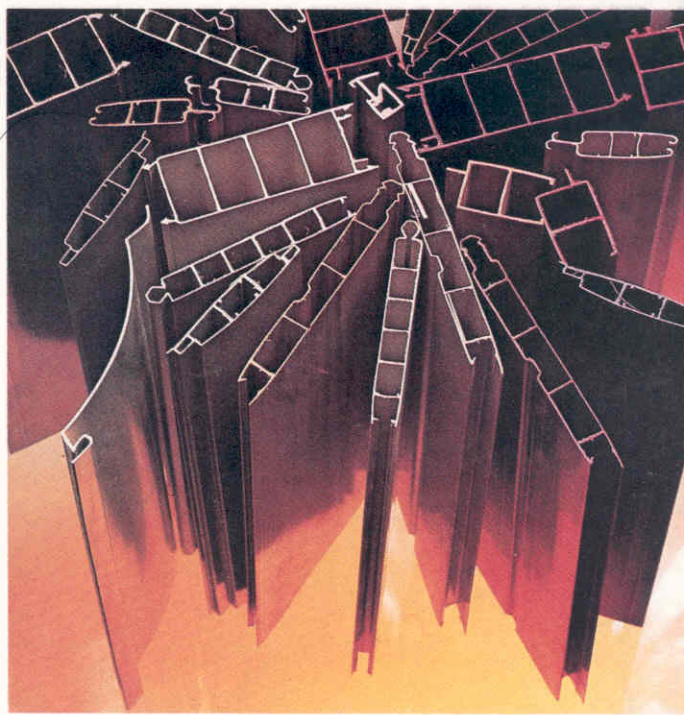


# שימושים וכווני התפתחות בפלסטיקה

## לאריזה, חקלאות ובניה

פרופ' יוסף מילק, גב' נחמה פוי, משה גורן, ד"ר משה פוטרמן



איגוד יצרני הפלסטיקה  
משרד התמיס - המדען הראשי  
מתימ'פ

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



**שימושים וכווני התפתחות**

**בפלסטיקה לאריזה, חקלאות ובניה**

**אריזה - פרופי יוסף מילץ, גבי נתמה פזי**

**חקלאות - משה גורן**

**בניה - ד"ר משה פוטרמן**

**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 יוני 1991**

**מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם**

**קרית הטכניון, חיפה 32000**

**שימושים וכווני התפתחות  
בפלסטיקה  
לאריזה, חקלאות ובניה**

**אריזה - פרופ' יוסף מילץ, גב' נחמה פוי**

**חקלאות - משה גורן**

**בניה - ד"ר משה פוטרמן**

**עורך: ד"ר שמואל קניג**

## תקציר מנהלים

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 בעולם ובארץ מבחינה טכנולוגית, שיווקית וכלכלית.
- ב. ניתוח משולב - טכנולוגי, שיווקי וכלכלי - אודות מצבה העתידי של תעשית הפלסטיקה והפולימרים 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 היבטים טכנולוגיים על שימושים וכיווני התפתחות בחומרים פלסטיים לאריזה, חקלאות ובניה.

### א. אריזה

צריכת הפולימרים לשימושים באריזה מגיעה בעולם ל-30% עד 35% מכלל צריכת החומרים הפלסטיים. שיעור הצריכה בישראל דומה והגיע בשנת 1990 ל-32%. השינוי בהרגלי החיים בחברה המערבית בכיוון של שימוש במוצרי נוחות במזון ובאיכות מירבית, הביא לפיתוח חומרי אריזה פלסטיים בעלי תכונות חסימה מיוחדות לגזים ולחות.

חומרי הגלם המשמשים לאריזה הם פוליוניל כלוריד (20% מכלל השימוש ב-PVC), פוליאטילן - צפיפות נמוכה (80%), פוליאטילן - צפיפות גבוהה (70%), פוליפרופילן (30%), פוליסטירן (50%) פוליאטילן טרפלתלט, פוליקרבונט (2%). חומרים בעלי תכונות לחסימה של גזים או לחות: PVDC (חמצן וארומות), EVOH (גזים וארומות), פוליאמידים (גזים), LCP (מים וגזים). כמו כן קיים שימוש ביריעות ממותכות עם אלומיניום וציפויי זכוכית לחסימה גבוהה של לחות וגזים.

לשימושים מתקדמים נעשה שימוש באריזות רב-שכבתיות בכדי לקבל ביצועים נדרשים בשמירה נגד לחות וגזים שונים. אריזות מיוחדות למילוי חם ופסטור, אריזות אספטיות, עיקור בחום, אריזות בואקום, אריזות לאוירה מבוקרת או חלופית, אריזות למיקרוגל ולחיי מדף ארוכים, הם מההתפתחויות של השנים האחרונות. הבעיות האקולוגיות והמודעות לאיכות הסביבה, עקב הפסולת של חומרי האריזה הפלסטיים, הן מהגורמים להקטנת הצריכה של חומרים פלסטיים באריזה ולפיתוח אריזות "ידידותיות" לסביבה בעלות יכולת מיחזור או פירוק.

## תוכן העניינים

2	תקציר מנחלים
6	1. שימושים וכיווני התפתחות של אריות פלסטיות
7	מבוא
7	חומרים פלסטיים ואריזה - שיווק עולמי
40	כיווני התפתחות מומלצים לתעשית האריזה הפלסטית בארץ
43	ביבליוגרפיה
45	2. חומרים פלסטיים בחקלאות - חיבטים טכנולוגיים
46	מבוא
47	שימושים של חומרים פלסטיים בחקלאות
48	חומרי גלם לייצור יריעות גמישות ורשתות
50	צריכת יריעות גמישות
52	יצרני חומרי גלם ויריעות בישראל
52	תחזית הצריכה
53	חומרים לצנרת ואביזרים פלסטיים לחקלאות
54	יצרני צנרת ואביזרים
55	חומרים לאיסוף יבולים ואריות תוצרת חקלאית
56	מחקר ופיתוח בפלסטיקה לחקלאות
58	3. חומרים פלסטיים בבניה - מגמות והתפתחויות בארץ ובעולם
59	מבוא
65	תמונת מצב של השימוש בחומרים פלסטיים לבניה בישראל
74	השימוש בחומרים פלסטיים לבניה בעולם
80	סיכום
78	ביבליוגרפיה

לצנרת משמשים PVC ופוליאתילן - צפיפות גבוהה. לקטרים קטנים גם פוליאתילן צפיפות נמוכה. אביזרים להשקיה מבוססים על פוליפרופילן ו-PVC. טפטפות הם פרי פיתוח מקורי ומוגנות על ידי פטנטים. בשימוש זה נפוץ הפוליפרופילן, פוליאתילן-צפיפות נמוכה ומעט פוליאצטל. בארץ מייצרים צנרת ואביזרים כ-10 מפעלים. לאיסוף יבולים ואריות תוצרת חקלאית משתמשים בארץ בכ-7,300 טון בשנה של חומרים פלסטיים.

מחקר ופיתוח ביריעות נעשה בארץ במפעלי חומרי הגלם, יצרני היריעות, הטכניון, מכון ויצמן, האוניברסיטה העברית ומכון הפלסטיקה. יישום המו"פ נעשה בתחנות הנסיונות של יצרני היריעות, בפקולטה לחקלאות ברחובות ובמכון וולקני. ניסויי שדה נערכים אצל החקלאים על ידי שירות הדרכה במקצוע של משרד החקלאות.

מבין הנושאים שיש להשקיע בהם עבודת מו"פ, יש לציין את התכונות האופטיות והמכניות של חומרים קיימים, תכונות וטכנולוגיה של יריעות רב-שכבתיות, תוספים להארכת חיי המוצרים, תוספים להתמרת תחומי בליעה, פיתוח צבעים ליריעות חיפוי, יריעות תרמיות לחימום וקירור, פיתוח חממות לניצול אנרגית השמש ויריעות מתכלות. בשטח הטפטפות יש צורך בעבודה פיתוח עבור מוצרים חדשים.

## ג. בניה

השימוש בחומרים פלסטיים בבניה התרחב ב-20 השנים האחרונות. בעולם כ-20 עד 25% מכלל השימוש בחומרים פלסטיים הוא לבניה. בארץ מגיעה צריכת החומרים הפלסטיים ל-18% מכלל השימוש בחומרים פלסטיים. יש לציין שחלקם של החומרים הפלסטיים בכלל חומרי הבניה מסתכם באחוזים בודדים ולפיכך קיים פוטנציאל גדול לשימוש בחומרים פלסטיים לבניה. בעבר שימשו החומרים הפלסטיים בבניה בעיקר למטרות דקורטיביות. עם השנים התפתחות השימושים לצנרת, בידוד, ציפוי גגות, קירות ולחומרי מבנה. בשנים האחרונות הכיוון הוא לשימוש נכון בחומרים פלסטיים להשגחת הבניה ושיפור איכות החיים במבנה.

חומרים פלסטיים משמשים בבניה לשימושים לא מבניים, חומרי עזר וחומרי מבנה. לחומרים לא מבניים משמשים אלסטומרים שונים (EPDM, ניאופרן, הייפלון, גומי בוטילי), חומרים תרמופלסטיים (PVC, אמולסיות אקריליות) וביטומנים משופרים עם SBS ו-PP. לצנרת מים וביוב משמשים PVC, PP, פוליאתילן מצולב, פוליבוטילן, PVC מוכלר. חומרי בידוד הם על בסיס פוליסטירן מוקצף, פוליאוריתן מוקצף ושרפי פורמאלדהיד מוקצפים. לזיגוג ותאורה משמשים פולימתיל מתאקרילט, פוליקרבונט, PVC, פוליסטירן ופוליאסטר משוריין. מסגרות הם מרובן מ-PVC, ריצוף מ-PVC ואפוקסי ומוצרים סניטריים ממגוון של חומרים.

מתוך כיווני ההתפתחות בעולם בתחום האריזות הפלסטיות מומלץ להרחיב את הפיתוח או להכנס לפיתוח הנושאים הבאים בארץ:

א. אריזות רב-שכבתיות על בסיס למינציה של פוליאסטר, ניילון, פוליאאתילן וקופולימרים אתילן-ויניל אלכוהול (EVOH) לקבלת אריזות לחיי מדף ארוכים. כמו כן כניסה לשימוש בהרכבים חדשים של יריעות על בסיס פוליאולפנינים עם ניילונים, פוליקרבונט ופוליאתר-אימיד (Ultem).

ב. אריזות בעלות תכונות לאוירה חילופית (פרמביליות סלקטיבית) להארכת חיי מדף של פירות וירקות טריים, סלטים ומוצרי מאפה.

ג. קולטי קרינה פלסטיים לאריזות עבור שימוש במיקרוגל. לשימוש זה נדרש שיתוף בין יצרני יריעות, מיתוך ולמינציה.

ד. מיחזור של אריזות פלסטיות (ראה דו"ח מוסד ש. נאמן "פלסטיקה בסביבה - אקולוגיה").

ה. שקים מתקדמים בעלי תכונות מכניות מתאימות להחלפה של קרטון וחביות מתכת.

## ב. חקלאות

20% ממכירות כלל תעשית הפלסטיקה בארץ הם למגזר החקלאי. בהשוואה למדינות אחרות (פחות מ-4%), ישראל יוצאת דופן בפלסטיקה לחקלאות. הפלסטיקה בחקלאות משמשת לשלושה סוגי שימושים עיקריים: יריעות פלסטיות גמישות ורשתות לחיפויים וכיסוי מבנים, צנרת ואבזורים להשקיה, אריזות לתוצרת חקלאית ואיסוף יבולים.

חומרי הגלם ליריעות גמישות ורשתות הם: פוליאאתילן, צפיפות נמוכה, פוליאאתילן צפיפות נמוכה לינארי, קופולימרים על בסיס EVA, פוליויניל כלוריד, פוליפרופילן ופוליאאתילן צפיפות גבוהה. בנוסף לחומרי הגלם הבסיסיים משתמשים בתוספות לייצוב בקרינה וחום, בלביעה אינפרא אדומה ליריעות תרמויות, תוספים לאנטי-פוג, פיגמנטים, תוספים להתמרת תחומי בליעה, בליעה סלקטיבית ומלאנים. הצריכה של יריעות גמישות בעולם היא כמיליון טון בשנה, ובישראל כ-9,000 טון לשימוש ב-170 אלף דונם. יריעות מיוצרות בארץ מ-15 מפעלים. תחזית הצריכה ליריעות תלויה במצב הכלכלי בחקלאות, הרחבת הגידול של פירות, גידולי שדה ומשבר המים. בעולם קיימת התפתחות מהירה בשימוש ביריעות בארצות אירופה שלחופי אגן היס התיכון, ארצות המגרב באפריקה, דרום אמריקה, דרום ארה"ב, ארצות טרופיות באפריקה ואסיה.

בארץ מייצרים לוחות לבידוד תרמי, צנרת מים וביוב, תעלות וצנרת חשמל, פנלים שטוחים, בידוד צנרת, פרופילים, ארונות חשמל, כלים סניטריים, אביזרי חשמל, מערכות סולריות, מיכלים ושוחות, ריצוף, תקרות אקוסטיות, חיפוי וציפוי גגות, ברזים ולוחות זיגוג.

כיווני ההתפתחות בעולם הם בשימוש נרחב לצנרת, מוספים לתעשית העץ, ריצוף וחיפויים פנימיים וחיצוניים. בשנים האחרונות ניתן להבחין בעולם במיתון הגידול בבניה ושימוש של חומרים פלסטיים לבניה. בארץ התמונה הפוכה, עקב הבניה ההמונית לקליטת העליה ממזרח אירופה. הגידול הצפוי בבניה מעלה אפשרויות רבות לשימושים מתקדמים כמו חלקי מבנה שלמים (מטבחים, אמבטיות), שימוש בחומרים מרוכבים למבנה בתים, מוספים פולימריים לצמנטים, והכנסה של פולימריים הנדסיים לבניה.



## 1. מבוא

עם השינוי בהרגלי החיים והקטנת משקי הבית, וכן ריבוי מכשירי המיקרוגל הביתיים, חלה עליה משמעותית במוצרי נוחות ("Convenience foods"), כאשר המחשבה המנחה היא לקצר את השהות במטבח, להציע מוצרי מזון כמעט מוכן, או מוכן סופית ובגודל אריזה המתאים למשפחה המצומצמת. כן קיימת דרישה למזון בריא ודמוי טרי, עם מינימום תהליכי עיבוד (Minimally Processed foods) באיכות מירבית ללא תוספים. בנוסף יש דרישה לאינפורמציה תזונתית על גבי האריזה הכוללת הרכב ערכים קלוריים ותאריך תפוגה. על מנת לעמוד בדרישות החדשות שהוזכרו, היה צורך לפתח חומרי אריזה פלסטיים בעלי תכונות מחסום משופרות, בצורה של יריעות או לוחות שכבתיים, שניתן להכין מהם אריזות למטרות הנ"ל. בעבודה הנוכחית יסקר המצב הקיים (State of the art) של חומרי הגלם בעולם, אריזות קיימות בשוק המזון, וכווני התפתחות לגבי חומרים, טכנולוגיות ואריזות שונות.

## 2. חומרים פלסטיים - שיווק עולמי

### 2.1 השוק האמריקאי

בשנים 1985 עד 1988 היה הגידול בייצור ושימוש חומרים פלסטיים בארה"ב כ- 18%. לעומת זאת בשנת 1989 היה הגידול 1% בלבד לעומת 1988. בשנת 1990 חזויה בארה"ב עליה של 5.5% בשימוש באריזות פלסטיות, לערך של 75 ביליון דולר. זוהי התחזית המוערכת ע"י עורכי Packaging Magazine וכן ממקורות נוספים (Anon(5)(7), 1989). שיעור עליה זה מראה על האטה בגידול בצריכת אריזות פלסטיות לאחר שלוש שנים (1985/88) של קצב צמיחה גבוה.

חיזוי זה מבוסס על האטה יחסית בכלכלה האמריקאית ועל ייצוב המחירים של מרבית חומרי האריזה. אלמנט מרכזי המשפיע על ההאטה בצריכת אריזות הוא העובדה כי קיימת האטה בקצבי הצמיחה של תעשיות מרכזיות של מזון, תרופות וחומרי ניקוי. טבלה מס. 1 מרכוזת את המידע על תחזית צריכת החומרים הפלסטיים במיגזר האריזה בארה"ב.

### 2.2 השוק האירופאי

הצמיחה בהיקף של ייצור ושימוש בחומרים פלסטיים באירופה היתה בקצב מואץ ב- 3 שנים האחרונות. בעוד שהגידול בשנים 1982 עד 1985 היה 21%, בשנים 1985 עד 1988 היה הגידול 27% והוא ממשך בקצב דומה. קצב זה מעודד ע"י כלכלה בריאה במערב אירופה וחדירת חומרים פלסטיים לשימושים חדשים (Anon (5)(7), 1989).

