה 6). במקרים קיצוניים אף ניסו למנוע באופן מוחלט את השימוש בחומרי אריזה פלסטיים (PS). עם התעוררות והתארגנות תעשית הפלסטיקה, הקמת מרכזי מחקר למיחזור, ואגודות שונות לטיפול בבעיה (כגון - Council for Solid Waste Solutions) מסתמנת גישה יותר הגיונית לענין.

חוקים/תקנות בארה"ב מתמקדים בנושאים הבאים:

1. חוקים המחייבים סיווג הפסולת על מנת לאפשר מיחזור.
2. חוקים הקובעים פקדון למיכלי פלסטיק.
3. תקנות לאיסוף פסולת/אריזות פלסטיות ליד הבית (Curbside Collection).
4. תקנות הקובעות יעדים לאחוז מיחזור מינימלי של אריזות (בדרך כלל 20-25%) בתוך זמן נתון (כ-2-5 שנים).
5. סימון מתאים של סוג הפלסטיק על האריזות.

באירופה קבעה הגישה בהתחלה סכומי פקדון גבוהים (כ-0.5 מארק גרמני) עבור כל אריזה פלסטית חד-פעמית. הדבר מנע שימוש בבקבוקי PET למשקאות קלים. השנה חל שינוי מסוים בגישה הגרמנית בנושא (הגרמנים הם המובילים בנושא באירופה). הפקדון הורחב לכל סוגי האריזות (לא רק פלסטיקה). בנוסף נקבע כי החל ב-1991 תהיה חובה לכל מרכזי מכירות (סופרמרקט, מכולת ועוד) לקבל חזרה כל אריזה פלסטית. בשוויצריה מצפים למיחזור של 90% מהאריזות הפלסטיות תוך 5 שנים. בינתיים חייבים לשים כל פסולת פלסטית בשקיות מיוחדות, אשר רוכשים במחיר גבוה (ולכן הנטייה לצמצם בשימוש באריזות - כולל השארת החלקים הבלתי חיתניים כבר בנקודת המכירה).

בישראל הוכנה הצעת חוק (ח"כ דן תיכון) לפינוי פסולת הניתנת למיחזור, ביוני 1989. החוק כולל הקמת מרכזי מיחזור אווריים, פינוי פסולת במיכלים ייעודיים בהתאם לחומר, והטלת קנות כספיים על מפירי החוק (ראה נספח מס. 1).

5.2 התייחסות לצרכנים

התעניינות הצרכנים הסופיים באקולוגיה היא כנראה אמיתית (בגבולות מסויימים). בסקרים מציינים הצרכנים בארה"ב ובאירופה נכונות לרכוש בעדיפות מוצרים יותר "אקולוגיים" (אריזה קטנה וטובה למיחזור) אפילו במחיר מעט יותר גבוה (ראה ציור 6) (15).

גם הצרכנים הגדולים, כרשת מק-דונלד וקוקה קולה נהפכו למשתתפים רציניים בקביעת הדרישות לחומרי אריזה מתאימים מבחינה אקולוגית.

5.3 התייחסות יצרני האריזות

החוקים, התקנות והתייחסות הצרכנים משפיעים, כמובן, על יצרני האריזות. בשימוש בחומרי אריזה ישנה התייחסות מדוקדקת לא רק לגבי תכונות החומרים אלא גם האפשרות למיחזור האריזה.

במצב הקיים, הוחרמו אריזות PVC במספר ארצות (שוויצריה, גרמניה) ויש נטיה לא להמשיך בהן בגלל התדמית השלילית, בעיקר עקב בעיות אפשריות בבעירה, ומעבר ל-PET שידוע כיצד למחזור. מצב דומה אך פחות חמור ל-PVDC. קיימת התייחסות מיוחדת לגבי המקציפים (CFC) ופוליסטירן. לגבי אריזות רב-שכבתיות, דואגים שתהיה אפשרות למחזור בקלות. חברת Heinz שפיתחה בקבוק "קטשאפ" רב-שכבתי מ-PP, הודיעה על מעבר לבקבוקים רב-שכבתיים על בסיס PET, ו-EVOH שכנראה קל יותר למחזור במערכות קיימות.

יצרני האריזות ב-PROCTOR & GAMBLE פועלים במרץ (בשלב זה לפחות בהכרזות) ומצהירים כי ישתמשו באריזות שלהם באחוז נתון (לפחות 25%) של חומר ממחזור. בכדי למנוע בעיות, הנטיה היא לשימוש באריזות רב-שכבתיות אפילו מאותו חומר, כאשר "חומר בתול" נמצא במגע עם המוצר (אפילו שמפו) ואילו החומר הממוחזר נמצא בשכבה חיצונית או ממוקם בין שתי שכבות.

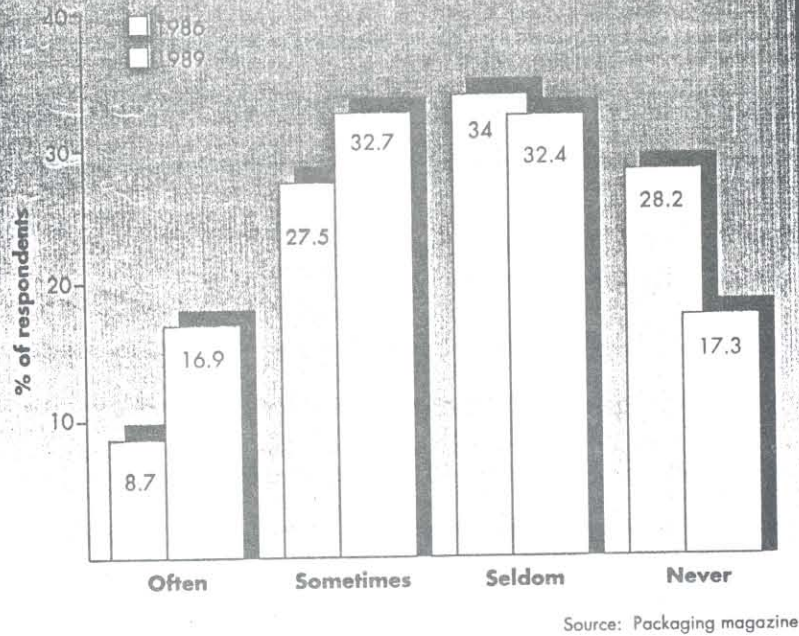
Who's doing what on the anti-plastics front

California	PS banned in Berkeley. Santa Monica weighing ban on non-degradable or recyclable plastics.
Connecticut	Statewide mandatory recycling bill targets 25% rate. After 1990, no recyclables in landfills. Statewide ban of PS foam manufactured "using a controlled substance" to kick in July 1, 1992.
Florida	State law passed to ban plastic bags that do not degrade within 120 days. Legislation also will place 1¢ tax on all containers that don't reach 50% recycling levels by 1992; 2¢ by 1995.
Hawaii	State legislature considering bill to divert plastic containers from incinerator to landfill. Mandatory bottle-deposit bill covering everything except aluminum also being considered.
Illinois	Chicago considering ban on non-degradable packaging materials, notably PVC and PS.
Iowa	Passed legislation statewide to encourage source reduction and recycling in an effort to reduce landfilling. Bottle-deposit law in effect for several years across the state.
Maine	Requires degradable rings on all plastic containers. Bottle-deposit bill also in effect statewide.
Maryland	Montgomery County considering legislation to boost recycling rate of curbside waste from 13% to 22%. Statewide proposal to levy 1-¢ tax on semi-rigid plastic containers under discussion.
Massachusetts	Mandatory beverage container deposit and return law. Pilot program being developed for PE bags. Nonrecyclable PS containers banned since June 1, 1989. State ban of multi-layer plastic liquid containers proposed. Law to require six-ring holders to degrade within 120 days under discussion. PE bags 5 gal or more to be transparent and biodegradable proposed.
Minnesota	Statewide legislation to ban nondegradable beverage ring containers, PE grocery sacks and dry-cleaning bags under discussion. Minneapolis/St. Paul city councils banned "environmentally unsafe" plastic-packaging materials, notably foam PS.
Missouri	State bill banning virtually all forms of PS has passed.
New Jersey	Curbside collection in place across the state. Legislature considering ban on foamed PS plates and cups in state institutions. Proposal to ban "single use" non-degradable plastic that "has a useful shelf life of less than six months" under discussion. Newark considering citywide PS ban.
New York	State law proposing 3-¢ tax on non-recyclable packages. State ban on PVC and PS foam being considered. New York City passes mandatory recycling bill, eyeing legislation to ban PS. Two Long Island communities pass measures banning PVC and PE film and PS foam (Suffolk County measure overturned in court).
Oregon	Discussion under way at state legislature to ban PE grocery sacks. Bottle-deposit bill.
Pennsylvania	By virtue of 1987 state law, source separation is now mandated for municipalities of 100,000 or more. Philadelphia has mandatory source separation by consumers and businesses.
Rhode Island	Mandatory recycling plan under way in eight communities, with 18 more to get involved by year's end. Retailers cannot provide plastic bags unless they indicate that paper sacks are also available.
Tennessee	Statewide bill to ban PS and other plastic packaging material that doesn't degrade within 12 months has been introduced. Bill to ban PE bags that don't degrade within 120 days also being considered.
Vermont	Statewide ban on PS foam products in state offices and institutions. Bills have been introduced to ban non-degradable/recyclable food containers.
Washington	Bill to ban all plastic packaging used in food establishments has been introduced. Seattle City Council has moved to ban PS foam food and beverage containers from city offices and institutions.
West Virginia	State considering restaurant tax on non-degradable/recyclable containers.

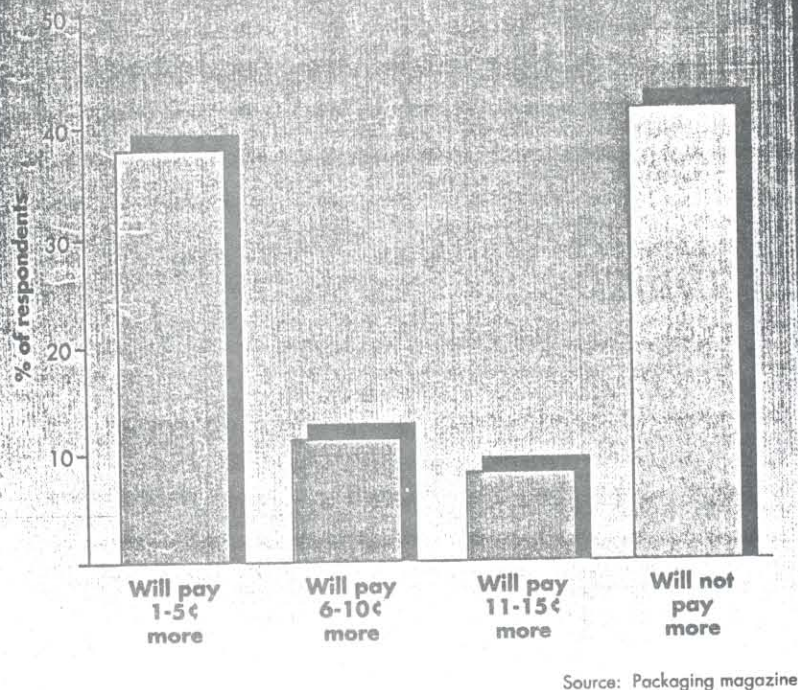
Source: R.M. Kossoff & Associates, Inc./SPI

The table shows where legislation affecting plastic has either passed or is being considered. Note that most of the bans focus on foamed PS. Every effort has been made to provide the latest information, but the frenetic pace at which bills are being introduced or changed may effect the timeliness of this data.