## טבלה מס' 1: תחזית צריכת אריזות בשנים 1989-1991

**PACKAGING FORECAST BY INDUSTRY, 1989-1991**

(Value of packaging materials, containers and supplies, \$millions)

Industry	'89 Packaging Consumption	Percent Growth	'90 Packaging Consumption	Percent Growth	'91 Packaging Consumption	Percent Growth
Foods	\$24,142	8.5%	\$25,462	5.5%	\$27,535	8.1%
Beverages	\$13,520	8.8%	\$14,430	6.7%	\$15,026	4.1%
Drugs, Soaps & Toiletries	\$6,561	12.0%	\$6,929	5.6%	\$7,528	8.6%
Electrical Machinery	\$4,785	5.5%	\$4,908	2.6%	\$5,392	9.9%
Fabricated Metal Products	\$3,260	13.2%	\$3,389	4.0%	\$3,674	8.4%
Other Chemicals	\$2,404	2.3%	\$2,610	8.6%	\$2,801	7.3%
Non-Electrical Machinery/Computers	\$1,638	10.6%	\$1,716	4.7%	\$1,879	9.5%
Instruments	\$1,508	4.0%	\$1,556	3.2%	\$1,686	8.4%
Tobacco	\$720	9.1%	\$747	3.8%	\$792	6.0%
All Other Industries	\$12,296	7.9%	\$12,979	5.6%	\$13,998	7.8%
<b>TOTAL</b>	<b>\$70,834</b>	<b>8.5%</b>	<b>\$74,726</b>	<b>5.5%</b>	<b>\$80,311</b>	<b>7.5%</b>

Sources: PACKAGING, based on forecasts by Cahners Economics  
Data Source: U.S. Dept of Commerce

## טבלה מס' 2: צריכת חומרים פלסטיים במערב אירופה

Table 1. Consumption of plastics in Western Europe

Plastics	Consumption (1000 t)			Change (%)
	1987 <sup>1</sup>	1988 <sup>2</sup>	1989 <sup>3</sup>	
Polyvinyl chloride (PVC)	3600	4000	4920	+ 23
Low density polyethylene (LDPE/LLDPE)	3560	4300	5100	+ 19
High density polyethylene (HDPE)	1420	1880	2700	+ 44
Polypropylene (PP)	1470	2140	3110	+ 45
Polystyrene, standard and high impact (PS, SB)	1160	1300	1660	+ 28
Polystyrene, expandable (EPS)	440	450	500	+ 11
Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymers (ABS)	320	425	490	+ 15
Polyamides (PA)	180	245	320	+ 31
Polyesters, saturated <sup>1)</sup>	150	255	400	+ 57
Polymethyl methacrylate (PMMA)	140	170	220	+ 29
Polycarbonate (PC)	75	100	140	+ 40
Polyoxymethylene (POM)	55	80	95	+ 19
PUR raw materials	1000	1150	1400	+ 22
UP resins	300	340	450	+ 32
PF-, MF- and UF-moulding compounds <sup>2)</sup>	190	215	210	- 2
Epoxide resins	115	135	170	+ 26
Others <sup>3)</sup>	90	130	185	+ 42

1 Including bottle and film applications

2 Thermosetting moulding compounds based on phenolic, melamine, urea and UP resins

3 SAN/ASA, PPE, ABS/PC blends, PC/PBT/PET Blends, fluoroplastics

טבלה מס. 2 מסכמת את הצריכה והגידול בצריכה של חומרים פלסטיים שונים באירופה. ניתן לציין את הגידול הרב בפוליפרופילן, HDPE ופוליאסטר. הטבלה מציגת סה"כ חומרים פלסטיים ואיננה מפרטת את ההתפלגות לשימושים השונים. בהמשך הדיון בחומרים ספציפיים נתרכז בחומרי אריזה.

### 2.3 חומרים פלסטיים לתעשיית האריזה

#### 2.3.1 חומרים שאינם חומרי מחסום לגזים

##### א. פוליויניל כלוריד - (Polyvinylchloride) PVC

צריכת PVC באירופה תפשה בשנת 1988 את המקום השני לאחר פוליאיתילן בעל צפיפות נמוכה LDPE/LLDPE). הייצור העולמי בשנת 1988 היה 20 מיליון טון והחלוקה העולמית מובאת בציור 1, (Anon(5), 1989).

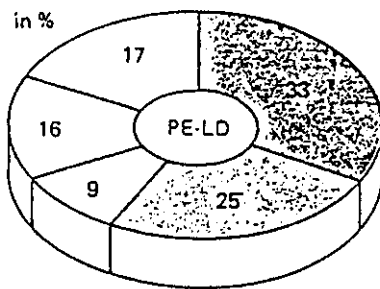
כ-20% מכמות זו משמשת לייצור חומרים לאריזה הן בצורה קשיחה והן בצורה מרוככת (Plasticized). PVC בצורתו הקשיחה ביסס את עצמו בשוק האריזות הודות לתכונותיו המכניות הטובות, השקיפות, אפשרות העיצוב התרמי, תכונות החדירות וחוסר ריח וטעם. הצריכה עלתה כל השנים, למרות שפוליפרופילן החליף PVC במספר שימושים כמו במיכלים למרגרינה וביריעות שקופות. מיכלי PVC הנם בשימוש נרחב לסירופים, משקאות ובעיקר למים מינרלים. מיכלים אלה מיוצרים בשיטת ניפוח בשיחול, ונמצאים בתחרות עם בקבוקי PET. עיי הפיתוח של OPVC (Oriented PVC) מתקבלים בקבוקים שקופים יותר, עמידים טוב יותר במכה וזולים יותר.

הפיתוחים ביריעות בשנים האחרונות מתרכזים בייצור חומרי גלם ללא שארית חומרים העלולים לנדוד למוצר (כמו מונומרים או מיגרנטים אחרים) וכן חומרים בעלי תכונות שאינם עוברים עירפול בקור (low fogging). אנשי הסביבה וה"ארגונים הירוקים" מתנגדים לשימוש בחומר זה בגלל בעיות מיחזור ויצירת HCl בזמן שריפתו, וכתוצאה מכך יצירת גשם חומצי (acid rain). ואכן, במספר מדינות באירופה כבר נאסר השימוש ב-PVC, וקיים מעבר בעיקר ל-PET, ל-PP ולחומרים אחרים. התחזית הינה שהשוק ימשיך לצמוח בקצב מתון יותר ולא בקצב הדינמי כמו בשנים קודמות. ההנחה הנוספת הנה שלא ימצאו שימושים נוספים שיביאו לעליה משמעותית בצריכה (Anon(5), 1989).

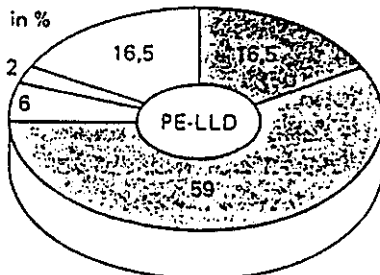
##### ב. פוליאיתילן בעל צפיפות נמוכה (LDPE/LLDPE)- Low density polyethylene

חומר זה, שתחום צפיפותו הנה 0.91-0.935 גר"/סמ"ק, הנו מחומרי האריזה השכיחים ביותר מבחינה כמותית. הייצור העולמי בשנת 1988 היה 15 מיליון טון והחלוקה העולמית מובאת בציור 2. (Anon(5), 1989).

מתוך כמות זו, מעל 80% משמשים בתעשיית חומרי אריזה כיריעות, למינטים, ציפויים וכו'. תחזית הצמיחה במערב אירופה לחומרים אלה מוערכת ב- 2.5% לשנה. תחזית מתונה זו נובעת מחדירה של HDPE לשימושים של LDPE ומרוויה יחסית של השוק העולמי לחומר זה. החידושים בחומרים אלה מתרכזים בעיקר בייצור של קופולימרים. בנוסף לקופולימרים עם EVA המהווים את מירב הקופולימרים לאריזה, קיים ענין הולך ורב בקופולימרים של אתילן-אקרילט בפרט בשטח הציפויים הודות לעמידותם בחם. כן ניתן למצוא קופולימרים עם ינומרים, עם EAA (Ethylene acrylic acid) וכן מוצרים התפורים לפי דרישה.



Region	Capacity (1000t/a)	Share (in %)
Western Europe	5100	33
North America	3900	25
Japan	1200	9
Eastern Europe/People's Rep. of China	2500	16
Rest of the World	2600	17
<b>Total</b>	<b>15300</b>	<b>100</b>



Region	Capacity (1000t/a)	Share (in %)
Western Europe	800	16,5
North America	2900	59
Japan	300	6
Eastern Europe/People's Rep. of China	100	2
Rest of the World	800	16,5
<b>Total</b>	<b>4900</b>	<b>100</b>

Fig. 2. World capacity for PE-LD (top) and PE-LLD (bottom) by region (1988)

קיים ענין מחודש בפיתוח של קומפולימרים של LDPE כאשר הפיתוח מתרכז בשיפורים טכנולוגיים של המוצרים הקיימים, כמו הגדלת חוזק וצפיפות (Anon(5), 1989). כן מתרחב השימוש בטכנולוגית קואקסטרזיה לייצור יריעות מורכבות והשימוש בחומרים ממוחזרים בתהליך הייצור לקבלת יריעות רב שכבתיות כאשר השכבה הממוחזרת "קבורה" בפנים.

פלח השוק הגדול ביותר ל- LDPE הנו בתעשיית היריעות, וכאן קצב הצמיחה הנו הגדול ביותר. ניתן לראות צמיחה גדולה בקואקסטרזיה של פוליאולפינים דומים. הרכבים אלה מאפשרים לנצל את התכונות של פוליאאתילנים שונים כמו HDPE/MDPE; LDPE/LLDPE לייצור מוצרים עם תכונות חוזק, צפיפות, הלחמה, הדבקה וצורה בהתאם לצרכים מיוחדים, על בסיס טכני וכלכלי אופטימלי. הרכבים אלה משמשים לשקיות שונות, ליריעות מתמתחות ומתכווצות ולמטרות חקלאיות.

במאמץ להקטין את הפסולת הביתית, משתמשים היום באריזות ביתיות הניתנות למילוי מחדש (בפרט בתעשיית הדטרגנטים). תיבות קרטון עם שקית פנימית (Bag in Box) למילוי יינות ומשקאות תופשות תאוצה רבה, וכן שימושים רבים כ- liners במיכלים ובחביות כפתרון לבעיית הפסולת. כן קיימים פיתוחים של יריעות מתכלות באור (Photo-degradable) או מתכלות בצורה ביולוגית (biologically degradable), כאשר ההתכלות באור אפשרית ע"י הוספת תוספים לפולימר. כדאי לציין כי היריעות המתכלות עדיין לא הוכיחו את עצמן.

### ג. פוליאאתילן בעל צפיפות גבוהה - High density Polyethylene-HDPE

הדרישה לחומר זה היתה ברמות גבוהות ביותר במערב אירופה בהשנים האחרונות. קצב הצמיחה הממוצע היה כ- 10% לשנה. התחזית הנה, כי קצב זה יקטן ב- 3 השנים הבאות. כמות הייצור בשנת 1988 היתה 12 מיליון טון והחלוקה העולמית מובאת בציור 3. יותר מ- 70% מכמות זו משמשת בתעשיית האריזה (Anon (5), 1989).

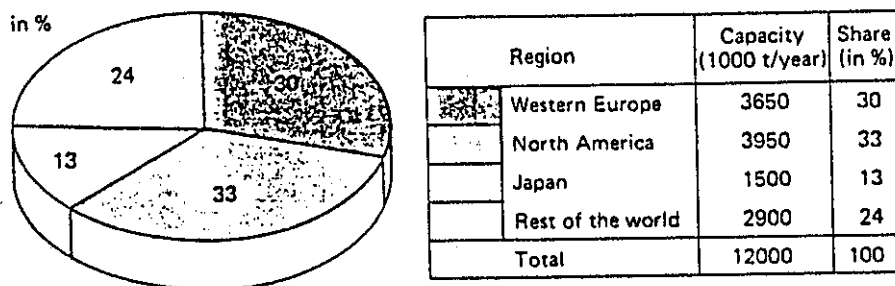


Fig. 4. World PP capacity by region (1988)

הדרישה הרבה ביותר היתה ליריעות HDPE, והצלחת חומר זה בהשוואה לחומרים אחרים תלויה בגורמים כלכליים בלבד. הגידול הרב בשנים האחרונות בחומר זה נובע, בין השאר, מהחלפת PVC וחומרים קלסיים אחרים בתעשיות הניפוח לבקבוקים כולל מיכלים וחביות למשקאות. תחזית הצמיחה הנה ל- 4-6% לשנה בשנים הבאות, כאשר אריזות חדשות ומרכיבים הנדסיים שונים יהיו בין הפיתוחים העתידיים. התחזית הנה גם לפיתוח ושיפור החומרים הקיימים כמו הגדלת חוזק וצפידות, הגדלת תחום טמפרטורות ההלחמה ואפשרות לקבלם במבנה רב-שכבתי עם BOPP (Biaxial Oriented PP). (Anon (5), 1989).

#### ד. פוליפרופילן - PP - Polypropylene

פוליפרופילן הוא מן החומרים שקצב הצמיחה שלהם היה מן הגבוהים בשוק העולמי 12% (בממוצע לשנה בין 1985-88). הייצור העולמי בשנת 1988 היה 12 מיליון טון ומכמות זו מהווים חומרי האריזה כ- 30% כיריעות וכלוחות. החלק הארי (מעל 76%) של תפוקת הייצור של PP נמצאת בארה"ב, מערב אירופה ויפן. החלוקה העולמית מובאת בציור 4 (Anon (5), 1989).

## סוגי אריזות מפולירופילן

### I. יריעות

השילוב של עמידות בחום, עמידות בפני שומן, חוזק, שקיפות וכלכליות, מאפשרת שימושים רבים ביריעה זו. PP ללא הכוונה (non oriented) מוגבל בשימושי הודות לתכונותיו המכניות הירדות. בקואקסטרזיה עם LDPE הוא משמש לאריזות גבינות, וכן רבים שימושי במוצרים רפואיים המיועדים לעיקור (טמפ. עד 135 מע"צ), ולשקיות הניתנות לעיקור (retortable pouches). תכונות חסימה, כושר הלחמה וחוזק משופרות ניתן לקבל ע"י קואקסטרזיה של PP עם PP ועם פולימרים אחרים. ע"י הכוונה (orientation) של יריעות PP ניתן לקבל יריעות בעלות חוזק ושקיפות רבה. ניתן לעשות למינציה עם פולימרים שונים כולל יריעות ממותכות, לצפותן ב- PVDC או אקריליק ולקבל יריעות רב שכבתיות בעלות תכונות מחסום מצוינות לחמצן ולמים, ושימושן רב בתעשיית המזון. קצב הגידול בשימוש ביריעות (OPP פולירופילן מכוון) בלתי שקופות (צבע פנינה) היה דרמטי בשנות ה-80 (Roberts, 1989). יריעות אלה מבוססות על אקסטרזיה של 3 שכבות של PP. השכבה האמצעית הינה הומופולימר של PP או פולימר ממוחזר שלתוכו הוכנסו גרגרים של  $\text{CaCO}_3$ , פוליאמידים ופוליאסטרס. חומרים אלה יוצרים חללים בזמן תהליך ההכוונה, ואלה מורידים את צפיפות הפולימר ל- 0.62-0.72 גר"/סמ"ק. החללים מפזרים את האור ומתקבלת יריעה בצבע פנינה הניתנת להדפסה עם אפקט מתכתי מושך עיין, עמידה בפני UV ובתפוקות גבוהות יותר. ההלחמה נעשית ע"י ציפויים קרים (cold seal coating) שהפכו מאד פופולאריים בשנים האחרונות. יריעות אלה מתאימות לאריזות מוצרים עתירי שומן כמו שוקולד וחטיפים. במקרה זה מצפים את היריעה ב- PVDC. לאחרונה קיימת דרישה ליריעות OPP בצבע לבן ואלה מתקבלות ע"י הכנסה של  $\text{TiO}_2$  ליריעה האמצעית או ליריעות החיצוניות. הרכבים אפשריים הנותנים מחסום טוב לגזים, לאדי מים לקרינת UV ועוד מתקבלים ע"י למינציה של ה- OPP עם חללים ל- OPP ממותך.

### II. מיכלים מ-PP

ע"י ניפוח ובהזרקה ניתן לקבל מ-PP מספר רב של אריזות, כמו צנצנות, מיכלים שונים, שסתומים, מכסים, ארגזים, קופסאות וכו'. ע"י שימוש בפולימרים בעלי מגוון של משקלים מוליקולריים ניתן לתכנן את תכונות האריזה וחוזקה. הומופולימר רגיל הנו שביר בקור ולכן ניתן להשתמש בקופולימרים כדי לקבל אריזות עמידות במכות ובטמפרטורות נמוכות. לאריזות של מזון קפוא המיועדות למיקרוגל דרושה קשיחות, חוזק ועמידות במכה. לדרישות אלה יש להתאים את המשקל המולקולרי ופולג משקלים מולקולרים. היום גם מקובל שימוש ב-PP מכוון בשיטת ההזרקה (injection blow molding) לקבלת בקבוקים וצנצנות. אריזות אלה שקופות, חזקות וניתנות למילוי בחום. ניתן לצפותם ב- PVDC או לבצע קואקסטרזיה עם EVOH וע"י כך לשפר את

תכונות המחסום שלהן. שימושים אפשריים הניסו למוצרים מפוסטרים, לריבות, לחמוצים, לרטבים ולאבקות כמו קפה או אבקת חלב (Anon (5), 1989; Roberts, 1989).  
 ע"י קואקסטרזיה עם EVOH או PVDC ניתן גם לקבל לוחות רב שכבתיים, מהם ניתן לקבל ע"י עיצוב בחום מגשים או מיכלים אחרים העומדים בטמפ. עיקור והמחליפים את קופסת השימורים המסורתית.

### III. תחזית

התחזית הנה לצמיחה בהיקף הייצור של PP הודות לשימושים חדשים, ויתרונות הנדסיים וכלכליים יחסית לחומרים אחרים כמו פוליסטירן, PVC וזכוכית. פיתוחים הנדסיים יאפשרו לייצר בקבוקי PP שקופים בשיטת injection, stretch blow molding אשר יחליפו בקבוקי זכוכית (Anon(5), 1989) לפי דעת המומחים זו רק שאלה של זמן עד שאריזות אטומות מ-PP בהרכב רב שכבתי עם שכבות חוסמות יחליפו את קופסאות הפח מצופה בדיל או אלומיניום.

PP משמש וישמש גם כתחליף ל- HDPE באריזות שונות ובשימושים ביתיים, וכן כתחליף ליריעות הצלופן, והתחזית הנה לצמיחה שכן הוא יחליף חומרי אריזה אחרים כמו נייר. מאידך, נמצא במקום אחר, כי הצלופן עשוי לחזור לשימוש, מכיון שהוא חומר המתפרק בטבע. בשימושים במבנים רב שכבתיים בעלי מחסום לגזים, לארומות ואדי מים, כנראה יתפוס בעתיד מקום נכבד ביותר.