Consumers increasingly choose recyclable packages ...



... and they'll pay more for them



Recyclable packaging is a growing factor in consumers' buying decisions (top). Interest in recyclability is backed up by a willingness to pay more for such products (bottom). Results are from Packaging's 1989 survey of consumer attitudes.

5.4 התייחסות יצרני חומרי הגלם הפלסטיים

לאחר תקופה ארוכה של שקט יחסי מצד יצרני חומרי הגלם, שלא רצו להיות מעורבים בהעלאת הנושא האקולוגי, חל מהפך בגישה וכל היצרנים הגדולים מינו מנהלים-אחראים לנושאי המיחזור והאקולוגיה בהנהלות. בנוסף, הם משתתפים אקטיבית במפעלים ובפרויקטים של מיחזור-ממויף ועד לשותפויות במטרה לנצל יתרונות יחסיים של חברות איסוף, או חברות קטנות בעלות ידע/תהליכים ספציפיים בנושא המיחזור. בארה"ב DuPont, Dow, GoodYear, Eastman, Union Carbide, G.E. נרתמו לנושא ואף יצרו אגודה לטיפול במיחזור NAPCOR (ראה טבלה 7).

DuPont יצרה שותפות עם חברת איסוף האשפה הגדולה בעולם (Waste Management Inc.) מתוך מטרה לאסוף במשותף חומרים למיחזור מ-90 מקומות (סה"כ כ-900,000 בתי אב) ולנצלם להגדלת מערך מפעלי המיחזור שלהם, שכיום מטפלים בכ-100,000 טון פלסטיק בשנה (טבלה 8). G.E. מתמקדת במיחזור של חומרי גלם ממכונות וכן של חומרים הנדסיים, כפי שעושים ב-Hoechst (16,17). בפולין (גשר הזיו) קיים יישום לשימוש במשטחים של חומרי גלם ממוחזרים, בשיתוף עם G.E. באירופה החברות הגדולות כגון Hoechst, BASF, Bayer, ICI, Enimont עוסקות אף הן בעסקי מיחזור ואקולוגיה.

טבלה מס. 7: התאגדות יצרני חיג בארה"ב למיחזור אריזות



The National Association for Plastic Container Recovery

5024 Parkway Plaza Boulevard, Suite 200

Charlotte, North Carolina 28217

(704) 357-3250

Luke B. Schmidt, *President*

Media Contact: Betsy Garside, Ketchum Public Relations

(202) 835-8821

NAPCOR is a not-for-profit trade association formed to facilitate the collection, reclamation and development of end-use markets of post-consumer plastic containers, with the initial focus on PET soft drink bottles; and to communicate the environmental efficiency of PET containers. The members of NAPCOR include the major manufacturers of PET resin as well as companies that manufacture bottles from PET.

Amoco Container

Du Pont

Eastman Chemicals Division,

Eastman Kodak

The Goodyear Tire & Rubber

Company, Polyester Division

Gulf States Cannery

Hoechst Celanese

ICI Americas

Johnson Controls

Sewell Plastics

Southeastern Container

Union Carbide (associate member)

Western Container



1275 K Street, NW, Suite 400
Washington, D.C. 20005
202.371.5319
FAX: 202.371.5679

Nation's Largest Plastics Recycling Venture Launched.

Du Pont, the nation's largest plastics maker, and Waste Management, Inc. (WMI), the largest U.S. waste hauler, are jointly constructing the largest plastics recycling and reprocessing operation in the country -- an operation that the *Wall Street Journal* says, "is likely to give a sharp boost to recycling as one solution to the nation's growing garbage crisis."*

Materials for the plastics recycling network will be fed by curbside trash separation programs and volunteer programs throughout the country. The joint venture will sort and clean plastic containers collected by WMI, then reduce the material into plastic flakes. The flakes will be treated, and ultimately Du Pont will use the recycled plastic for its business purposes. The first processing facility, expected to be operational in early 1990, is being designed to handle up to 40 million pounds of plastic materials a year.