ערבוב של OPP עם פולימרים אחרים בטכניקות שונות יאפשר קבלת חוזק ועמידות טובים יותר בלחות. גם הפיתוח של חומרי דפוס על בסיס מים במקום על בסיס ממיסים ירחיב השימוש ביריעות אלו (Robert, 1989; Anon(5), 1989).

### ה. פוליסטירן - Polystyrene- PS

#### I. פוליסטירן (HIPS) High Impact Polystyrene

בקטגוריה זו נכללים פולימרים על בסיס סטירן המכילים בין השאר מרכיבים נוספים כמו אקרילוניטריל, ABS וכי.

היקף הייצור של PS בשנת 1988 היה 7.5 מליון טון והחלוקה העולמית מובאת בצירוף 5. כ- 50% מהיקף הייצור משמשים בתעשיית האריזה (Anon (5), 1989).



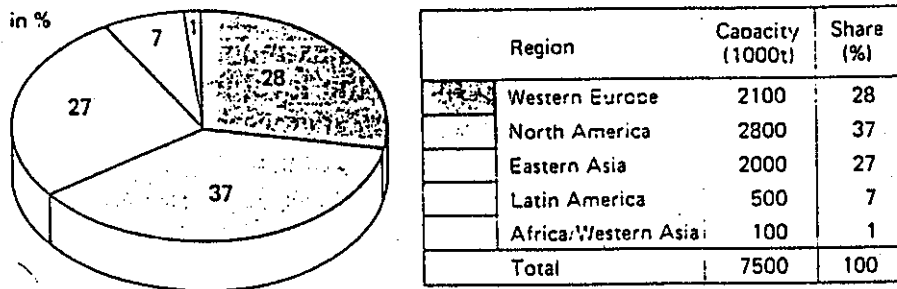


Fig. 5. World PS capacity by region (1989)

מירב הייצור של פוליסטירן הנו באקסטרוזיה ללוחות. בקבוקים נעשים בשיטת הניפוח בשיחול, וכאן השימוש רב לאריות מוצרי חלב במיוחד ב- PS עמיד למכה (HIPS). כן הוא משמש לייצור כלי בית שקופים ולמוצרים רפואיים. הרבה פיתוחים נעשו בשטח זה ויש לציין, בין השאר, תערובת של PS ופוליאולפינים הנותנים תכונות שטח משופרות.

חומרים אלה משמשים גם בתור דבקים (hot melt adhesives) בתהליכי קואקסטרוזיה לייצור מכסים הניתנים לסגירה בחום. חידוש נוסף הנו ערבוב עם "Noryl" הנותן חומר בעל נקודת התרככות גבוהה יותר (Vicat Softening Point), כך שניתן לשתמש בו כמגש לתנור מיקרוגל. הפיתוח של OPS (Oriented PS) מאפשר שימושים מורחבים בתעשיית האריזה, הודות לעמידות בטמפרטורות נמוכות, שקיפות וחזירות לגזים (Roberts, 1989; Anon (5), 1989).

אחרי מספר שנים של סטגנציה שנבעו מסגירת מספר מפעלים ועליית מחירים, היקף הייצור והצריכה של PS במערב אירופה עלה בשנים 89-1988 והתחזית צופה עליה מתונה למדי בשנים הקרובות. יחד עם זאת התחזית הנה לצמיחה מהירה בשימוש ב- OPS למיכלים ומגשים הניתנים לעיצוב בחום. זאת, בין השאר הודות לשקיפות ומעבר הגזים הגבוה המאפשר אחסון פירות וירקות בקרור ללא הופעת עירפולת על האריזה.

## II. פוליסטירן מוקצף - Expanded Polystyrene (EPS)

בקטגוריה זו של EPS נכללים כל הפולימרים על בסיס סטירן (ללא התחשבות בשיטת הייצור) היוצרים קצפים. המוצרים כוללים בין השאר כוסות שתיה, מגשים, חומרי בדוד, ארגזי קרור וחומרי אריזה למיניהם. כושר הייצור של EPS גבוה במידה רבה מהצריכה העולמית 1.6 (לעומת 1.23 מיליון טון בשנת 1988). את החלוקה העולמית ניתן להראות בציר 6.

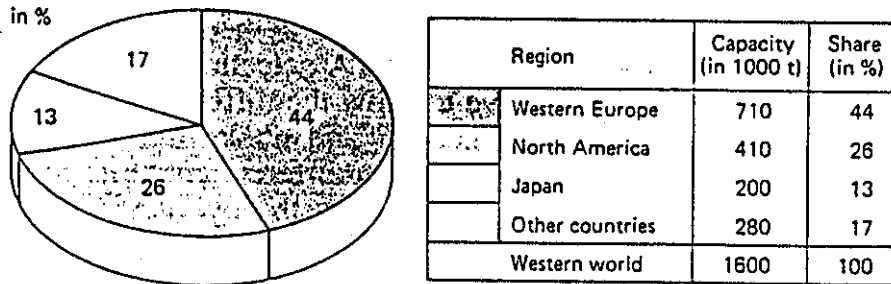


Fig. 6. World EPS capacity by region (1988)

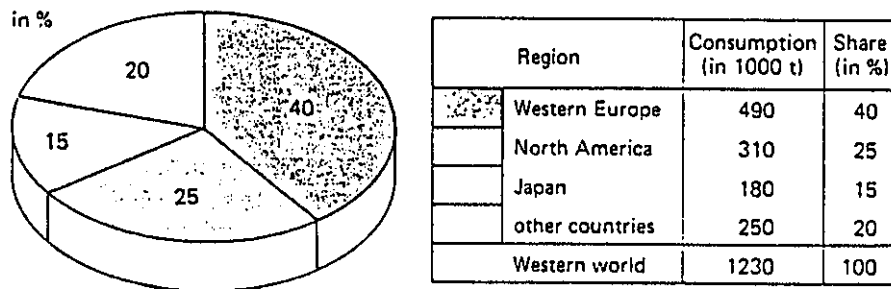


Fig. 6. World EPS consumption by region (1988)

מתוך כמות זו כ- 34% משמשים במערב אירופה למוצרי אריזה. כ- 50% בצפון אמריקה ומעל 85% ביפן. (Anon (5), 1989)

קצפי EPS הנם בעלי תכונות מכניות טובות כמו כושר ספיגת מכות, כושר בידוד, עמידים בלחיצה וכו'. ניתן למחזרם ולעבדם מחדש, ולכנייהתחזית היא גידול בכמות. (Roberts, 1989).

### ג. פוליאסטר - PET פוליאתילן טרפתלט

#### א. פוליאסטר

חומר זה הראה במשך השנים האחרונות את הצמיחה הגדולה ביותר בין החומרים העוברים ניפוח בחזרקה. קצב הצמיחה שלו באירופה המערבית היה 57% ב-3 השנים 1985 עד 1988 (ראה טבלה 1). קצב הצמיחה של פוליאסטר תרמופלסטי בשוק האמריקאי היה כ- 3% בארה"ב בין השנים 1988-89. יש לציין כי השימוש בקבוקי PET ירד בשנת 1989 בכ- 7.5% ולעומת זאת השימוש בפוליאסטר מגובש Crystallized PET (CPET) בשימוש למגשים (Ovenable trays) עלה ב- 28%. כן היתה צמיחה של כ- 13% באותה תקופה

בשימוש ב-PET כלוחות למטרות הכנת מגשים, כוסות ובאריות תרופות (Anon(5), 1989).

השוק הגדול ביותר ל-PET הנו באריות משקאות (מוגזים), כאשר משקלו הנמוך של הבקבוק, שקיפותו, חוזקו המכני וחסימתו לפחמן דו-חמצני עשוהו לפופולרי ביותר. היום כובש PET נפח גדול בשוק הבירה, השמן למאכל, סידר, מיצים, זיתים, תבלינים וכו'. (Roberts, 1989; Anon(5), 1989).

לאריות בירה, הרגישה במיוחד לחמצן, מצפים את בקבוקי ה-PET ב-PVDC למניעת חדירת חמצן. חברת ICI פיתחה PVDC בעל תכונות חסימה משופרות לחמצן כך שניתן לצפות ע"י רסוס או טבילה את ה-Preforms של בקבוקי ה-PET בטרם נופחו, עובי השכבה הנוצרת אחרי הניפוח הנו כ-2-3 מיקרונים ותכונות המחסום לגזים מצוינות. תכונות החסימה חשובות במיוחד בבקבוקים בנפחים הקטנים בהם היחס שטח/נפח הנו גדול ויש חדירה גדולה יותר של חמצן. התחזית כיום הנה לחדירה לשוק של בקבוקי PET קטנים שיתנו חסכון בנפח אחסון, בטיחות רבה יותר ורווח גדול יותר (Roberts, 1989; Anon(9), 1989).

הודות לחוקים חדשים ומחמירים בנושאים של איכות הסביבה המחייבים מיחזור חומרי אריזה, מפתחים היום בקבוקי PET למשקאות מוגזים שניתן למלאם מחדש. הבקבוקים כפולים במשקלם מבקבוק רגיל ואין עליהם כל ציפוי כך שניתן לנקותם בצידוד רגיל. התחזית הנה שהם יתפסו חלקית את מקומם של בקבוקי PVC המהווים בעיה בגלל ה-HCl המשתחרר בשעת פירוליזה.

היקף השימוש ביריעות PET הנו נרחב ביותר וזאת הודות ליציבותו, עמידותו בפני רטיבות וטמפ. גבוהה, עמידות בפני כימיקלים, חוזקו הרב (בפרט אחרי הכוונה), שקיפותו, הקלות בטפול בו, תכונות המחסום שלו ואפשרויות הדפסה. הוא משמש ל-boil in bag לשקיות הניתנות לעיקור (retort able pouch), בסוגים שונים של שקיות גמישות ובמכסים למגשים. לרוב הוא נמצא בהרכבים שונים עם שכבות נוספות המשמשות להלחמה כמו פוליאולפנינים, בציפויים עם PVDC לשיפור תכונות המחסום, או כיריעות ממותכות עם אלומיניום. שימושי רבים באריות מזון ותרופות.

שטחי הפיתוח בהם מנסים לשפר את תכונות ה-PET הם יציבות מימדים בחום כך שניתן יהיה להשתמש בו למילוי חם של מוצרי מזון, ושיפור תכונות החסימה שלו על מנת להאריך חיי מדף של מזונות. מספר יצרנים טוענים שפיתחו את השרף "Cleartuf HP" בעל תכונות חסימה משופרות לחמצן, כך שניתן למלא את האריזה בחם ולהעבירה עיקור במיקרוגל (Roberts, 1989; Anon(9), 1989).

פיתוחים נוספים הינם קופסת ה-PET המיועדת למשקאות כאשר טכנולוגיית הייצור דומה לזו של קופסאות פח, והקופסא הסופית דומה לקופסת הפח 12 אונקיות עם שני מכסי מתכת. כן ניתן למצוא היום את ה-Stepcan של Metal Box שהינו מיכל המיועד לפסטור. זהו צינור PET מתוח ושקוף עם שני מכסי מתכת המיוצר ב-Injection stretch blow molding.

על מנת לקבל תכונות מחסום משופרות ניתן לקבל מבנה של PET/Nylon/PET (חיי מדף של בירה 6 חדשים) או PET/Nylon MXD6/PET או במבנה ה-Oxbar (עם קטליזטור סופח חמצן) כפי שיוזכר בהמשך.

## II. מוליאסטר מגובש - Crystallized Polyester - CPET

בתנאים רגילים ה-PET הנו כמעט אמורפי לחלוטין ולכן הוא גם שקוף. אולם, ניתן לקבל אותו במצב גבישי בחלקו ע"י גיבוש בתנאים מתאימים והוספת חומרים הגורמים לנוקליאציה. החומר מאבד משקיפותו, אולם עמידותו בטמפרטורות גבוהות משתפרת מאד, כך שניתן להשתמש בו כמגש לחימום מזון בתנורים רגילים ובתנורי מיקרוגל (dual ovenable CPET) תהליך הגיבוש גורם למיכלי CPET להיות אטומים. זרגת הגיבוש, תהליך השיחול והעיצוב בחום הם המשפיעים על החוזק למכה של המגש. בשעת החימום קיימת הכתמה (Staining) של המגש מהמזון הארוז בו. למניעת התופעה עובר ה-CPET קואקסטרוזיה עם PET על מנת לקבל שכבה עליונה שאיננה עוברת הכתמה וניתנת להלחמה בחום עם חומר כסוי מתאים (Roberts, 1989). נושא מגשי CPET ידון בנפרד בפרק על סוגי אריזות.

PET הנו חומר המחליף באופן הדרגתי זכוכית ומתכת בשוק אריזות מזון ותרופות ולכן התחזית הנה לצמיחה של 5 עד 7 אחוז בשנת 1990, ו-10-12% ב-PET שעובר טיפול כימי.

## ז. פוליקרבונט - Polycarbonate - PC

לפוליקרבונט יש מספר תכונות מצוינות כמו, שקיפות, עמידות בחום ומכה, אולם הוא יקר. התפתחות בטכנולוגית הקואקסטרוזיה אפשרו להשתמש בפוליקרבונט בצורה כלכלית. ואכן היקף המכירות שלו גדל משמעותית בשנים האחרונות. באריזות, עלתה צריכתו בארה"ב בשנת 1989 ב-20% יחסית ל-1988. חלוקת הצריכה העולמית של PC מובאת בצירוף 7 מתוך כמות זו רק כ-2% משמשים לייצור אריזות. (Anon (5), 1989)

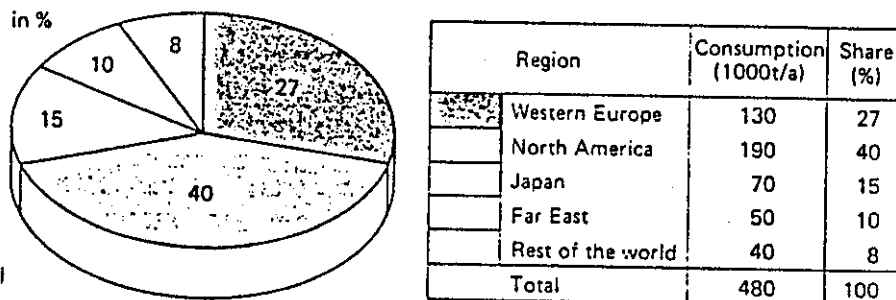


Fig. 7. World consumption of PC (excluding blends) by region (1988)

ל- PC יש חוזק מתיחה גבוה וקשיחות רבה, והודות למשיכותו (ductility) הגבוהה ועמידותו במכה ניתן להשתמש בו לטמפ. נמוכות עד -40 מע"צ וגבוהות עד 140 מע"צ. עמידותו הגבוהה לטמפ. מאפשרת שימוש למילוי חם של מזון ועיקורו בטמפ. של 135 מע"צ. עבירותו לאדי מים וחמצן גבוהה ולכן ברוב השימושים הוא עובר קואקסטרוזיה עם EVOH המשמש כמחסום טוב לגזים. שימוש רב בבקבוקים רב פעמיים בשוק מים מינרלים. ניתן לקבל ממנו בקואקסטרוזיה יריעות PC/PP ואלה משמשות לאריזות מוצרים רבים. יריעות אלה הן בשלב ניסויי אריזה למוצרי אטריות, פירות יבשים וממתקים. עיקר הפיתוחים נעשו בכיוון של בקבוקים רב-שכבתיים המיועדים לאריזות משקאות ורטבים. בקבוקים אלה מצטיינים בתכונות מחסום טובות, עמידות במלוי חם ועיקור ועמידות במכה.

הרכב הבקבוק הנו PC/tie/EVOH/tie/PP מאחר ול- PC יש חדירות גבוהה לאדי מים הרי שאחרי העיקור בורחים דרכו במהירות אדי המים שנספחו על EVOH ובכך מתאפשרת שמירת המחסום הגבוה לגזים של EVOH הרגיש למים. זהו אפקט "הדלת הפתוחה" (Open door) כך שהבקבוק חוזר במהירות למצבו המקורי מבחינת המחסום לגזים. משתמשים בבקבוקים אלה לקטשופ.

תחזית הצמיחה לפוליקרבונט הנה כ- 6% לשנה עד 1995. צמיחה זו כוללת גידול ניכר בשימוש בתערובות (blends), (Roberts, 1989).

מאמצים נעשים בפיתוח פולימרים בעלי נקיון רב, עם רכוז אוליגומרים נמוך יותר. פולימרים שקל יותר לעבד אותם וה"תפורים" לפי דרישות. כן נעשה פיתוח בפולימרים ציקליים ארומטיים בעלי צמיגות נמוכה וזרימות גבוהה, ובעלי עמידות לטמפ. גבוהות, בפיתוח מוצרים ושווקים חדשים ואופטימיזציה של תהליכי הייצור. פוליקרבונט הנו חומר היכול להחליף חומרים אחרים בתעשיית האריזה ונשקף לו עתיד ורוד.

### 2.3.2 חומרים פלסטיים עם מחסום גבוה למעבר גזים (Barrier materials)

השימוש בחומרים פלסטיים בעלי תכונות מחסום לגזים גדל בצורה דרמטית ב- 10-15 השנים האחרונות. רוב הפולימרים הינם בעלי תכונות מחסום סלקטיביות לגזים. במקרים רבים ניתן לומר כי ככל שתכונות המחסום לגזים כמו חמצן וחנקן טובות יותר, החדירות לאדי מים עולה. לדוגמא, פוליאיתילן הנו בעל תכונות מחסום טובה לאדי מים, אך מחסום גרוע לחמצן; פוליוניל אלכוהול שהנו חדיר למים ורגיש להם, הנו בעל תכונות מחסום מצוינות לחמצן. בפרק הבא נדון בחומרים שונים בעלי תכונות מחסום גבוה לגזים ושימוש בהם.

טבלה מס. 3 משווה ערכי חדירות לגזים ואדי מים של הרכבי יריעות שונים המשמשים כחומרי מחסום.

Table 2. Gas and water vapour permeability of composite film

Composite structure	Thickness (example) μm	Permeability *			
		O <sub>2</sub> * ml m <sup>2</sup> ·d·bar	CO <sub>2</sub> * ml m <sup>2</sup> ·d·bar	N <sub>2</sub> * ml m <sup>2</sup> ·d·bar	H <sub>2</sub> O** g m <sup>2</sup> ·d
NC / cellulose film / NC / PE	3/23/3/50	125 (75% rel. hum.)	750 (75% rel. hum.)	40 (75% rel. hum.)	2.5
PVDC / cellulose film PVDC / PE	3/23/3/50	10 (75% rel. hum.)	40 (75% rel. hum.)	3 (75% rel. hum.)	1
PET / PE	12/75	100	450	1	1.2
PET / PVDC / PE	12/3/75	10	55	1	0.7
PET / metallisation / PE	12/75	< 1	2	< 1	0.2
PET / aluminium / PE	12/9/75	< 0.1	not measurable	not measurable	< 0.1
uPA / PE	25/65	35 (75% rel. hum.)	105 (75% rel. hum.)	8 (75% rel. hum.)	1.8
uPA / PE	100/200	8 (75% rel. hum.)	25 (75% rel. hum.)	2 (75% rel. hum.)	0.8
oPA / PE	15/75	35 (75% rel. hum.)	200 (75% rel. hum.)	8 (75% rel. hum.)	2
oPA / metallisation / PE	15/75	3 (75% rel. hum.)	-	-	0.7
uPP / PE	20/40	1800	-	-	1.3
oPP / PE	20/40	1200	3500	250	0.8
oPP / metallisation / PE	20/40	40	-	-	0.3
oPP / aluminium / PE	20/9/75	< 0.1	not measurable	not measurable	< 0.1
PVC / PE	200/75	30	65	7	0.7
PVC / PE	500/75	12	27	3	0.4

\* Gas permeability measured according to DIN 53 380 at 23 °C, 0% relative humidity (exceptions at 75% relative humidity on account of the moisture absorption capacity of the corresponding carrier layer).

\*\* Water vapour permeability measured according to DIN 53 122 at 23 °C, 85% humidity difference.

#### א. פוליונילדן כלוריד - PVDC - פוליונילדן כלוריד

זהו קופולימר של וינילדן כלוריד עם ויניל כלוריד. תכונות המחסום שלו תלויות בריכוז הוינילדן כלוריד בקופולימר, בגבישיות ובכמות המרככים המוספים לו. המגבלות העיקריות שלו הן בתכונות הקרווויביות שלו, חסר יציבותו בחום, ב-UV ובקרינת גמה. בגלל פליטת HCl בזמן חימום קיימת מגבלה להתאמתו לקואקסטרוזיה עם חומרים כמו PET, PA ו-PC.

עיקר שימושו של latex PVDC הנו כציפוי על פולימרים שונים, ניר, קרטון, יריעות מקואקסטרוזיה ובקבוקי PET. בקואקסטרוזיה הוא מתחבר למספר פולימרים כמו EVA, PVC ואקריליק (Robert, 1989). כווני הפיתוח הנם בייצור סוגי PVDC יותר יציבים בזמן העיבוד, ובעלי תכונות חדירות משופרות. פיתוח נוסף הנו של Saran MA שהנו קופולימר מתילאקרילט עם PVDC הנותן תכונות מחסום מצוינות לחמצן וארומות.

אחת הבעיות העיקריות בשימוש ב-PVDC הנה בעית המיחזור (שחרור HCl). אך כבר ישנן היום מספר חברות הממחזרות PVDC. חברת Metal Box משתמשת ב-PP/PVDC ממוחזר באריזות המתקבלות בעיצוב תרמי. גם ממוחזר. חברה יפנית, Toyo Seiran, מפתחת מגשים בעלי 6 שכבות המכילים 40-42% חומר ממוחזר ומיועדים לעיקור.

הצלחה במיחזור של PVDC מתאפשרת הודות להכנסת חומרים מייצבים כמו טרהסודיום פירוסולפט הפועל כקולט HCl. בנוסף לבעית המיחזור ישנה בעית הפסולת שכן בעת פירולוזה החומר משחרר HCl והנו אחד הגורמים ל"גשם חומצי" (acid rain), כך שבדומה ל-PVC מספר מדינות באירופה אסרו על השימוש בחומר זה.

### ג. אתילן וניל אלכוהול - Ethylene vinyl alcohol copolymer-EVOH

אלו הם פולימרים בעלי תכונות מחסום מצוינות לגזים ולארומות בהיותם יבשים ובעלי שקיפות טובה, ולכן הולך וגובר השימוש בהם ביריעות, לוחות ובקבוקים רב שכבתיים. רכוז האתילן בהרכב של אתילן/וניל אלכוהול הוא שקובע את תכונות המחסום. ככל שרכוז האתילן גבוה יותר, תכונות המחסום לגזים יורדות (חדירות עולה) (ראה ציור 8). הרכוזים המקובלים הנם 32% ו-44% אתילן.

חומרים אלה הם מאד היגרוסקופיים ותכונותיהם תלויות על כן בכמות המים שספגו או בלחות היחסית שבאוויר בה הם נמצאים (ראה ציור 9).

בייצור יריעות רב שכבתיים, EVOH איננו נדבק לפולימרים רבים ולכן יש צורך להוסיף שכבת צימוד (tie layer) כך שניתן יהא לקבל יריעה טובה. Dupont פיתח שורה של דבקים "Bynel", המשמשים לחיבור בין HDPE, LDPE, LLDPE ו-PP עם ניילון ו-EVOH המיועדים לאריזות מזון.

הרכבים מקובלים הנם בד"כ 5 שכבות בקואקסטרוזיה:

PP/tie/EVOH/tie/PP; LDPE/tie/EVOH/tie/LLDPE; PS/tie/EVOH/tie/PP

אך ניתן למצוא גם 6 ו-7 ואפילו 11 כאשר אחת השכבות יכולה להיות חומר ממוחזר.

הודות לחדירות הנמוכה לחמצן של יריעות ולוחות בהרכבים רב שכבתיים אלו, ניתן להשתמש בהם למטרות רבות ומגוונות, כגון: באריזות מוצרים עמידים מדף (Shelf Stable), באריזות ואקום, באריזה מבוקרת (Modified atmosphere packaging), ובכל מקרה כאשר המוצרים רגישים מאד לחמצן, כמו מיצי הדורים, מוצרי עגבניות,

אבקת חלב, או מוצר שמכיל הרבה שומן. סוגי האריזות הינם Bag in Box, מגשים הניתנים לפיסטור ועיקור, צנצנות ובקבוקים המיועדים למילוי חם, ועוד.

לאחרונה, פותחו ביפן יריעות EVOH מכוונות (oriented) ובלתי מכוונות, המשמשות בתהליכי למיניצה לקבלת הרכב רב שכבתי. ביריעות המכוונות החדירות למים וחמצן נמוכה יותר. חברת DuPont פיתחה משפחה חדשה של פולימרים מ-EVOH "Sclar OH Plus" שתכונות המחסום שלהן לחמצן טובות פי 3-5 מהחומרים הסטנדרטיים (Anon(11), 1988; Anon(12), 1987; Roberts, 1989).

עיי הוספת מלאנים, כמו מיקה, המפריעים לתנועה מולקולות הגז, מתקבלים חומרים שתכונות המחסום שלהן לחמצן טובות מאלו של החומרים הסטנדרטיים. החדירות לחמצן ליריעה של 25 מיקרון הנה בסדרי גודל של 0.016-0.16 סמ"ק/מ"ר/יום/אטומספירה, בתחום הלחיות 0-80%. ניתן להשתמש בחומרים אלה לקבלת חיי מדף ארוכים.

לחילופין, ניתן להוריד את עובי שכבת ה-EVOH, כאשר עבירות נמוכה ביותר איננה נדרשת ובכך לחסוך במחיר האריזה. מאחר ול-EVOH יש כושר ספיגת ארומות נמוך בהרבה יחסית ל-PE, נעשים כיום נסיונות להשתמש בו כשכבה פנימית במטרה למנוע ספיגת מרכיבים חשובים ממיצים הגורמת לירידה באיכות המיץ. פיתוחים נוספים נעשים בכיוון שיפור התכונות לעמידות בלחיות יחסיות גבוהות, העלאת העמידות בפני סדיקה (Stress cracking), מכה וכו'.

### ג. פוליאקרילוניטריל - PAN - Polyacrylonitrile

קופולימרים של אקרילוניטריל (AN) עם סטירן ובוטדיאן משמשים לאריזות מזון זה זמן רב. בשנת 1973 נחשד המונומר כמסרטן והיות והוא עלול לנדוד מן האריזה אל המוצר, נאסר השימוש בקופולימרים של AN לבקבוקי משקאות. כיום ה-FDA (Food and Drug Administration) מגביל את השימוש בחומר לרכוז של 0.1 חל"מ של AN מונומר בקופולימר.

אחד החומרים שנמצא היום בשימוש הנו Barex 210, שהנו קופולימר של AN ואקרילט, ביחסים 75/25, בעל עמידות כימית ותכונות מחסום מצוינות, וניתן לקבל ממנו מיכלים קלי משקל.

חבי Mobile פיתחה יריעה BOPAN (PAN מכוון) עם כמות מונומרים של פחות מ-10 חלקים לביליון בעלת תכונות מכניות, שקיפות ומחסום מצוינות. לחומר זה פוטנציאל גדול במילוי מזון חם, מילוי אספטי ולמטרות עיקור. כן פותחו יריעות מצופות ב-PVDC. תוספת חומרים מרככים שיפרה את תכונות העמידות בכפיפה (flex cracking) של היריעה אך השפיעה לרעה על תכונת המחסום.

מקופולימרים של אקרילוניטריל עם מתאקרילט (RM-HNR) ניתן לקבל יריעות ולוחות בהרכבים שונים הנותנים תכונות מחסום לגזים, עמידות בפני כימיקלים וכושר הלחמה מצוינים. הם משמשים באריזות בשר, גבינות ותרופות. החומר ניתן לעיקור בעזרת אתילן אוקסיד ועיי קרינת גמה (Roberts, 1989).



Fig. 8. Ethylene Content and Oxygen Transmission Rate

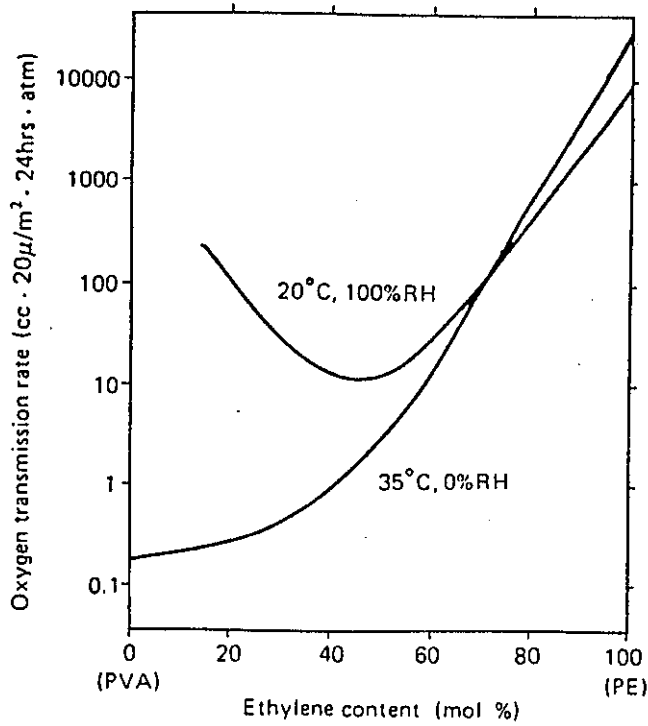
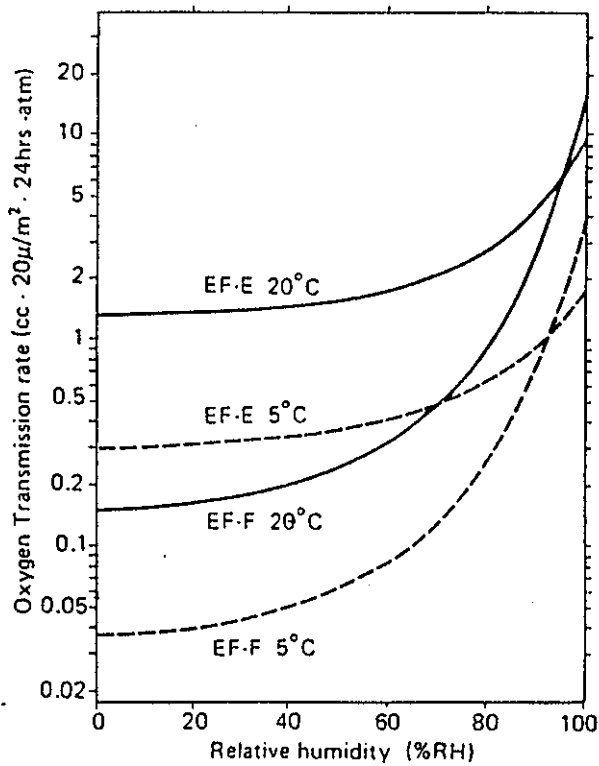


Fig. 9. Relationship between Oxygen Transmission Rate and Relative Humidity in EVAL Films



### ד. פוליאמיד (ניילון) - Polyamide - PA

הפוליאמידים (הניילונים) לסוגיהם הם מן החומרים בעלי קצב צמיחה של 6-7% לשנה בשנים 1985-1988. קצב הגידול המתמיד של חומרים אלה נובע ממגוון רחב של תכונות שאיפשר לפתח מוצרים רבים. היקף הייצור העולמי קשה להערכה, אך הצריכה במערב אירופה היתה 32,000 טון. מתוך כמות זו כ-12% תופסים חומרי אריזה בצורה של יריעות המיוצרות בשיטת הניפוח בשיחול. שני הפולימרים העיקריים בשוק הניילונים הם ניילון 6 (PA6) וניילון 66 (PA66) והם מהווים מעל 85% מהיקף הייצור. החלוקה לפי סוגים במערב אירופה מובאת בצירוף 10 (Roberts, 1989).

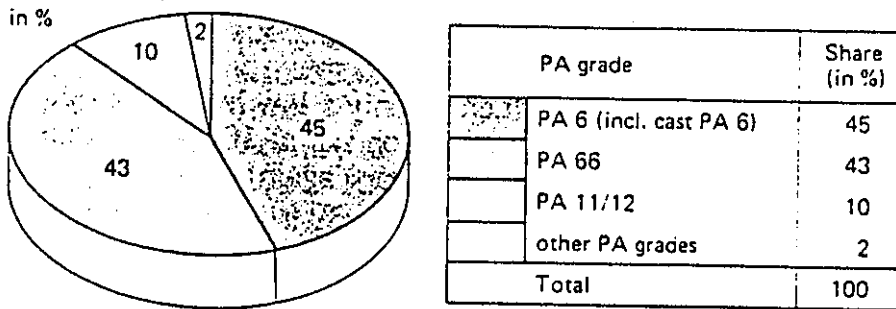


Fig. 10. Share of the various PA grades in total West European consumption (1988)

Table . . Share of the various PA grades in total West European consumption

PA type	Share (%)	
	1985	1988
PA 6 (including cast PA)	48	45
PA 66	40	43
PA 11/12	9	10
Other PA types	3	2
Total	100	100

לחומרים אלה יש עמידות תרמית, חזק רב, עמידות בכפיפה (flex crack) ודיקור והם ניתנים בקלות לעיצוב בחום. הם עמידים בפני שמנים ושומנים ואינם מעבירים חומרי ריח, תכונות המחסום שלהם אינן מן המשופרות בהשוואה ל- PVDC ול- EVOH, ותכונת המחסום לאדי מים היא גרועה. ניתן לקבלם ע"י ניפוח או casting, ע"י הכוונה (orientation) בכוון אחד או בשני הכוונים. ברוב המקרים היריעות עוברות ציפוי, למינציה או קואקסטרוזיה עם חומר אחר כמו EVA, LDPE או ינומר, על מנת שניתן יהא להלחים אותו ולקבל מחסום לאדי מים. כן ניתן היום למתך ניילון מכונן ולקבל יריעה עם מחסום מצוין למים, בעלת גמישות רבה, עמידה בכפיפה ועם אפשרויות הדפסה טובות.