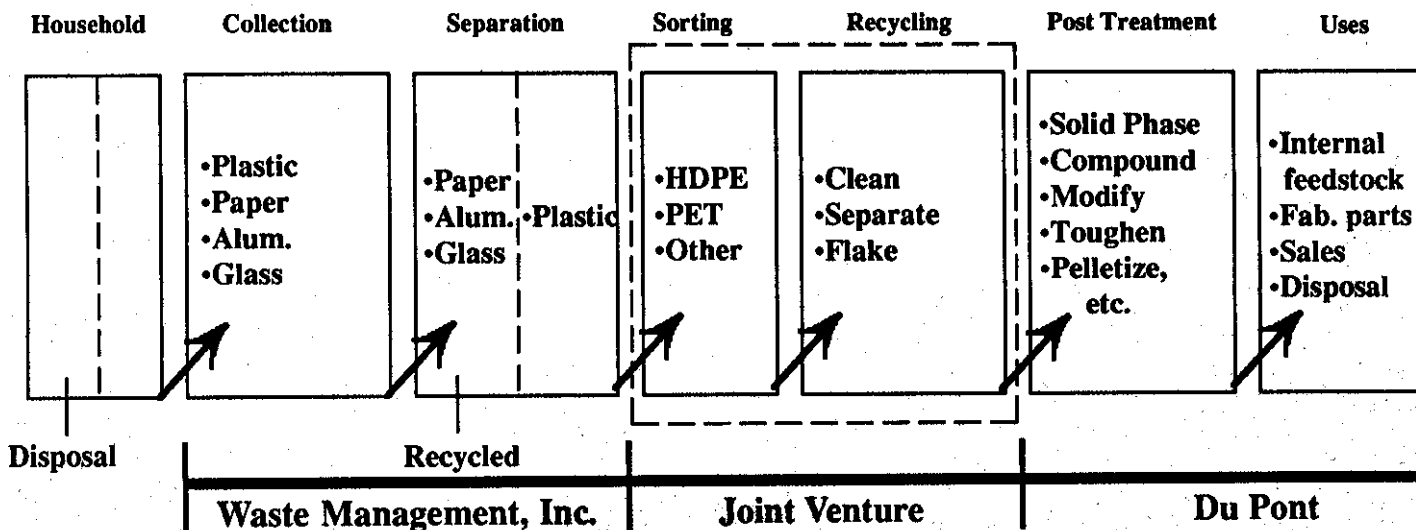
Securing a consistent and constant source of used plastics -- raw material for plastics recycling -- has been a major challenge to some attempts at large-scale recycling efforts. But WMI's "Recycle America" program is currently under contract to collect recyclables in approximately 90 North American communities with a total of 880,000 households, assuring a steady stream of used plastics for recycling.

Du Pont adds experience in plastics recycling to the joint venture; the company currently operates 11 plastics recycling facilities in the U.S. that recycle nearly 200 million pounds of plastics each year. Du Pont will be opening its first recycling plant in Europe in 1990.

For more information about plastics recycling, contact *The Council for Solid Waste Solutions*, a program of The Society of the Plastics Industry, Inc.

*April 26, 1989

Plastics Recycling Network



5.5 מרכז למיחזור פלסטיקה

אין ספק שההתקדמות בארצות הברית בנושא האקולוגיה והמיחזור נובעת מהקמת הארגונים שעסקו בהפצת ידע ובתעמולה מצד אחד, ובהתעוררות המחקרים הן במכוני מחקר והן באוניברסיטאות, מצד שני.

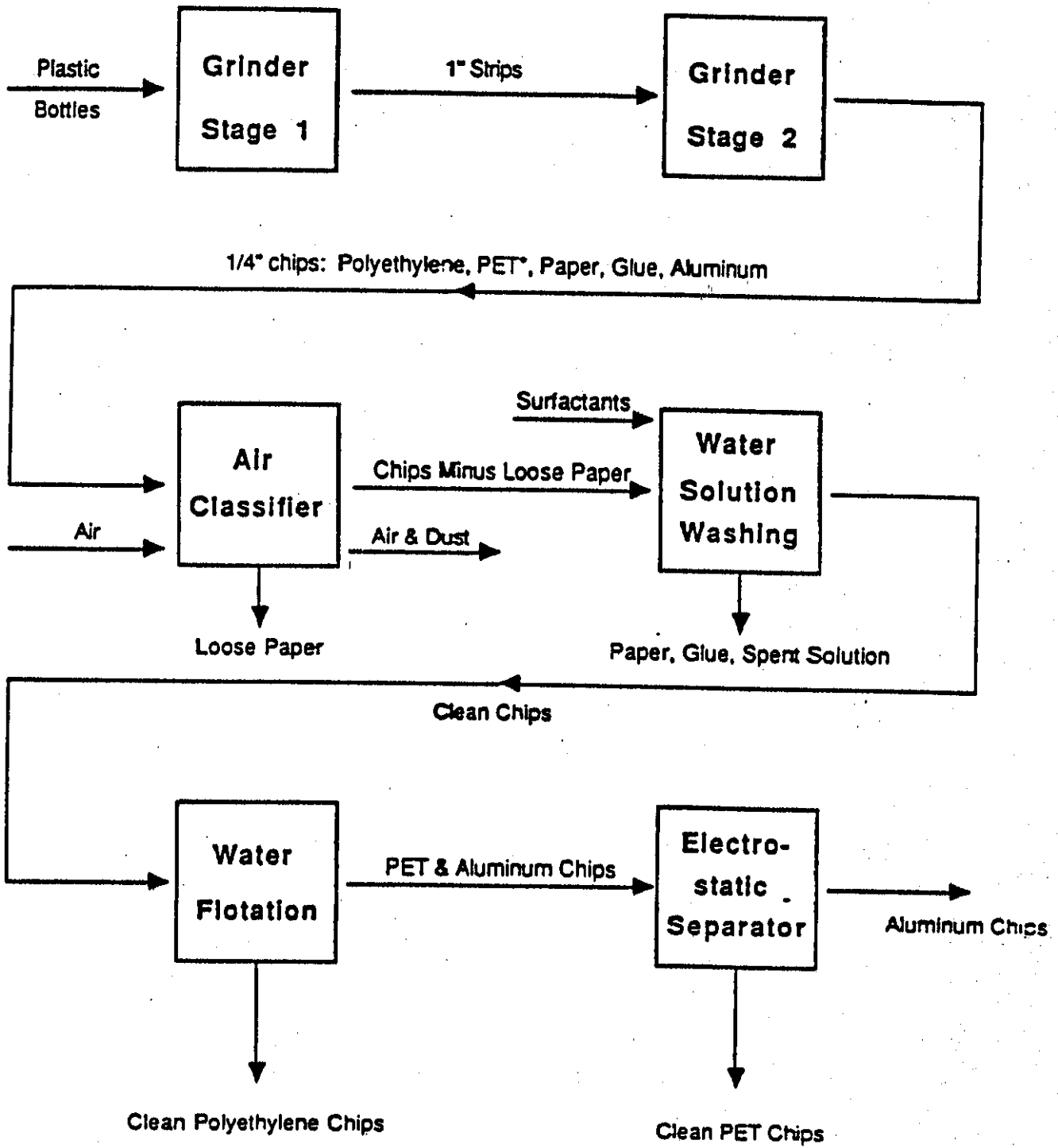
הארגון המרכזי נקרא Plastics Recycling Foundation (נוסד ב-1985) תומך במחקר ופיתוח, העברת ידע ומידע, ובעיקר בהתעוררות הציבורית והממשלתית לנושא המיחזור. חברים בו נציגי תעשייה, צרכנים ויצרני ציוד. הריכוז הוא בידי האגודה המקצועית SPI - Society of Plastics Industries. התקציב השנתי בשנת 1989-90 הגיע ל-5 מליון דולר. במקביל הוקם באותה שנה באוניברסיטת Rutgers במדינת ניו ג'רסי, מכון מחקר מרכזי למיחזור - The Center for Plastics Recycling Research העוסק במוי"פ בנושאי איסוף, מיון, השבה ושימוש מחדש של חומרים פלסטיים. בשנים 1989-90 נוספו לפעילות זו עוד 7 אוניברסיטאות אחרות ברחבי ארה"ב והנושא נמצא בתנופה מתמדת. המרכזים עוסקים במחקרים בסיסיים ושימושיים, בהפצת חוברות בתחום המיחזור, במכירת ידע, ובארגון כנסים שנתיים המתמקדים בנושא הספציפי של מיחזור חומרים פלסטיים.