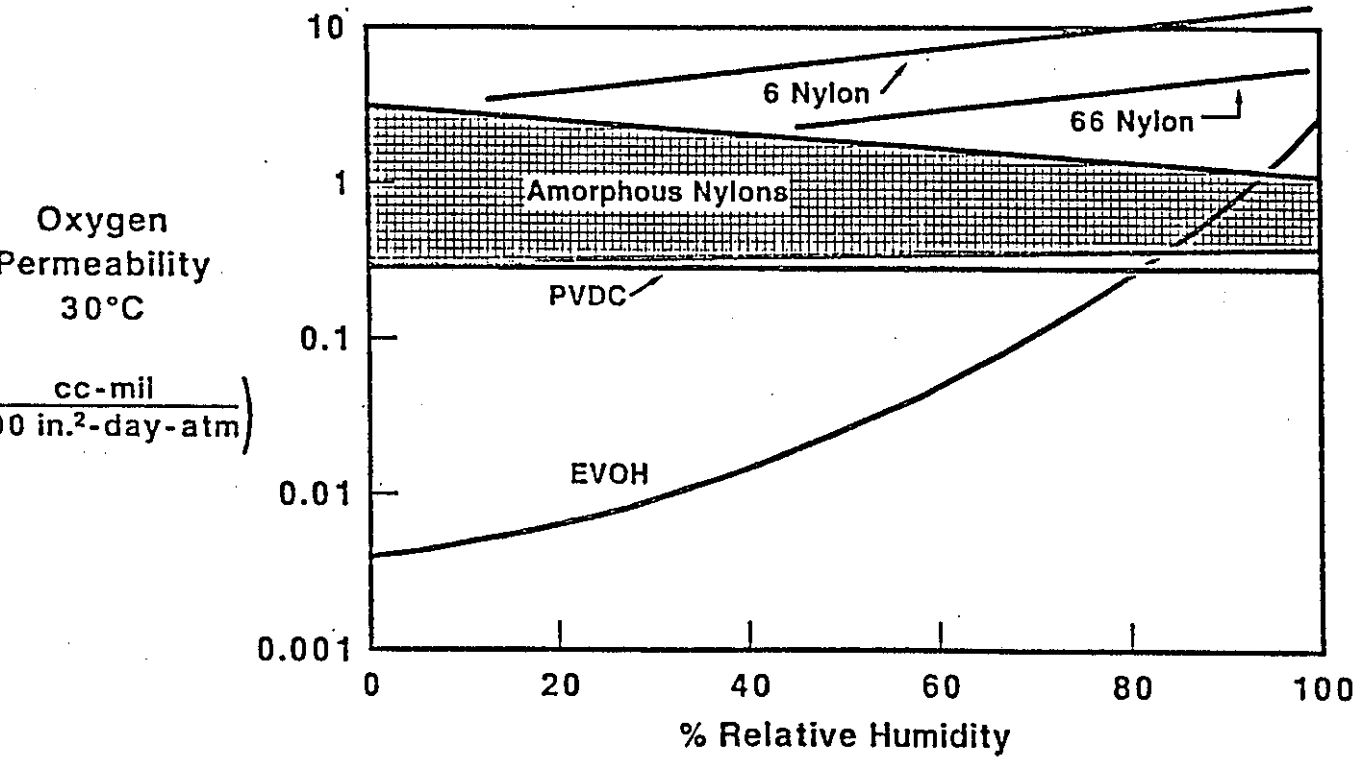
יריעה זו משמשת באריזת קפה, ב- bag in box, כשקית הניתנת לבישול (boil in bag) ולמוצרים רבים הרגישים לחמצן ולחות כמו חטיפים, וכו'. בגלל הקלות בה ניתן לעצב את החומר בחום הוא משמש גם באריזת ואקום של בשר וגבינה.

השנים האחרונות התאפיינו בעיקר בשיפור תהליכי הייצור לקבלת מוצר קל לעיבוד. פותחו מוצרים בעלי עמידות לנגיפה גבוהה יותר, בעיקר בטמפרטורות נמוכות. חידוש נוסף הוא הורדה בכושר ספיגת המים של PA ע"י תוספות אורגניות ופתוח ניילון אמורפי. הניילונים האמורפיים החדשים הנם בעלי תכונות מכניות טובות יותר בכל תחומי הלחיות. תכונות החסימה לשמנים וריחות הנם טובות יותר מאשר הניילונים הרגילים, וגם תכונת החסימה לאדי מים טובה יותר (Mapleston, 1989).

השוואה של תכונות החדירות של חומרי חסימה שונים לחמצן בתלות בלחות היחסית מתוארת בציר 11. Selar PA שפותח ע"י Dupont מתאים גם להזרקה וגם לניפוח בשיחול. תכונות המחסום לגזים מתקרבות לאלה של EVOH. השימוש העיקרי היום הנו לייצור צנצנות ומיכלים. גם חבי Mitsubishi פיתחה ניילון אמורפי (Novamid X21) בעל תכונות ספיגת מים פחותות מאלה של ניילון 6, ותכונות מחסום כמו EVOH. (Roberts, 1989).

MXD-6 הנו ניילון ארומטי (חבי טויוטה), שלמרות היותו בעיקרון גבישי בחלקו, ניתן לקבלו בצורת יריעה שקופה אמורפית ע"י קרור מהיר. הוא משמש בעיקר בקואקסטרוזיה של 3 שכבות לקבלת חיי מדף ארוכים באריזות מעוצבות בחום המיועדות לבשר וגבינות. MXD-6 ניתן לעיבוד עם PET הודות לנקודות ההיתוך הדומות של שני החומרים, כך שניתן לשחל את שניהם לקבלת הרכב רב שכבתי. הפיתוח הראשון היה לבקבוקי יין המיועדים למטוסים והמורכבים מ- 3 שכבות PET/MXD-6/PET. כיום הפיתוח הנו למיכלים במבנה של 6 שכבות PET/tie/MXD-6/tie/PET המיועדים לאריזת בירה, יין ומשקאות מוגזים. הפקק הנו ממתכת וחיי המדף ארוכים פי שלושה יחסית למיכל PET. פיתוח נוסף חדשני הנו ה- Oxbar. זוהי מערכת המורכבת מ- PET/MXD6+Metallic catalyst שהנו מלח של קובלט (ברכוז של 50-200 חל"מ). מלח ה- Co מגיב עם החמצן ומוריד את חדירות האריזה לחמצן. מתאים לשימוש במגשים של PET ובמיכלים המיועדים ליין, למיצים למינוז וכו'.

צילור 11: החדירות לחמצן של חומרים הנסמלים  
 כתלות בלחות היחסית



### LCP - Liquid Crystal Polymers.ה

בשנים האחרונות פותחה משפחה חדשה של חומרים פלסטיים על בסיס פוליאסטרס ארומטיים המיועדת בין השאר גם לתעשיית האריזה למרות שמחירם כיום גבוה ביותר. אלו הם ה-LCP - Liquid crystal polymers. הם מאופיינים ע"י מולקולות קשיחות. ניתן לערבב אותם עם תוספות ומלאנים שונים ברכוזים שונים. אחד ההרכבים מאפשר קבלת יריעה בעלת קשיחות וחוזק גבוהים מאד, עמידה בפני חומרים כימיים בעלת חדירות נמוכה ביותר לגזים ואדים ובעלת עמידות בטמפרטורות גבוהות. חומר זה קל לעיבוד הן בשיחול והן בהזרקה. (Roberts, 1989).

תכונה נוספת המאפינת חומר זה הנה עמידותו בפני ריחות והכתמה. הוא שקוף לגלי מיקרו, כך שיתכן וניתן יהיה להשתמש בו לייצור כלים למיקרוגל. מבחנים שנעשו על החומר הראו כי עובי היריעה איננו משפיע על האפקטיביות שלה כמחסום משובח ביותר וזאת כנראה הודות למבנה המולקולרי שלה. קואקסטרוזיה של LCP נותן יריעה בעובי של 2 מיקרון עם תכונות מחסום טובות מאלו עם PVDC ושל EVOH בעלי עובי של 25 מיקרון (ראה טבלה 4).

טבלה 4: השוואת תכונות חדירות של LCP עם חומרי

מחסום שונים

Resin	Permeability	
	Oxygen <sup>a</sup>	Water <sup>b</sup>
LCP, 1.9 micron	0.05 <sup>c</sup>	0.07 <sup>c</sup>
MXD-6 nylon	0.06	Not available
Acrylonitrile	0.08	5.0
EVOH	0.33	0.2
PVdC	0.5	0.2

a: cm<sup>3</sup>/mil/100 in<sup>2</sup>/day/bar  
b: g/mil/100 in<sup>2</sup>/day at 23°C  
c: 100% R.H.  
Source: Hoechst Celanese

הבעיה עד כה היתה מחירו הגבוה של הפולימר 9-30 \$/ק"ג לעומת 3 \$/ק"ג לחומרים חוסמים אחרים. אך מאחר ודרושים לפחות 10-25 מיקרון מן החומרים האחרים על מנת לקבל תכונות מחסום טובות, ואילו מ-LCP דרושים רק מיקרונים בודדים, כלכליות התהליך נראית מבטיחה.

### ג. יריעות ממותכות - Metallized films

ניתן לקבל יריעה בעלת תכונות חסימה טובות לגזים ע"י שיקוע בואקום של שכבה דקה מאד של מתכת, כמו אלומיניום, על היריעה הפלסטית. תכונות המחסום נקבעות לפי עובי שכבת האלומיניום וזו נמדדת לפי מעבר האור דרך היריעה (צפיפות אופטית - OD - Optical density). ככל שכמות האור העוברת דרך היריעה פחותה - תכונות החסימה לגזים ולמים משופרות. כן נמנע מעבר קרני UV שהנו מאיץ לחמצון וגורם לעיפוש של שומנים וחומרי טעם במזון. הפולימר הממותך הנפוץ ביותר והנותן את תכונות המחסום הטובות ביותר הנו PET. השימוש ביריעות PET ממותכות למוצרים כמו חטיפים, אגוזים, מזונות יבשים כמו קפה, מיצים ורכוזים וכ"ו גדל ומתפתח במשך השנים האחרונות. הנטיה בעולם למזון טבעי ללא תוספות הביאה את היצרנים להשתמש באריזות עם תכונות חסימה גבוהות כדי להמנע משימוש בתוספים מונעי חימצון. הלחץ הכלכלי להורדת מחירים החליף את השימוש מרדיד אלומיניום ליריעה ממותכת, וממיכלים קשיחים - לגמישים. על מנת לקבל מחסום גבוה ביותר ניתן להשתמש בשתי יריעות ממותכות כאשר הן מודבקות יחד בצד האלומיניום. בצורה זו ניתן לקבל חדירויות חמצן בסדרי גודל של 0.01 סמ"ק/סמ"ר/יום/אטמוספירה. (Camvac HB). בעית ה- flex cracking פחותה במקרה זה מאשר ברדיד אלומיניום. היריעות הממותכות עוברות למינציה לשכבה המאפשרת הלחמה בחום כמו EVA או LLDPE או פוליאולפינים אחרים. האריזות המתקבלות בשימוש ביריעות ממותכות יכולות לאפשר חיי מדף הקרובים לאלה המתקבלים בשימוש ברדיד אלומיניום. כיום ניתן למצוא יריעות ממותכות על בסיס ניילון, OPP ופוליאולפינים שונים (Mapleston, 1988; Roberts, 1989).

### ד. יריעות פלסטיות עם ציפויי זכוכית - Silicon dioxide sputtered films

לאחרונה פותחו ציפויים זכוכיתיים על יריעות פלסטיות כמו על PET. שכבת הציפוי הזכוכיתי הנה דקה ביותר והיא נעשית היום בטכנולוגיות של שקוע בואקום, קרן אלקטרוניים (electron beam) או טכנולוגית פלסמה, שהנה יותר כלכלית משקוע בואקום (Clear Foil). ע"י למינציה לקופולימר עם PP ניתן לקבל שקית הניתנת לעיקור, ומאפשרת קבלת מוצר עם חיי מדף ארוכים, המיועדת למוצרי מזון רגישים. זוהי אחת השקיות היחידות, עד כה, שהנן שקופות וניתנות לעיקור. הן גם מתאימות לחימום במיקרוגל. היתרון הגדול בחומר זה הוא שקיפות השקית וערכי החדירויות לגזים ואדי מים שאינם נפגמים בתהליך העיקור. ערכי החדירויות המדווחים הנם: לאדי

מים - 0.9 ג/מ<sup>2</sup> יום ולחמצן - 0.9 סמ"ק/מ<sup>2</sup> יום/אטמ. בשוק היפני ניתן כבר למצוא שקיות כאלה. חומרים אחרים עם ציפוי Clear Foil הם PET, CPET, PET ניילון ואחרים (Anon(3); Private Comm, 1990; Robert, 1989).

## 2.4 אריזות פלסטיות

### 2.4.1 אריזות ללא תכונות מחסום (Non Barrier)

ניתן היום לייצר הן בקבוקים והן צנצנות מ-BOPP שקוף בשיטת הניפוח בהזרקה (injection blow molding). מיכלים אלו נמצאים בתחרות עם מיכלי PET המחליפים היום במידה רבה צנצנות ומיכלי זכוכית. וכן מיכלים מ-PVC. היתרון בשימוש מיכלי PP למרות הצורך בעובי דופן גדול יותר כדי להתגבר על בעית הגמישות, הינן במחירו הנמוך יותר (כ- 1/3 ממחירי ה-PET). ל-PP גם יתרון בכך שניתן למלאו במוצר חם. הוא מהווה גם מחסום טוב לאדי מים, אך לא לחמצן. מסיבה זו מפתחים היום שיטות לצפותו ב-PVDC ו-EVOH.

שימושו העתידיים הינם במוצרים מפוסטרים, ריבות, חמוצים, רטבים, ואבקות כמו קפה או חלב. בקבוקי PVC משמשים היום לרוב לאחסון תרכיזי וכתשי פירות. הודות לתחרות עם בקבוקי PET פיתחו PVC מכוון (OPVC) בשיטת הניפוח בשיחול. לבקבוקים אלה יש שקיפות רבה יותר מבקבוקי PVC הם עמידים יותר במכה ומחירים נמוך יותר. יחד עם זאת, בגלל בעיות מיחזור והערנות הגוברת לבעיות של איכות הסביבה, קצב הפיתוח של חומרים אלה מתמתן. לעומת זאת התחזית הינה לצמיחה גדולה בשימוש בפוליסטירן מכוון (OPS) בעיצוב בחום. לחומר זה יש עמידות סבירה בטמפרטורות נמוכות, הוא שקוף וערכי חדירות הגזים דרכו הינם גבוהים, כך שניתן להשתמש בו לאחסון פירות וירקות ללא בעיות עיבוי אדי מים בקור. בקבוקי PET המיוצרים ע"י ניפוח מהוים פלח גדול בשוק המשקאות המוגזים, שמן מאכל, מיצים, סיידר ובירה. משקאות רבים נוספים מועברים לאריזה בחומר זה. על מנת לשפר את תכונות החסימה לגזים ניתן לצפות PET ב-PVDC, או לייצרו בקואקסטרזיה עם ניילון אמורפי. PET משמש וישמש לאריזות מוצרי מזון רבים שחיי המדף שלהם אינם ארוכים במיוחד, ודרישות החסימה לחמצן אינן חמורות. יש להניח שהוא יחליף אריזות PVC בצורת צנצנות ומיכלים ויהוה תחרות ל-BOPP. שקיפותו, חוזקו ומחירו עושים אותו לחומר בעל עתיד מבטיח.

### 2.4.2 אריזות עם תכונות מחסום (Barrier Packs)

על מנת לקבל אריזות הנותנות חיי מדף ארוכים, מקובל להשתמש בחומרים בעלי תכונות מחסום גבוהות לגזים, כאשר העיקריים הינם PVDC, EVOH, ניילון אמורפי, רדיד אלומיניום ויריעה פלסטית ממותכת.

למבנה רב שכבתי דרושות מספר יריעות פלסטיות שתפקידן למלא את הפונקציות השונות של חוזק מכני; תכונות מחסום, לגזים, אדי מים וארומות; כושר הלחמה והדבקה בין היריעות השונות.

טבלה מס. 5 מציינת את החומרים העיקריים המשמשים בהרכבים רב שכבתיים.

טבלה מס. 5: מרכיבים עיקריים של יריעות מרוכבות

Table 1. Key components of composite film

Component	Plastic/Material
Carrier film/ carrier layers	Polyester (PET) Polypropylene (PP) Polyvinyl chloride (PVC) Polyamide 6 (PA) Polyethylene (HDPE) Polystyrene (PS) Cellulose film
Barrier layers	Polyvinylidene chloride (PVDC) Ethylene-vinyl alcohol (EVAL) Polyvinylalcohol (PVAL) Polyacrylonitrile (PAN) Metallisation with aluminium Aluminium foil
Heat sealable layers	Polyethylene (LDPE, MDPE, HDPE, LLDPE) Ethylene-vinyl acetate copolymer (EVA) Ionomers Polypropylene (PP)
Coupling agent layers	Adhesive (adhesive lamination) Primer (extrusion coating) Ionomer, EVA, EAA, Ozone (coextrusion)

כאן אנו מבחינים בעקרון בשני סוגים של אריזות:

לסוג האחד שייכות האריזות הגמישות כמו שקיות הבנויות מיריעה רב שכבתית, או אריזות הבנויות מתחתית הניתנת לעיצוב בחום ועליה מכסה מיריעה רב שכבתית. לסוג השני שייכות האריזות הקשיחות למחצה כמו מגשים שונים עם כסויים מיריעה גמישה ואריזות קשיחות כמו בקבוקים, צנצנות ומיכלים שונים.

תחליף אריזות המוצרים באריזות עם תכונות מחסום נעשית באחת מן הצורות הבאות: מילוי ידני של אריזות מוכנות (שקיות או מגשים), מילוי חצי אוטומטי באריזות מוכנות ומילוי אוטומטי במכונות (Form/fill/FFS).



(seal) חומרי האריזה צריכים להיות מותאמים לסוג המזון, לשיטת הטיפול הטכנולוגי (תרמי, אספטי וכו') ולשיטת המילוי. להלן נציין מספר קבוצות של מוצרי מזון, שיטות הטיפול הטכנולוגי וחומרי האריזה המקובלים.

א. נוזלים ומוצרים צמיגים - הדרישה כאן הינה למחסום גבוה לחמצן, אדי מים, לארומות, ולעיתים גם לאור. דוגמאות לכך הינם יין, מיצים, רכזים, חלב עמיד, מיוז, קטשופ וכו'. בין החומרים המשמשים בייצור שקיות גמישות כמו bag in box שהחליפו במידה רבה קופסאות פת, חביות ואריזות קשיחות אחרות ניתן להזכיר:

PE/tie/EVOH/tie/PE(EVA) ; PE/tie/Met PET/TIE/PE (EVA)

PE/tie/PVDC/tie/PE; PE/tie/EVOH/tie/Nylon/PE

כן משתמשים בקרטון עם רדיד אלומיניום ושכבת PE בקומבינציות שונות.