6. תהליכי מיחזור

השיטות למיחזור פסולת פלסטית משתנות בהתאם לאיכות הפסולת, וסוגי החומר המגיעים למפעל. התהליכים בבסיסם הם תהליכים אופייניים למפעלי פלסטיקה וכימיה, וכוללים גריסה, הפרדה (נוזלית או באויר, וכן הפרדת מתכת בשיטה אלקטרוסטטית), ייבוש, אקסטרוזיה (תרכוב). תיאור כללי מובא בציורים 7 ו-8. חלק חשוב במפעל למיחזור הוא בקרת איכות והאפשרות לייצר באופן רציף חומר אחיד. המפעלים כיום דורשים כוח אדם רב יחסית, בשלב ההפרדה לסוגי החומר השונים, דבר הנעשה בשיטת הסרט הנע ובמיון ידני. פיתוחים באוטומציה של תהליך המיון בשיטות חדשות עשויים לקדם בהרבה את יעילות מפעלי המיחזור.

נושא אחר הדורש טיפול ופיתוח קשור לרחיצה אפקטיבית של החומר למיחזור. יש צורך בשיטה של חול ואבנים מיריעות שנאספו בשדה, אפשרות לשטוף שאריות של ממיסים וחומרים לא רצויים מבקבוקים שבאו חזרה מהצרכן, או טיפול מתאים בשמנים ודלק וחומצות במיכלים פלסטיים החוזרים מתחנות דלק, ומצברים ממכוניות.

בהקשר למערכי מיחזור, ישנה חשיבות כלכלית לגודל מינימלי למפעל (מבחינה כלכלית) לדוגמא במחזור PET הטענה היא כי גודל מינימלי הוא כ-3000 טון לשנה, והיעילות עולה ועדיפה במפעל שמחזורו 5000 טון לשנה. לעובדה זו השלכות לעיתוי הקמת מפעל למיחזור PET בארץ. כחומר גלם, דרוש מיחזור של כ-30-50% מהבקבוקים.