יש להזכיר כאן את הבקבוקים שפותחו לאריזת קטשופ, בקבוק הגאמא שפותח ע"י American Can והרכבו

PP/tie/EVOH/tie/PP. ניתן למצוא היום הרכבים של PP/tie/PVDC/tie/PP שפותחו ע"י Metal Box -

ה-"Lamicon". בקבוק בהרכב זה ניתן למלא עם מוצר חם (עד 95 מע"צ). חדירותו לחמצן נמוכה, הוא קל, איננו שביר וניתן ללחיצה. הרכבים אחרים למטרות אלה:

HDPE/Regrind/tie/EVOH/tie/HDPE; PC/tie/EVOH/tie/PP;

בבקבוקים אלה ניתן להשתמש לרטיבים, ריבות וכו'. (Hisken, 1989; Roberts, 1989).

## ב. אבקות

אבקות כמו אבקת חלב, קפה, אבקת תפוחי אדמה וכו', רגישות לחמצן ואדי מים, לכן מקובל לארוז אותן באריזות עם מחסום לחמצן ואדי מים. יריעות עם EVOH או PVDC מתאימות למטרות אלו.

## ג. מילוי חם ופסטור באריזות פלסטיות

מוצרים מסוימים יש למלא חם לתוך האריזה על מנת למנוע זהום מיקרוביאלי ולהאריך חיי מדף. על היריעה או האריזה הקשיחה לעמוד בדרישות הטמפרטורה הגבוהה ועל התפרים ואזורי החיבור להיות בעלי חוזק מתאים. אריזות אלה משמשות היום למשקאות מפירות, רטבים מפירות, רוטב שוקולד, ארוחות מוכנות וכו'. היריעות המשמשות למטרות אלו הינן בדרך כלל עם שכבת מחסום, לדוגמא:

PP/tie/PVDC/tie/PP; PET/tie/Polyarylate/tie/Pet;

Nylon/tie/EVOH/tie/PP; PP/tie/Met Pet/tie/PP

## ד. אריזה אספטי

מוצרים העוברים פיסטור או עיקור וממולאים בצורה סטרילית ובטמפרטורות נמוכות לתוך אריזות סטריליות הנם מוצרים אספטיים. מוצרים כאלה נחשבים כבעלי איכות טובה יותר מאשר מוצרים שמולאו חם לאריזה.

על האריזות המיועדות למוצרים אלו להיות סטריליות. מקובל לעקר את האריזות בקרינת גאמא ובקרינת UV או ע"י שמוש במי חמצן (Erickson, 1989; Hinsken, 1987). השמוש במוצרים אספטיים התפתח מאד בשנים האחרונות, ובין אלה ניתן למצוא מיצים, רכזים, חלב ומוצרים, פודינגים, מרקים, תבשילים לסוגיהם, מוצרים רפואיים וכד'.

האריזות המשמשות למוצרים אלה הינן בעלות מחסום גבוה לחמצן ודרישות הסגירה (התפרים והמכסה) הן חמורות ביותר. הן יכולות להיות גמישות כמו ב- bag in box או קשיחות למחצה כמו קרטוניות, צנצנות, גביעים וכו'. בין החומרים המשמשים לייצור אריזות אלו ניתן להזכיר:

PE/Met PET/PE; PE/Met PET/Met PET/PE; Nylon/Met PET/Surllyn; PS/EVOH/PE  
הפולימר ישנם שכבות חיבור (tie layer).

לאריזה אספטית של מוצרי חלב, כמו יוגורטים וחלב מרוכז ההרכבים המקובלים הינם PS/EVOH/PE חיי המדף בטמפרטורת החדר הינם 3-6 חודשים.

מילוי אספטי של מיצים לתוך בקבוקים רב שכבתיים שהוכנו ע"י ניפוח נותן חיי מדף של חדשיים ויותר. החידוש כאן הוא בשיטת ניפוח הבקבוק הנותנת אריזה סטרילית כך שאין צורך להשתמש בחומרים מחטאים (Larson, 1989).

#### ה. אריזת מוצרים העוברים עיקור בחום

חיי מדף ארוכים של מוצרי מזון ניתן לקבל ע"י עיקור בחום בטמפרטורות 121-35 מע"צ. בתהליך זה מושמדת כל המיקרופלורה המהווה מקור לקלקול המזון.

עיקור מזון בחומרים פלסטיים לקבלת מוצרים בעלי חיי מדף ארוכים (shelf-stable), הינו חדש יחסית ותפס תאוצה רבה בשנים האחרונות, כאשר המטרה הינה להחליף קופסאות שימורים או צנצנות זכוכית ולקבל מוצר שהטפול התרמי שלו קצר יותר כך שאיכותו משופרת, משקל האריזה קטן יותר, היא תופסת נפח קטן יותר, ונוחה לחימום במיקרוגל. בגלל הטמפרטורות הגבוהות בשעת העיקור, על האריזות להיות עמידות בתנאים אלה, כלומר בעלות חוזק מכני, חוזק תפריים ואטימות המכסה. עליהן לעמוד בתנאי טלטול, הובלה ובתנאי אחסון וכן עליהן להיות בעלות תכונות מחסום לחמצן ולאדי מים כך שניתן יהיה לקבל חיי מדף ארוכים.

גם כאן ניתן להבחין בין שקיות גמישות - שקיות הניתנות לעיקור (retortable pouch) ובין אריזות חצי קשיחות כמו מגשים עם מכסה. ההרכבים המקובלים הינם PP/barrier/PP במספר שכבות (4-9) כאשר המחסום הינו EVOH או PVDC. יש הרכבים של 6-7 שכבות הכוללות גם שכבה של חומר ממוחזר, וכמובן שכבות של דבקים המאפשרות חיבור בין השכבות השונות. כאשר משתמשים במגשים, המכסים הינם בהרכבים שונים כמו Oriented Nylon/MXD-6/OPP; PE/ALfoil/EVA וכו'.

באריזות חצי קשיחות (מגשים וקופסאות) ניתן היום למצוא מזון לחתולים וממרחים שונים כאשר הרכב המגש הינו PP/PVDC/PP ב-6 שכבות (השם המסחרי של המערכת הטכנולוגית הכוללת אריזה, ריקון והלחמה הוא Lamipac). המוצר ממולא למגש הנסגר בואקום ועובר את תהליך העיקור המקובל. זהו מוצר עם חיי מדף של 24 חודשים, וניתן לחממו במיקרוגל. המכסה מתקלף והרכבו PET/AL/PP. (Roberts 1989).

חברת Hormel האמריקאית משתמשת בהרכב דומה (PP/PVDC/PP) בן שכבות לשורה של מוצרי בשר המכונים "Top shelf". למוצרים אלו יש מכסה easy open שגם הוא במבנה רב שכבתי וחיי המדף המוצהרים - 18 חודשים. כן ניתן למצוא ארוחות דגים עם חיי מדף של 12 חודשים (Anon(4), 1989). בין היתרונות של אריזות אלה יש להזכיר את העובדה שהם ניתנים לחימום במיקרוגל.

התחזיות מורות על עליה רבה במוצרים "עמידים מדף" (shelf stable) הניתנים לחימום במיקרוגל (Anon(8), 1989; Hinsken, 1989).

בין הבעיות העיקריות במערכת מורכבת זו יש להזכיר את בעית האיטימה של המכסה למגש, שינוי החדירות של המגש בזמן העיקור כתוצאה מספיגת מים ע"י ה-EVOH ועוות החומר הפלסטי בזמן העיקור. ההתמודדות והנסיגות לפתור בעיות אלה ממשיכות ותמשכנה להוות חלק מן המאמץ המושקע בפיתוח.

(Vacuum Skin Packaging)

### ג. אריזה בואקום

אריזה בואקום של מוצרי מזון התפתחה מאד בשנים האחרונות. צורה זו של אריזה מאפשרת להאריך חיי מדף של מוצרים מכילי שומן הרגישים לחמצן, וכן כאלה שחמצן משפיע על צמיחה של חיידקים הגורמים לקלקול המזון. ע"י סילוק החמצן מן המוצר והאריזה ניתן להאריך חיי המדף שלו. לדוגמא, אריזה בואקום של בשר ומוצריו, גבינה, קפה ואגוזים לסוגיהם. חומרי האריזה צריכים להיות בעלי תכונות מחסום טובות והמקובלים הינם קומבינציות שונות של PA/PA/PE PA/PE. כן מקובלת היום שיטת ה-VSP (Vacuum Skin Packaging) בה אורזים מוצרי בשר במגש חצי קשיח העשוי מ-Met PET, ומכוסה ביריעה בעלת תכונות מחסום. היריעה נצמדת למוצר לאחר ריקון האויר ונותנת לו צורה אסתטית יפה ומונעת את יציאת הנוזלים (Hinsken, 1987). חומרים כמו PE/EVOH/PE או אולפינים עם תוספים הנותנים לו את תכונות ה-Skin משמשים למטרה זו.

נזכיר את שיטת ה-Sous Vide הצרפתית שבה אורזים בואקום מזון טרי או מבושל חלקית ומשלימים את תהליך הבשול בטמפרטורה של 65-90 מע"צ במשך 2-9 שעות בהתאם לסוג המזון. לאחר מכן מקררים את השקיות לטמפרטורה הנמוכה מ-10 מע"צ במשך שעתיים. שיטה זו מאפשרת חיי מדף של 6 ימים עד 3 שבועות בתנאי קרור של 3 מע"צ (Hrdina-Dubsky, 1989).

### ז. אריזה באוירה מבוקרת או חילופית - CAP/MAP - Controlled/Modified atmosphere

אריזה באוירה מבוקרת או חילופית של מוצרי מזון ללא הוספת חומרי שימור תפשה תאוצה רבה בשנים האחרונות (Gilles, 1989; Zagory & Kader, 1988). במקום להוסיף חומרי שימור, האוירה סביב המוצר משמשת בתפקיד "השימור". בעיקרון, מחליפים את האוירה סביב המוצר בתערובת גזים מתאימה ובצורה זו מאיטים תהליכי קלקול, שומרים על איכות המוצר ומאריכים חיי מדף שלו. מבחינים כאן בשתי דיסציפלינות: קבוצה אחת הנה של מוצרים נושמים כמו פירות וירקות טריים, שלמים וחתוכים, וקבוצה שניה הכוללת מוצרי מזון לא נושמים כמו בשר ומוצרים מבושלים.

I. פירות וירקות טריים הנם מוצרים נושמים. ע"י הקטנת קצב נשימתם ניתן להאריך את חיי המדף שלהם. ניתן לעשות זאת ע"י אריזתם ביריעות פלסטיות בעלות חדירות סלקטיבית לגזים (חמצן,  $\text{CO}_2$  ואדי מים). כן ניתן להוריד את ריכוז החמצן באריזה ולהעלות את ריכוז ה- $\text{CO}_2$  הנוצר כתוצאה מנשימת הפרי. ערכי החדירויות של הגזים השונים לתוך האריזה והחוצה ממנה תלויים בסוג היריעה, סוג המוצר, הטמפ. והלחות היחסית. המטרה הסופית הנה להשיג מצב של שווי משקל דינמי כאשר ריכוזי ה- $\text{CO}_2$  והמים נבנים לערך מסוים, ריכוז החמצן יורד וקצב הנשימה קטן. חדירות היריעה צריכה להיות כזו שיתאפשר חילוף חמצן במקום זה המתכלה בנשימה, ובמקביל יציאת  $\text{CO}_2$  כדי למנוע נשימה אנאירובית הגורמת לקלקול מהיר. מערכת כזו של שווי משקל ניתן לראות בציר 12.

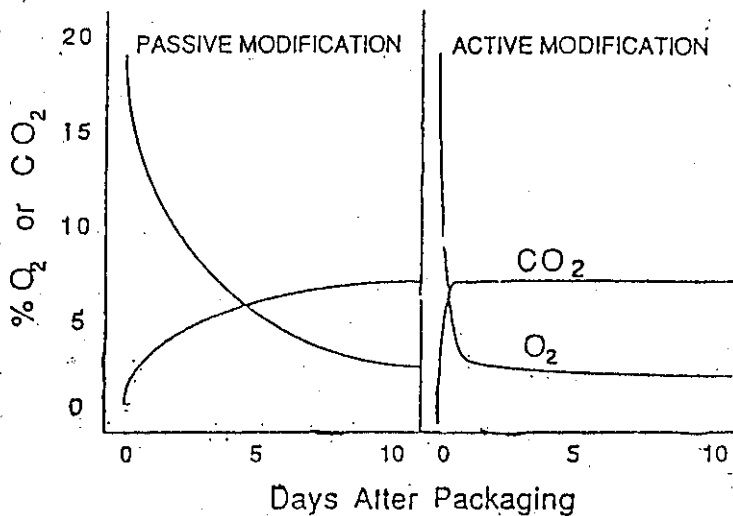


Fig 12 . Relative changes in  $\text{CO}_2$  and  $\text{O}_2$  concentrations during Passive and Active atmosphere modification.

זוהי בעצם מודיפיקציה פסיבית (Passive modification) לקבלת אוירה מבוקרת (Labuza & Breene, 1989; Zagory & Kader, 1988).

במקרים בהם קצב ההגעה לשווי משקל הנו איטי ניתן להשתמש בשיטה האקטיבית (Passive modification) בה מוחלפת האוירה בתוך האריזה בתערובת גזים בריכוזים הרצויים, וכך מתקבל שווי המשקל מהר יותר (ציור 12).

וויסות נוסף של כמות החמצן, ה-  $CO_2$  והמים יכול להעשות ע"י הכנסת שקיות עם חומרים הסופגים את הגזים הללו, כמו "Ageless" לחמצן והשימוש באלה הולך וגובר.

אתילן ידוע כמזרז קצב הבשלה של פרי טרי. על מנת להאיט קצב זה ניתן להשתמש בחומרים סופגי אתילן. היריעות הפלסטיות המתאימות למטרות האלו הינן בד"כ יריעות שאינן חומרי מחסום (non barrier), בעלות חדירויות גבוהות מאוד לגזים ואדי מים, והבעיה העיקרית הנה למצוא את היריעה שתתן יחסים אופטימליים לחדירויות חמצן,  $CO_2$  ואדי מים. החומרים המקובלים בשימוש הנם: יריעות PVC בעוביים של 15-25 מיקרון, K-resin (קופולימר של בוטדיאן-סטירן), סוגים שונים של BOPP, PE וכו'. ירקות ופירות הנארזים היום באריזות פלסטיות סלקטיביות הם: חסות, פטריות, פלפלים, עגבניות, ברוקולי, חצילים, גור, תירס, בצל, פרחים, תות שדה, דובדבנים וגרגרים (berries) שונים, תפוחים ואגסים, שעועית ועוד (Anon(4), 1989; Erickson, 1989).

לקבלת אוירה אופטימלית במערכת מוצר אריזה מתכננים היום "Smart films" (Roberts, 1989; Sneller, 1986).

המטרה הנה שהיריעות יגיבו לשינויים בריכוזי הגזים באריזה, ויורידו או יעלו את ריכוז הגז בצורת דיפוזיה או ע"י ספיגה כימית. ניתן לעשות זאת ע"י הכנסת חומרים מסוימים לתוך היריעה עצמה המאפשרים וויסות של הגזים. לדוגמא "Ventflex" המשמש באריזות נבטים הנו למינט של PET/PE המאפשר לעודף  $CO_2$  לעבור דרך תעלות ביריעה הפנימית החוצה, וע"י כך מווסת את כמות ה-  $CO_2$  באריזה. יריעה מסוג אחר שפותחה ביפן ומשמשת לאריזות פירות וירקות מבוססת על פוליאאתילן עם תוספת קרמית (מינרלים טבעיים) הסופגת אתילן ומאיטה את תהליך ההבשלה.

קיימות יריעות, מנוקבות בנקבים בגדלים שונים ובצפיפות שונה המאפשרות וויסות החדירות לגזים, ובהתאמה קצב הנשימה של פירות וירקות. יריעות מ- PVC, OPP ו- PE מתאימות למטרות אלה.

הוספת חומרים סופגי חמצן,  $CO_2$ , אדי מים ואתילן בצורת שקיות קטנות המכילות את החומר סופג הגז והמוכנסות לתוך האריזה עצמה, גם הן תופשות תאוצה.

## II. מזונות לא נושמים (Non respiring foods)

בקטגוריה זו של מזונות, נכללים מוצרים מוכנים ומבושלים, מוצרי מאפה, מוצרי פסטה, מוצרי בשר, דגים וירקות מבושלים, וכן בשר ודגים מקוררים או קפואים. האוירה סביב המוצר איננה בתחלופה עם האוירה מחוץ למוצר וחומרי האריזה המיועדים למטרה זו הינם בדיכ בעלי מחסום גבוה לגזים. גורמים כמו פעילות מים, pH ונוכחות תוספים משפיעה על בחירת המערכת המתאימה. תערובת הגזים ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ) המוחדרת לאריות מוצרים אלו שונה ממוצר למוצר ותלויה בגורמים רבים.

**בבשר אדום**, לדוגמא, אנו מבחינים באריזה בואקום המאפשרת הארכת חיי מדף עד ל- 4 שבועות, או בשטיפה בתערובת גזים המאריכה חיי מדף עד ל- 10 ימים ויותר, כאשר הבשר בקרור. תערובות הגזים המקובלות הן:  $80\% \text{O}_2 / 20\% \text{CO}_2$ ;  $35\% \text{N}_2 / 20\% \text{CO}_2 / 45\% \text{O}_2$ ; במוצר זה שני הגורמים החשובים ביותר הם שמירה על צבע אדום ושמירה על רמה מיקרוביאלית נמוכה (Mapleston, 1988). (Young et al, 1988) קיימות היום שיטות כמו ה- "Survac" של Dupont בהן אורזים את חלקי הבשר ביריעה חדירה ומעליה VSP (Vacuum Skin Pack) (יריעת מחסום והפעלת ואקום). לבשר המקורר יש חיי מדף של 5 שבועות, אך אז צבעו הופך לסגול. עם סלוק אריות המחסום, צבע הבשר חוזר לאדום הודות לחדירת חמצן דרך היריעה הפנימית (Mapleston, 1988). בשיטה הצרפתית "Verifrais", הבשר ארוז במגש ונשטף בתערובת גזים. בתחתית המגש ישנה שקית המכילה תערובת מלחים, וכשזו באה במגע עם נוזלי הבשר נוצרים גזים כמו בתערובת הראשונית (המכילה  $\text{CO}_2$ ), ואלה שומרים על הרכב קבוע באריזה. חיי המדף של בשר טרי מקורר במערכת כזו הנם כ- 3 שבועות.

**דגים טריים** הנם מוצר המתכלה בקצב מהיר ביותר.  $\text{CO}_2$  אפקטיבי במניעת גידול חיידקים, וחנקן - במניעת חמצון, בפרט בדגים בעלי אחוז שומן גבוה. נמצא כי ניתן להכפיל את חיי המדף של דגים עיי שמוש באוירה מבוקרת. הרכב הגזים נקבע לפי רכוזי השומן בדג. חומרי האריזה המשמשים למטרות אלה הנם חומרי מחסום לגזים.

**במוצרי אפיה** אחת הבעיות הרציניות הנה התפתחות עובש והתישנות (Staling). השמוש באוירה מבוקרת הולך ומתרחב, מאחר ושיטה זו מאריכה חיי מדף של מוצרים אלה פי כמה. בהרבה מדינות, בפרט באירופה וגם בארץ ניתן היום למצוא מוצרי אפיה באריות מחסום שנשטפו בתערובת  $\text{CO}_2 / \text{N}_2$  או ב-  $\text{CO}_2$  בלבד. בצורה זו נמנע גידול עובשים, וחיי המדף יכולים להיות שבועות וחודשים. הפוטנציאל לפיתוח הוא רב בגלל הצלחת התהליך. (Avital et al, 1989; Mapleston, 1988).

ניתן למצוא היום מוצרים רבים אחרים באריזות Modified Atmosphere Packaging - MAP. ביניהם ניתן למנות גבינות, אטריות טריות בקרור, ארוחות בשריות מוכנות, תבשילים מבצק ובשר, פיצות, וכיו"א (Anon, 1989).  
 (5) האפשרות לחמם את הארוחות המוכנות במיקרוגל נותנת פוטנציאל רב לתהליך.  
 CAP/MAP הנה טכנולוגיה מתפתחת בקצב מהיר והתאמתה ופיתוח חומרים, הן ממשפחת היריעות הרב שכבתיות בעלות תכונות מחסום לגז, והן "יריעות חכמות" המתאימות לפירות וירקות נושמים, יאפשרו לישמה למספר רב של מוצרי מזון.

### ח. אריזות לתנורי מיקרוגל

עם הגידול העצום בשימוש במיקרוגל במשקי הבית, השינוי במנהגי האכילה ומעבר למזונות נוחות (Oven-to-table convenience foods), היה צורך להתאים את חומרי האריזה כך שניתן יהיה להשתמש בהם גם למיקרוגל וגם לתנור רגיל, או רק לתנור מיקרוגל. בין אלה ניתן להבחין בין אריזות אקטיביות ופסיביות, המתאימות להקפאה, לקרור ובעלות חיי מדף ארוכים- עמידים (Shelf-Stable).  
 מאחר וכבר היה דיון באריזות השונות, יוזכרו כאן רק במספר משפטים החומרים העיקריים המשמשים לאריזות מיקרוגל.

I. אריזות קרטון מצופה PET. אלה מגשי קרטון המצופים בשכבה דקה של PET. הם שקופים למיקרוגל וניתן להשתמש בהם גם בתנור רגיל עד לטמפ. של 220 מע"צ. חומרים אלה הנם בעלי חוזק מכני ועמידות במכה עד ל- 40 מע"צ. השימוש העיקרי בהם הנו למזון מקורר וקפוא (Roberts, 1989).

II. פוליאסטר אמורפי (APET) עדיין משמש למגשים למיקרוגל הודות להופעתו הנאה ושקיפותו, אך שימוש יורד כי איננו מתאים לתנור רגיל.

III. CPET חומר זה משמש הן לתנורי מיקרוגל והן לתנור רגיל (ראה דיון בפרק PET), והתחזית הנה לצמיחה רבה בשימוש בו, בגלל תכונותיו, מחירו והאפשרות להשתמש בו מספר פעמים. ניתן ליצרו בגדלים וצורות שונות, בשילוב עם מכסים מתקלפים. השימוש המירבי הנו למזון מקורר וקפוא. בחומר זה יש התפתחויות מתמידות במטרה להעלות את תחום הטמפ. בו יעמוד המגש בתנור רגיל, והן התפתחויות בטכנולוגית העיצוב בחום.

### IV. חומרים אחרים

השימוש במגשי אלומיניום למיקרוגל ירד בגלל הדעה הרווחת שאיננו מתאים לשימוש במיקרוגל כי הוא גורם ניצוצות. מספר חברות מצפות את האלומיניום בחומר פלסטי ובכך נמנעת התפרקות חשמלית והוצרות ניצוצות ושריפות. כאשר היעוד הנו מיקרוגל בלבד ישנם חומרים אחרים המתאימים למטרה זו. לדוגמא, כאשר המוצר

איננו מכיל הרבה שומן, ניתן להשתמש במגשי HDPE ובעיקר PP כי הטמפ. לא עולה על 100 מע"צ. חברת GE פיתחה מגש המיועד למיקרוגל בלבד והעשוי מתערובת של פולי סטירן (HIPS) ופוליפנילן אוקסיד (PPO) הנקרא "Noryl". המגש הנו חזק, ועמיד בטמפ. גבוהות יותר (עד 110 מע"צ) מאשר מגש ה-CPET. ניתן למצוא מגשים המיועדים למיקרוגל ותנור רגיל ומיוצרים מתערובת PP, מלאנים ותוספים שונים. המגשים עמידים בטמפ. מ-40 עד 200 מע"צ, בדומה ל-CPET בעלי עמידות למכה. כן ניתן למצוא מגשים שפותחו ע"י חברת GE עשויים מ-PC/PE ועמידים לטמפ. מ-40 עד 230 מע"צ- "Dualon" ובעלי עמידות למכות. (Roberts, 1989).

#### V. אריזות למוצרים בעלי חיי מדף ארוכים (Shelf Stable)

כאן ניתן למצוא (ראה פרק 2.4.2) מוצרים באריזות פלסטיות הניתנות לעיקור והמיועדות למיקרוגל בלבד. המגש עשוי בד"כ משכבות של PP/EVOH/PP או (PP/PVDC/PP עם שכבות חיבור) והמכסה המתקלף הנו מ-Alfoil/PP.

#### VI. אריזה "אקטיבית"

מאחר ובמיקרוגל לא ניתן לקבל השחמה של מוצרים, כמו מוצרי אפיה, מוצרי בצק וכד', להם נדרשת טמפ. גבוהה לשם השחמה, החלו לפתח קולטנים (susceptors) לאריזה שיאפשרו את תהליך ההשחמה. חומרים אלה מבוססים על למינט של PET ממותך עם ניר או קרטון. חלק מאנרגיית המיקרוגל נספגת ע"י היריעה הממותכת (עד לטמפ. של 200 מע"צ) ומוליכה את החום למוצר כך שהאחרון מתחמם מספיק כדי לגרום להשחמת המזון (Mapleston, 1988, Roberts, 1989). חומרים נוספים שנבחנו היום במקום ה-Al הם פלדת אל חלד. הבעיה הקיימת עם הקולטנים הנוכחיים היא שהם אינם אמינים. לעיתים הם מתחממים יתר על המידה וגורמים לחריכת המוצר ובמקרים אחרים - מתחממים לטמפרטורה מסוימת, נהרסים ומפסיקים לחמם את המוצר ואז כמובן אין מתקבלת פריכות או השחמה. קולטן מסוג אחר מבוסס על הכנסת פתיתי אלומיניום לתוך החומר הפלסטי. הפתיתים סופגים את האנרגיה, וגורמים לאריזה להתחמם ולהשחים את המזון. פיתוח אחר הנו קואקסטרוזיה של פוליארילט עם פתיתי אלומיניום המשמש לציפוי באקסטרוזיה על קרטון המיועד להחליף PET ממותך. פיתוח נוסף הנו של מגש אלומיניום ומכסה פלסטי המכיל מרכיבים מתכתיים. ההרכב הנייל והמרווח בין המכסה והמגש גורמים לחמום מקומי ולהשחמה.

שיטה לבקורת טמפרטורה הנה להשתמש בחומר פרומגנטי כמו קובלט, ניקל, ברזל ונתכים שלהם המאבד את המגנטיות שלו בטמפ. גבוהה מספיק ואז מפסיק להתחמם. לאחרונה הועלתה האפשרות של נדידת חומרים בלתי רצויים מן הקולטנים אל המזון המחומם במיקרוגל. אך ההנחה הנה שמכיון שזמן החימום הוא קצר



ביותר, בעית הנדידה הנה זניחה. למרות זאת, בעית הנדידה עלולה להיות קיימת, ופותרו ומפותחות שיטות על מנת להוכיח ולהבטיח כי אכן הקולטנים הנם בטוחים מבחינת נדידת חומרים זרים. (Erickson, 1989).

תחזית הצמיחה לסוגי המזון השונים המיועדים למיקרוגל מובאים בטבלה 6.

טבלה מס. 6: תחזית סוגי המזון השונים במיקרוגל

<b>U.S. RETAIL MICROWAVABLE FOODS</b> (by meal type)			
(in millions of units)	1990	1992	1994
Frozen meals	2,159	2,348	2,544
Refrigerated meals	120	310	448
Dry packaged meals	131	380	552
Moist, shelf-stable	438	804	1,173

Source: Packaging Strategies (West Chester, Penn.).

### 3. כווני התפתחות מומלצים לתעשיית האריזה הפלסטית בארץ

מעיון בכווני ההתפתחות ודרישות בעולם בתחום של אריזות פלסטיות, מסתמנים מספר שטחים בהם נדרשת ורצויה התפתחות בארץ בתחום של מחקר ו/או פיתוח ויישום.

#### 3.1 אריזות רב שכבתיות

אריזות אלה כוללות יריעות, מגשים, בקבוקים ומיכלים כאשר טכנולוגית הכנתם היא למיניציה או קואקסטרוזיה מלווים בעצוב תרמי או נפוח. מבחינת החומרים המשמשים להכנת השכבות הרב שכבתיות ניתן להבדיל בין:

##### א. הרכבים שכבר קיימים ומקובלים בשוקי העולם:

יריעות המתקבלות בלמיניציה של פוליאסטר או פוליאסטר ממותך או ניילון עם פוליאטילן. יריעות המורכבות מפוליאולפינים (בעיקר פוליאטילן ופוליפרופילן) וקופולימרים של אתילן - ויניל אלכוהול (EVOH) כאשר שכבת הקופולימרים נמצאת בין שתי שכבות של הפוליאולפיין. היריעות לעיל מקובלות וגם מיוצרות בארץ.

##### מגשים העשויים מפוליאסטר (פוליאטילן תרפתאלאט) CPET.

מגשים העשויים מפוליאולפינים (בעיקר פוליאטילן ופוליפרופילן) או פוליסטירן עם קופולימרים של אתילן - ויניל אלכוהול הקבורים בין שתי שכבות. מגשים מסוג זה מתקבלים ע"י קואקסטרוזיה של השכבות השונות ללוח, מלווה בעצוב תרמי לצורת מגש. מגשים אלה הנם חדשים יחסית בארץ אך כבר הוחל בהחדרתם לשוק. במקביל נערך מחקר לצורך חזוי חיי המדף של מוצרי מזון הארוזים בהם.

בתחום של בקבוקים או צנצנות רב שכבתיים (כולל אלה המורכבים מההרכבים המקובלים בעולם - פוליאולפיין/EVOH/פוליאולפיין), אין היום ייצור בארץ אף כי ידוע לכותבי הדו"ח כי מפעל אחד רכש מכונה שתאפשר ייצור בקבוקים רב שכבתיים מסוג זה.

אף כי ניתן לקבל נתונים על חיי מדף של מוצרים מסוימים (כמו קטשופ) הארוזים בבקבוקים רב שכבתיים, להערכתנו דרוש מחקר שיאפשר הרחבת השימוש בבקבוקים אלה למוצרים נוספים כמו רטבים, יינות, בירה ומוצרים אחרים.

### ג. הרכבים חדשים

הרכבים אלה מכילים יריעות המורכבות מפוליאולפיין עם ניילונים שונים, כולל ניילון אמורפי, המתקבלות בקואקסטרזיה ומשמשות בין היתר גם ל- (Vacuum Skin Packing) VSP - שיטה שהתפשטה בשנים האחרונות בעיקר לאריזות מוצרי בשר. חלק מיריעות אלה מייצרים גם בארץ. כמו כן מכילים (או יכולים להכיל) ההרכבים הרב שכבתיים לוחות המתקבלים בקואקסטרזיה מהם מכינים, בעצוב תרמי, מגשים או כוסות העשויים מפוליאסטר (פוליאיתילן תרפתאלאט) בצורתו האמורפית (APET) ובצורה המגובשת (CPET) עם EVOH ועם ניילונים מסוגים שונים, כולל ניילון אמורפי, פוליקרבונט עם EVOH או עם פוליאתר אימיד (Ultem)-לעמידות טובה בטמפרטורות גבוהות.

אין עדיין יצור בארץ של אריזות מתקדמות אלה אף כי באחד המפעלים קיימת הערכות לקראת התחלת ייצור חלק מההרכבים לעיל. לא ידוע על הערכות מקבילה לייצור הרכבים מתקדמים אלה לצורת בקבוקים וצנצנות. בנושא האריזות הרב שכבתיות המתקדמות, שצופים להן שוק אדיר בעתיד, הידע על האינטראקציה בין האריזות לבין מוצרי המזון הארוזים בהן מועט ביותר, גם בעולם, וחשוב לחקור נושא זה כדי לנצל עד מכסימום את יתרון הגדול והפוטנציאל הטמון בהן.

### **3.2 אריזה באוירה חלופית MAP - Modified Atmosphere Packaging**

בעולם הולך ומתפשט השימוש באריזות בהן האויר הוחלף בתערובת גזים מתאימה כדי להאריך חיי מדף של מוצרי מזון, בעיקר פירות וירקות טריים, סלטים ומוצרי מאפה ותבשילים למיניהם. לאריזות פירות וירקות משתמשים ביריעות פלסטיות בעלות מחסום נמוך לגזים שהינן סלקטיביות למעבר גזים שונים כך שהפרמאביליות לדו תחמוצת הפחמן, למשל, גבוהה בהרבה מזו לחמצן. לעומת זאת למוצרים האחרים משתמשים באריזות בעלות מחסום גבוה לגזים לאחר שהאויר באריזה הוחלף בתערובת גזים מתאימה. אף כי הנושא חשוב מאד למטרות מחקר,

אין זה מומלץ שגורמים בישראל יכנסו לפתוח יריעות פלסטיות בעלות פרמאביליות סלקטיבית לגזים שונים בגלל ההשקעה הגדולה והזמן הרב הנדרשים לפתוח פולימרים חדשים.

### **3.3 קולטי קרינה פלסטיים לתנור מיקרוגל**

השימוש בתנור מיקרוגל להכנה וחמום של מוצרי מזון מתרחב היום בקצב מואץ בכל העולם. היתרון הגדול בתנור זה הוא מהירות חימום המזון, ואילו החסרונות הם חוסר אחידות בטמפרטורת המוצר המתחמם והעדר האפשרות לקבל פריכות והשחמת המוצר. כדי להתגבר על בעיה זאת החלו לפתח בעולם קולטי קרינה פלסטיים (קולטנים - Susceptors) המבוססים על פוליאסטר ממותך בשכבה דקה של אלומיניום המודבק לקרטון.

אולם עד כה קולטנים אלה אינם מתפקדים כראוי. הנושא של קולטני קרינה פלסטיים הנו בעל חשיבות ופוטנציאל גדולים מאוד ומפעל שיצליח לפתח קולטן טוב, לבטח יזכה בנתח גדול משוק מתפתח זה. התפקוד של קולטן הקרינה הפלסטי תלוי בסוג הפולימר המשמש ביריעה וגם בסוג המתכת (או הנתך) המשמשת למיתוך. אולם אין בנושא זה כל אינפורמציה בספרות. בארץ אין עד כה מפעל המייצר קולטנים לתנור מיקרוגל אף כי יש מפעל שממתך יריעות פלסטיות באלומיניום. בגלל החשיבות והפוטנציאל של הנושא, מומלץ לחקור לעומק את נושא הקולטנים הפלסטיים (מחקר פרלימינרי נערך בטכניון) וחשוב כי מפעל יערך לייצור קולטנים אלה בגלל הדרישה הגדולה למוצר זה בעולם.

הטכנולוגיה בה מיוצרים הקולטנים הפלסטיים כיום היא איוד בואקום של המתכת על היריעה הפלסטית המגולגלת מגליל אחד למשנהו לפני ולאחר המיתוך בהתאמה, ולאחר מכן הדבקת היריעה הממותכת על קרטון בשיטת הלמינציה. מכאן שלשם ייצור הקולטן הפלסטי דרושים, לפי המבנה הנוכחי של המפעלים בארץ, שלושה יצרנים: יצרן היריעה, המפעל הממתך ומפעל הלמינציה. עובדה זאת עלולה לגרום לקשיים ויש מקום לשקול את האפשרות שמפעל אחד יבצע את שלושת התהליכים. ארה"ב היא הארץ המתקדמת ביותר בנושא של שמוש בתנור המיקרוגל הביתי וגם בנושא של יצור קולטנים לתנור זה. אירופה וישראל מפגרות במידה ניכרת בנושא אחר ארה"ב. לישראל יש יתרון יחסי בפתוח ויצור קולטנים כאלה הן בגלל העובדה ששלושת התהליכים הנוצרים ליצור הקולטנים קיימים בארץ, הן בגלל הידע המחקרי שפותח בטכניון (למרות שידע זה הנו בינתיים מוגבל ולא מספיק מעמיק) והן בגלל פוטנציאל היצוא של קולטנים אלה, במיוחד (אף כי לא רק) לאירופה. יש מקום לחקור קולטנים שיהיו מבוססים על יריעות השונות מ- PET ומתכות השונות מאלומיניום בלבד.