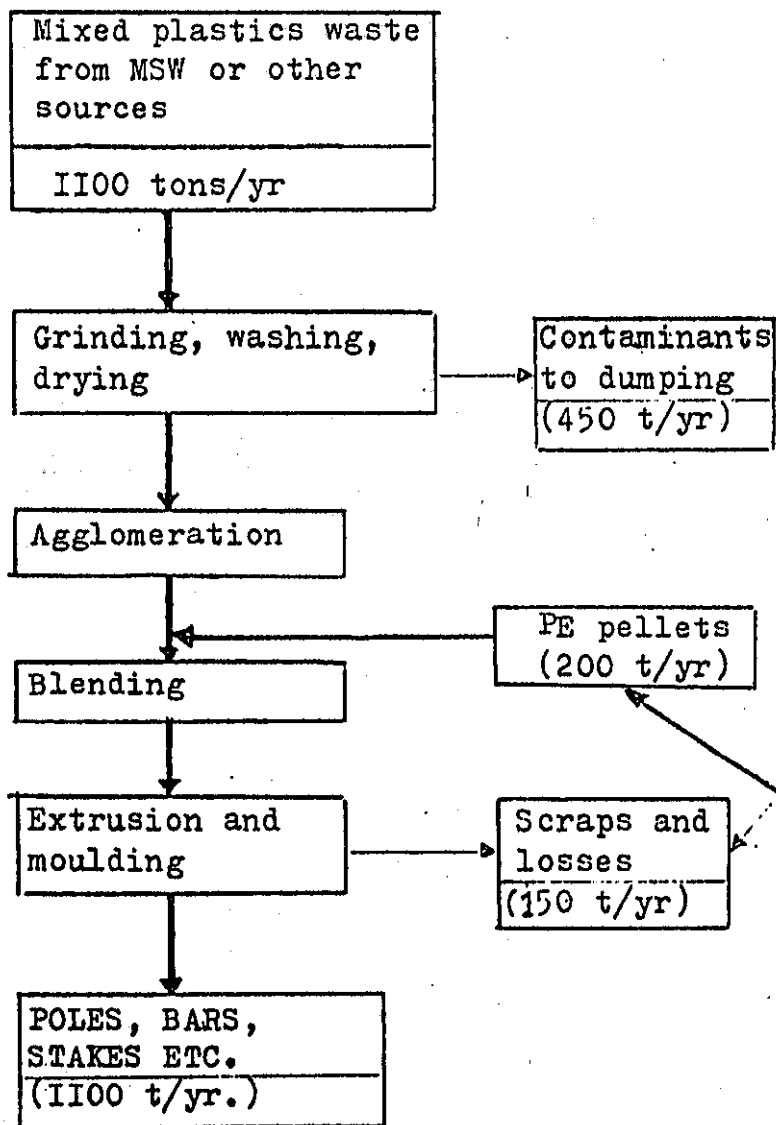
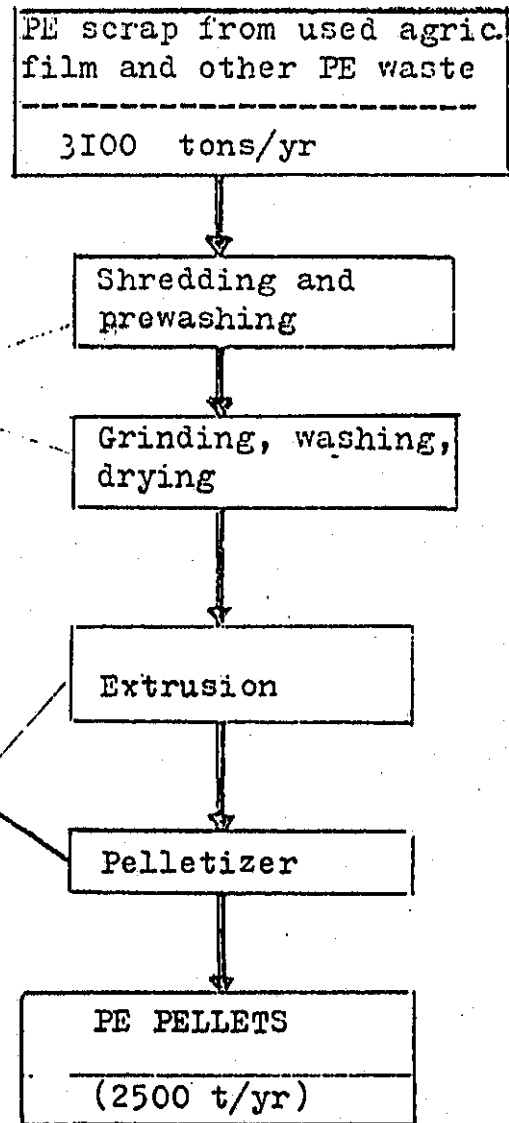
MIXED PLASTICS LINEPE LINE

Fig. 7 : I.P.I. S.p.A. - New project for mixed plastics waste recycling - Flow process diagram

7. מוצרים מחומרים ממוחזרים

אחד האספקטים העיקריים בהצלחת מיחזור פלסטיקה הוא מציאת שימוש מתאים וכלכלי לחומר הממוחזר. בדרך כלל אין משתמשים בחומר ממוחזר לאותו מוצר ממנו הגיע. התאמת חומרים ממוחזרים למוצרים למהווה כר נרחב, מענין ומורכב, למדי.

PET ממוחזר מבקבוקים משמש לייצור סיבי פוליאסטר (מילוי תרמי, בדים גיאוטקסטילים, שטיחים); סרטי קשירה (Strapping), יריעות לואקום פורמינג, תרכוב לפולימרים הנדסיים, בקבוקים (לא למזון). HDPE ממוחזר משמש לצנרת, תחתיות לבקבוקים, ארגזים, משטחים.

חומר פלסטי מעורבב (Co-mingled) משמש לעץ סינטטי, שולחנות פיקניק, גדרות, עמודים לדרכים/סימנים, שימושים במזחים, משטחים.

ישנן אפשרויות נוספות הנמצאות בשלבי פיתוח, ומבוססות על אפשרות לשפר תכונות חומרים על ידי תוספים (Modifiers), תרכובים (Blends), ושריונים (Reinforcements). העבודה רבה והאפשרויות מענינות ביותר. דוגמאות לפיתוחים בנושא מובאות בטבלאות 9,10.

MODIFIERS FOR LOW AND HIGH IMPACT

THERMOPLASTIC MATRIX	IMPACT MODIFIERS (1)	
	HIGH IMPACT STRENGTH (2)	LOW IMPACT STRENGTH (2)
PVC	CPE (~36% weight chlorine) MBS EVA (~45% weight VA)	EVA
PP	EPM, EPDM, ULDPE/ULDPE	(PIB, PB)
PA 6	EPDM-gMAH E-AE-MAH Acrylic rubber	Ionomers E-AE (20-30% weight AE) SBS
PA 66	EPDM-gMAH E-AE-MAH	Ionomers E-EA (20-30% weight AE)
PBT	Acrylic rubber PB	E-EA (20-30% weight AE)
PET		Acrylic rubber

(1) Used in compounding

(2) see figure 2

טבלה מס. 10: תערובת של חומרים בתוליים וממוחזרים

COMPOSITIONS	70% PA 6 VIRGIN	--	30% PA 6 VIRGIN
	--	70% PA 6 RECYCLED	40% PA 6 RECYCLED
	30% GLASSFIBRES	30% GLASSFIBRES	30% GLASS FIBRES
TENSILE YIELD STRENGTH N/cm ²	1200	900	1100
NOTCHED IZOD IMPACT J/m	130	75	110

MAACK BUSINESS SERVICES

8. אספקטים כלכליים

ריכוז עלויות אופייני בטיפול בפסולת מוצקה ובמיחזור מובא בטבלה 11. הטיפול באיסוף הפסולת הפלסטית (במסגרת איסוף האשפה) והובלתו לקבורתו באתר, הם בסביבות 150 דולר לטון. בהתחשב כי בארץ נמצאים במערכת האשפה כ-100,000 טון חומרים פלסטיים, מדובר בעלות של כ-15 מליון דולר, שניתן אולי לחסוך במידה וממחזרים חלק מהחומר. לשם כך יש צורך בהשקעת משאבים נוספים של כ-150-500 דולר לטון (בהתאם לפעילות) אך הדבר יכול להביא לקבלת מוצר בעל ערך גבוה בהרבה - 1500-500 דולר לטון. בהנחה של מיחזור ברמה של 25%, וערך חומרי גלם ממוחזרים של כ-1000 דולר לטון, מדובר בתעשייה למיחזור חומרים פלסטיים בהיקף של למעלה מ-25 מליון דולר לשנה.

ההשקעות הדרושות, למשל, לבנית מפעל למיחזור PET בתפוקה של כ-9000 טון לשנה מסתכמות בכ-2.5 מליון דולר. הצפי הוא לעלות החומר הממוחזר של כ-450 דולר לטון ומכירתו ברווח של כ-100 דולר לטון (P.R.I.-NJ).

טבלה מס. 12 מצביעה על המחירים ופקטורים אחרים הקשורים לייצור של טון חומר ממוחזר. עלות הייצור היא פחות או יותר קבועה, אך מחיר השוק משתנה בהשוואה למחיר פוליאתילן בתולי. אם מחיר פוליאתילן הוא 1,200 דולר לטון, אזי מחיר חומר ממוחזר לא יעלה על 900 עד 960 דולר לטון.

טבלה מס. 11: עלויות אופייניות בטיפול בפסולת מוצקה ובמיחזור

110 \$/טון	איסוף אשפה - הובלה למזבלה (ת"א - חיריה)
25-35 \$/טון	הובלה לאתר מרוחק (ת"א - נגבו)
20-60 \$/טון	עלות אתר קבורת פסולת
100-150 \$/טון	גריסה
100-350 \$/טון	תהליכי הפרדה, שטיפה, ייבוש
150-250 \$/טון	תרכוב תוספים
10-40 \$/טון	אריזה
100-200 \$/טון	שריפת אשפה

ערך לחומר פלסטי ממוחזר

500-800 \$/טון	חומרים בסיסיים PS/PE/PP - 50-80% מחדש
600-1100 \$/טון	חומרי אריזה/טקסטיל כ-PET
> 1500 \$/טון	חומרים הנדסיים/מתורכבים

טבלה מס. 12: עלויות אופייניות למיחזור יריעות LDPE

Typical costs and resources per tonne of recycled material for an LDPE film recycling plant producing 7000 tonnes per year		
Fixed capital per tonne of finished granulate	FF5000/t	US\$1000/t
Finished granulate per employee (35 employees)	200 t/year	
Kilowatt per tonne of finished granulate	1000 kWatt	
Energy costs at French rates	FF350/t	US\$70/t
Water requirements:		
Permanently recirculated water	1700 m ³ /month	
Additional water	1000 m ³ /month	
Treatment costs per tonne of finished granulate	FF2500 - 2800/t	US\$500 - 560/t
Raw Material Supply:		
a) Integrated Collection	FF1100 - 1200/t	US\$200 - 240/t
b) Raw material purchased from traders	FF1100 - 1300/t	US\$220 - 260/t
Market Prices		
If delivered LDPE prime market prices is	FF6000/t	US\$1200/t
Recycled filmable granulate cannot be sold above	FF4500 - 4800/t	US\$900 - 960/t
Extrudable granulate cannot be sold above	FF3800 - 4000/t	US\$760 - 800/t

9. מסקנות והמלצות

ההתעניינות הגוברת באקולוגיה תשפיע על כיווני ההתפתחות של ענף הפלסטיקה והיא יכולה ליצור הזדמנויות חדשות.

עיקרי ההמלצות:

9.1 מרכז אקולוגי לחומרים:

לבדוק אפשרות להקמת מרכז אקולוגי לחומרים. המרכז ירכז ויפתח ידע בכל האספקטים של איסוף, טיפול ומיחזור אשפה מוצקה עם דגש על מיחזור חומרים פלסטיים. המרכז יסתמך ויתאם ידע קיים בחברות המיחזור (אמניר וכי), מרכזי מחקר ואוניברסיטאות. בנוסף יטופלו נושאי אקולוגיה מתוך מטרה אפשרית להציע "מערכי-אקולוגיה" ליצוא, כולל תכנון, ייעוץ, ציוד, צוותים טכניים להפעלה בחו"ל. במסגרת אינטרדיסציפלינרית רחבה יוכלו להיקלט אף עולים אקדמאים, בעבודות הנדסיות, פיתוחים, מחקר וניסויים חצי-חרושתיים.

9.2 מחקר ופיתוח

לתמוך במחקר ופיתוח כבסיס לתשתית מתקדמת בנושאי האקולוגיה:

- א. מוי"פ של שימושים ומוצרים חדשים המבוססים על חומרים פלסטיים ממוחזרים.
- ב. מוי"פ של חומרים חדשים הניתנים למיחזור.
- ג. פיתוח שיטות מתקדמות לסיווג, מיון ואיסוף במקור של חומרים ברי מיחזור או שימוש אלטרנטיבי, וחובלתם ביעילות למרכזי מיחזור או טיפול אחר (כבעירה לאנרגיה).

9.3 חקמת מערכים ומפעלים למיחזור

לעודד הקמת מערכים/מפעלים לטיפול/מיחזור של פסולת פלסטית (בעיקר מארזות). בהתחשב בעובדה כי המיחזור הוא האלטרנטיבה הסבירה ביותר לטיפול בפסולת פלסטית, ישנו פוטנציאל לחקמת מערכת ומפעלים למיון, איסוף ומיחזור פסולת פלסטית. כלכליות מפעלי המיחזור תגבר עם יוכלו להעזר במערכת הפרדה, איסוף מתאימה שתאפשר איסוף של אחוז סביר של חומרים פלסטיים ממוינים מאשפה מוצקה. לדוגמא, מוערך כי כלכליות מפעל למיחזור מיכלי פלסטיק מ- P.E.T. כדאית רק מרמה כ-5000-3000 טון בשנה.

9.4 תקנות/תמריצים

הממשלה והרשויות המקומיות יצטרכו לדון בצורה מעמיקה יותר בחוקים/תקנות/תמריצים חדרושים לעידוד פיתוח נושא ההפרדה/סיווג במקור ומיחזור בארץ. שילוב גורמים פרטיים וקבלני משנה או יזמים הפועלים על בסיס כלכלי ויעיל, כנהוג בחו"ל, עשוי לקדם הטיפול בנושא. קביעת מטרה לאחוז מיחזור (לפי הנסיון בחו"ל בערך 15-25%) בתוך מספר שנים (5-7) כפוף לסדרי עדיפות בשימוש במשאבים של המדינה - יכול להוות נקודת מוצא מתאימה.

9.5 סימון מוצרים

דרושה התארגנות לסימון מתאים של מוצרים לפי סוגי חומר הגלם, בכדי לאפשר סיווג ומיחזור יעיל יותר.

9.6 תכנון/עיצוב "אקולוגי" למוצרים

יש להדגיש את הצורך לתכנון מחודש, "אקולוגי" של אריזות ומוצרים המופנים לשוק המקומי וליצוא, והתאמתם למערכי מיחזור. כדאי להתרכז במספר חומרים פלסטיים עיקריים המותאמים לתהליכי המיחזור.

9.7 שינוי ייעוד ל-PVC

יצרני PVC והמשתמשים בו חייבים לפתח את השימושים ב-PVC למוצרים ברי קיימא (לשימושים לטווח ארוך), ולא לאריזות המחייבות מיחזור.

9.8 ציוד לייצור מוצרים רב-שכבתיים

יהיה צורך בציוד משופר לעיבוד פלסטיקה, המאפשר עיבוד אריזות רב-שכבתיות (בבקבוקים וביריעות). זאת כדי לאפשר שימוש בח"ג ממוחזר בשכבה אמצעית.

9.9 קורסים ותכנית למהנדסים סביבתיים

חוספת קורסים ומערכי לימוד בנושאי האקולוגיה והמיחזור. פיתוח תכנית להכשרת מהנדסים סביבתיים.

9.10 חינוך בסיסי לחדגשת חשיבות האקולוגיה

מערכת החינוך חייבת להביא לידיעת תלמידים בשלבים השונים של החינוך היסודי והתיכון את חשיבות ההתייחסות לאקולוגיה ואפשרויות המיחזור.

ביבליוגרפיה

1. "Trashing AHSO Billion Business" p. 64, *Fortune*, Aug. 28, 1989.
2. "Environmentalism: The New Crusade", p. 24, *Fortune*, Feb. 12, 1990.
3. "Environment - Pollution Prevention", p. 44, *Business Week*, Apr. 23, 1990.
4. "Green is Good", p. 40, *Newsweek*, p. 23, 1990.
5. *Plastics World*, p. 12, Sept. 1989.
6. "Ecology 1990"- הכנס לאיכות הסביבה 17.7.90, גני התערוכה, תל אביב
7. חוק פינני פסולת הניתנת למיחזור - התשמ"ט - 1989, ח"כ דן תיכון
8. "Can Plastics Be Burned Safely?", *Plastics World*, Sept. 89.
9. "Plastics in Municipal Solid Waste Incineration", Prof. R.S. Magee, p. 25, *Proceedings, Recycling Plots*, May 25-26, 1988, Washington D.C.
10. "Incineration of Municipal Solid Waste" CORRE U.S. Conference of Mayors, Feb. 1, 1990, Washington D.C.
11. "McDonald's Approach to Reprocessing and Recycling of Quick-Service-Restaurant Waste", *Recycle 90 Forum Proceedings*, Davos 29-31.5.90.
12. "Recycling of Polyurethane Wastes and Mixed Polymer Wastes by Means of Alcoholysis Reaction", p. 211, *Recycle 90 Forum Proceedings*, Davos 29-31.5.90.
13. "Plastics Recycling: An Overview", The Plastics Recycling Foundation - The Center for Plastics Recycling Research.
14. "How Did Plastics Become a Target", P. 12, *Plastics World*, Sept. 89.
15. "Package Design Will be Shaped by Solid Waste", p. 21, *Plastics World*, Sept. 89.
16. "Recycling Engineering Resins... The Next Frontier", p. 199, *Recycle 90*, Davos, May 29-31, 1990.
17. "Post Consumer Recycling of Engineering Thermoplastics in Practice", *Recycle 90*, Davos, May 29-31, 1990.