#### **3.4 מחזור אריזות פלסטיות**

הנושא של מחזור אריזות פלסטיות קיבל בשנים האחרונות חשיבות יתר בכל העולם בגלל ההקטנה בשטחים הפנויים להשלכת הפסולת מצד אחד ובגלל הדרישה ההולכת וגוברת בשמירה על איכות הסביבה מאידך. בעולם הושקעו ומושקעים משאבים ותקציבים רבים גם למחקר וגם ליישום של מחזור אריזות. בארץ תחום זה הינו מוגבל ביותר. מפעל "אמניר" ממחזור פוליאאתילן ואילו ש.צ.פ. החל למחזור PET. בהחלט יש מקום להשקיע יותר הן במחקר והן ביישום של מחזור אריזות פלסטיות מחומרים אחרים ותערובות חומרים שונים. העובדה שבטכניון עוסקים במחקר בנושא של מחזור חומרים פלסטיים זה כ- 15 שנה וקיים בו ידע מצטבר מאותן שנים, נותנת פתח לתקווה שניתן יהיה לפתח בישראל ידע טכנולוגי שיאפשר נצול מחדש של חומרים פלסטיים בארץ ובחו"ל (ייצוא ידע).

### 3.5 שקים מתקדמים

שקים מתקדמים העשויים חומרים פלסטיים מחליפים בשנים האחרונות אריזות אחרות כמו שקי נייר וחביות מתכת כאשר השק מוכנס לתוך קופסת קרטון המקנה לו הגנה מכנית. שפור ניכר בחווק ניתן להשיג ע"י תהליכים מיוחדים של אוריינטציה והקניית צורה, דבר שמוזיל את מחיר השק או לחלופין נותן חווק רב יותר לאותו מחיר. ע"י קואקסטרזיה ו/או למינציה ניתן גם לקבל תכונות רצויות של מחסום לגזים. הנושא של שקים פלסטיים מתקדמים לאריזות מזון, כימיקלים ומוצרים אחרים אינו מטופל היטב בארץ ויש מקום לפתוח הנושא שיש בו גם פוטנציאל גדול לייצוא.

בארץ יש נסיון מצטבר ניכר בעבוד חומרים פלסטיים ופתיחות ליישום רעיונות ותהליכים חדשים. שקים בעלי תכונות משופרות אלה יוכלו לשמש הן לאריזות מוצרים מתוצרת הארץ והן ליצוא ישיר.

## 4. BIBLIOGRAPHY

1. Anon. (1). 1989. Food panel ranking puts aseptic on top. Packaging. Oct., 17.
2. Anon. (2). 1989. New Packages - CAP doubles pizza's shelf-life. Packaging. August, 18.
3. Anon. (3). 1989. What was new at Pack Expo - Flexible glass. Packaging. Feb., 88.
4. Anon. 1989. (4). Seafood enters shelf-stable market. Packaging. April, 67.
5. Anon. (5). 1989. The plastic market in Western Europe. 1989. Kunststoffe German Plastics. 79 (10) 4.
6. Anon. (6). 1989. Packaging News. Feb., 32.
7. Anon. (7). 1989. Packaging forecast. Packaging. Dec., 51.
8. Anon. (8). 1989. "Fresh and healthy" drive food packaging. Packaging. Dec., 52.
9. Anon. (9). 1988. New barrier polyester developed. Plastic Technol. 34 (5) 15.
10. Anon. (10). 1988. PETP increases scope for drinks packaging. Plast. Rubb. Wkly., 1229, March, 9.
11. Anon. (11). 1988. PETP/EVOH bottle has 9 month shelf-life. Plast. Technol., 34 (2) 101.

12. Anon. (12) 1987. New EVOH triples barrier. *Packaging (USA)* 32 (14) Dec., 123.
13. Avital, Y., Mannheim, C.H. and Miltz, J. 1990. Effect of CO<sub>2</sub> atmosphere on staling and water relations in bread. *J. Food Sci.*, 55, 413.
14. Erickson, G. 1989. Users of flexibles play it safe. *Packaging*. Sept., 46.
15. Erickson, G. 1989a. Are microwave susceptors safe? *Packaging*. Oct., 39.
16. Hinsken, H.W., 1987. Composite plastic film in the packaging sector - a survey. *Kunststoffe German Plastics*. 77 (5) 3.
17. Hrdina-Dubsky, D.L. 1989. Sous Vide finds its niche. *Food Eng. Intl.* Sept., 40.
18. Gilles, K.A. 1989. Activities report of the R.D. Associates. 41 (2) 27.
19. Labuza, T.P. and Breene, W.M. 1989. Application of "Active Packaging for improvement of shelf-life and nutritional quality of fresh and extended shelf-life foods". *J. of Food Process. and Preserv.*, 13, 1.
20. Larson, M. 1989. Sterile molding technology looks for expanded uses. *Packaging*, Oct., 112.
21. Mapleston, P. 1988. Food Packaging brings out the best in high performance films. *Modern Plastic Intl.*, Feb., 29, 92.
22. Private Communication. Clearfoil I (CPET) 1990. Rollprint. Addison, Ill. U.S.A.
23. Roberts, R.A. 1989. Recent developments in materials for food packaging. In: *Rapra Review Report*, ed. R. Dolbey. 2 (4) 24-3.
24. Sneller, J.A. 1986. Smart films give a big lift to CAP. *Modern Plastics*, August, 58.
25. Young, L.L., Riviere, R.D. and Cole, A.B. 1988. Fresh red meats: A place to apply MAP. *Food Technol.* 42 (9) 65.
26. Zagory, D. and Kader, A.A. 1988. MAP of fresh produce. *Food Technol.* 42 (8) 70.

# חמרים פלסטיים בחקלאות- היבטים טכנולוגיים

כתב: משה גורן

## 1. מבוא

כ-20% ממכירות כלל תעשית הפלסטיקה בישראל מכוונים למגזר החקלאות. בהשוואה למדינות אחרות בעולם, ישראל יוצאת דופן באחוז המכירות למגזר החקלאות. סך המכירות של ענף הפלסטיקה לחקלאות הגיע בשנת 1989 ל-213 מליון דולר, מזה 71 מליון ליצוא - כ-28%. מגזר של תעשית הפלסטיקה הוא יעיל ומחזור המכירות לעובד מגיע ל-145 אלף דולר לשנה.

המוניטין של ישראל כמפריחת השממה וכארץ בה החקלאות היא מהמפותחות והיעילות ביותר, נותנת לכל ענפי התעשייה הנלווים והתומכים בתעשית החקלאות יתרון תחרותי הן בארץ והן בחו"ל.

הפלסטיקה בחקלאות מתחלקת לשלושה סוגי מוצרים עיקריים:

א. יריעות פלסטיות גמישות לחיפויים וכסוי מבנים

ב. צנרת ואביזרים פלסטיים

ג. אריזות לתוצרת חקלאית ואיסוף יבולים.

הדרייח הנוכחי סוקר את השימושים של חומרים פלסטיים בחקלאות, חומרי גלם, שיטות ייצור, תכונות נדרשות וביצועים, ומעריך את צריכת חומרי הגלם לפי שימושים ויצרנים.



## 2. שימושים של חומרים פלסטיים בחקלאות

השימושים של חומרים פלסטיים לחקלאות הם מגוונים ונפוצים בעיקר לגידולים ומוצרים טכניים שונים. באופן כללי

ניתן לחלק את השימושים לשמונה גזרות שונות:

- א. יריעות גמישות
- ב. לוחות קשיחים
- ג. רשתות
- ד. צנרת להשקיה
- ה. אריזת תוצרת ויבולים בשדה
- ו. מגשים, עציצים ושרוולים
- ז. חלקי מבנה
- ח. חלקי מכונות חקלאיות.

עיקר השימושים הם ביריעות, לוחות ורשתות וצנרת להשקיה. יריעות, לוחות ורשתות נפוצים בשימושים הבאים:

- א. כיסוי בתי צמיחה וחממות
- ב. כיסוי מנהרות עבירות
- ג. כיסוי מנהרות נמוכות
- ד. חיפוי קרקע
- ה. חיטוי סולרי של הקרקע
- ו. קשתות צל מהן ארוגות, סרוגות או יצוקות
- ז. כיסוי ושמירה על יבולים
- ח. שמירת אוכל לפרות
- ט. איגום בריכות מים

צנרת להשקיה נפוצה בעיקר ל:

- א. השקיה בטפטוף
- ב. צנרת קשיחה

### 3. חומרי גלם ליצור יריעות גמישות ורשתות

ליצור יריעות ורשתות משמשים מגוון של חומרים ותוספות שונות:

3.1 חומרי הגלם העיקריים הם:

- א. פוליאאתילן צפיפות נמוכה (LDPE)
- ב. פוליאאתילן צפיפות נמוכה לינארי (LLDPE)
- ג. קופולימר אתילן-ויניל אצטט (EVA)
- ד. פליויניל כלוריד (PVC)
- ה. לאחרונה גם פוליפרופילן - בעיקר ליצור רשתות
- ו. פוליאאתילן צפיפות גבוהה (HDPE) בעיקר לרשתות.

3.2 התוספות המשמשות עם חומרי הגלם הבסיסיים הן:

- א. מייצבי ובולעי קרינת אולטרא-סגול (uv) - UVA
- ב. מייצבי חום על בסיס אנטיאוקסידנטים
- ג. תוספות לבליעה בתחום אינפרא-אדום ליריעות תרמיות
- ד. תוספות לאנטי-פוג
- ה. פיגמנטים לגיוון
- ו. פיגמנטים פלואורסנטיים להתמרת תחומי בליעה
- ז. פיגמנטים לבליעה סלקטיבית בתחום האור הנראה
- ח. תוספות להגברת השקיפות (clarifiers)
- ט. תוספות להגברת העכירות (opacifiers)
- י. פיגמנטים להלבנת כיסויים בעונת הקיץ
- יא. מלאנים ומערכות מחזקות.

בהתאם לשימושים השונים נדרשות מהיריעות תכונות מכניות מתאימות. במתיחה (tensile), בקריעה (tear), בזחילה (creep), ובמכה (impact). התכונות האופטיות ליריעות הן קריטיות, למעבר אור בתחום הספקטרלי הרצוי, לקיום פוטוסינתזה ושמירת הטמפרטורה.

עמידות לאורך זמן בחשיפה לקרינת השמש דורשת תוספות של בולעי קרינת uv ומייצבים אנטי אוקסידנטיים. תכונות השטח של יריעות הן קריטיות למניעת ערפיליות לאורך זמן.

היריעות הנפוצות ביותר הן היריעות החד-שכבתיות. נפוצות פחות הן יריעות דו ותלת שכבתיות, כאשר כל שכבה מורכבת מחומר גלם שונה ולכל שכבה תוספות שונות.

היריעות מיוצרות בדרך כלל על ידי ניפוח (blown film) או על ידי יציקה (cast film). יריעות משורינות מיוצרות על ידי ציפוי בהיתך (melt coating) ואילו רשתות פוליפרופילן על ידי אריגת סיבים. רשתות פוליאטילן צפיפות גבוהה ע"י סריגה של סיבים.

## 4. צריכת יריעות גמישות

## 4.1 צריכה עולמית

להלן הערכות על שימוש ביריעות גמישות בעולם בשנת 1989 (מבוסס על עדכון נתונים משנת 1986):

טבלה מס. 1 מסכמת את השימוש ביריעות עבור בתי צמיחה, חממות ומנהרות עבירות, לפי אזורים:

טבלה מס. 1

## שימוש ביריעות לבתי צמיחה, חממות ומנהרות

אזור	שטח (אלפי דונם)	כמות (אלפי טון) פוליאתילן	כמות (אלפי טון) פי.וי.סי
מערב אירופה	680	100	3
מזרח אירופה	200	30	
אמריקה	110	18	
אסיה	700	36	87
אפריקה+מזרח תיכון	190	30	
סה"כ	1880	214	90

טבלה מס. 2 מסכמת את השימוש ביריעות עבור מנהרות נמוכות, לפי אזורים.

טבלה מס. 2

## שימוש ביריעות למנהרות נמוכות

אזור	שטח (אלפי דונם)	כמות (אלפי טון) פוליאתילן	כמות (אלפי טון) פי.וי.סי
מערב אירופה	720	26	4
מזרח אירופה	240	10	
אמריקה	120	5	
אסיה	1200	29	29
אפריקה+מזרח תיכון	120	5	
סה"כ	2400	75	33

טבלה מס. 3 מסכמת את השימוש ביריעות לחיפוי קרקע, לפי אזורים

טבלה מס. 3

שימוש ביריעות גמישות לחיפוי קרקע

אזור	שטח (אלפי דונם)	כמות (אלפי טון)
מערב אירופה	2,150	54
מזרח אירופה	120	3
אמריקה	2,400	60
אסיה	20,400	510
אפריקה+מזרח תיכון	1,200	3
סה"כ	26,270	630

סיכום הצריכה של יריעות גמישות בעולם (טבלות 1, 2 ו-3) מצביע על שימוש של מעל מליון טון בעיקר פוליאתיילן לחקלאות.

4.2 צריכה בישראל

הצריכה בישראל של יריעות גמישות, לפי שימושים, בשנת 1989 נתונה בטבלה מס. 4.

טבלה מס. 4

צריכת יריעות גמישות בישראל

אזור	שטח (אלפי דונם)	כמות (טונות)
בתי צמיחה, חממות, מנהרות	20	3,500
מנהרות נמוכות	50	3,000
חיפוי קרקע	100	2,500
סה"כ	170	9,000

סה"כ נעשה שימוש ב-9,000 טון בשנה ל-170 אלף דונם.

## 5. יצרני חומרי גלם ויריעות בישראל

חומרי גלם על בסיס פוליאאתילן צפיפות נמוכה מיוצרים על ידי מפעלים פטרוכימיים ופיו.וי.סי. על ידי פרוטרום. תרכובים ותרכיזים הם תוצרת כפרית - כפר עזה, תוסף - מגדס ופולירם.

ייצור היריעות מתחלק בין יריעות רחבות ובינוניות, היצרנים הם: גניגר, פוליאון, אגריטק וארו. ויריעות צרות, היצרנים הם: גניגר, פוליאון, אגריטק, ארז, פוליטים, פולג, רם פלסטיקה, פלסטופיל, אבדת, העוגן-פלסט פלגין ואחרים.

## 6. תחזית הצריכה

### 6.1 כארץ

הצריכה ליריעות פלסטיות גמישות תלויה במספר גורמים:

- א. המצב הכלכלי בחקלאות. בהקשר זה יש לציין את הקשיים של המושבים והקיבוצים עקב המשבר בחקלאות.
- ב. השפעת איחוד אירופה 1992 על היצוא לארצות אלה.
- ג. הרחבת השימוש ביריעות פלסטיות לגידול פרחים, ירקות ופירות אקוטיים.
- ד. הרחבת השימוש ביריעות פלסטיות לגידולי שדה: כותנה, תפוז"א, גזר.
- ה. משבר המים בחקלאות שמחד גיסא יגביר השימוש ביריעות לכיסוי וחסכון במים ומאידך גיסא יפחית את השימוש ביריעות עקב הקטנת שטחי הגידולים.

### 6.2 בעולם

א. אירופה המערבית

בשנות השמונים חלה התפתחות מהירה בארצות אירופה שבאגן הים התיכון: ספרד, דרום צרפת, דרום איטליה, סיציליה, יוון וקפריסין. המשך התפתחות מהירה חזויה בשנים הקרובות בפורטוגל, ספרד, יוון וטורקיה.

ב. אפריקה

באפריקה צפויה התפתחות בארצות המגרב בהן התעשייה הצרפתית פעילה מאד.

ג. דרום ארה"ב ואסיה

צפוי פיתוח מוגבר בדרום ארה"ב, מקסיקו ואמריקה המרכזית וכמו כן בארצות אסיה, תאילנד והודו, וארצות טרופיות וטרופיות למחצה בחלק הצפוני של קו המשווה וכן אוסטרליה.

## 7. חומרים לצנרת ואביזרים פלסטיים לחקלאות

### 7.1 צנרת

צנרת לתשתית אספקת מים וסילוק שפכים בקוטר עד 400 מ"מ מבוססת על פלדה, אסבסט ומעט PVC. אספקת מים לישובים, בקוטר 160 עד 280 מ"מ מבוססת על חומרים פלסטיים כגון: PVC ו-HDPE יחד עם פלדה ואסבסט.

בקטרים קטנים יותר, עד 75 מ"מ משמשים בעיקר PVC ו-HDPE. הקוים לשלוחות במערכת השקיה עד קוטר 12 מ"מ, צנרת לטפטוף, התזה והמטרה מבוססים על HDPE, LDPE, ו-LLDPE בין 12 ל-32 מ"מ.

### 7.2 אביזרים

אביזרים להשקיה מבוססים בעיקר על פוליפרופילן. לצנרת מ-PVC משתמשים באביזרים על בסיס PVC.

### 7.3 טפטפות

הטפטפות המיוצרות הן מארבעה סוגים:

א. כחיבור בין שני קטעי צינור

ב. טפטפות ננעצות

ג. טפטפות כחלק מהצינור

ד. טפטפות בחלק הפנימי של הצינור

הטפטפות כידוע הם פרי פיתוח ייחודי, ומוגן על ידי פטנטים.

הטפטפות הן בדרך כלל מפוליפרופילן, לעתים מ-LDPE, LLDPE וגם פוליאצטל.

## 7.4 מתזים וממטרות

קיים בשוק ההשקיה מגוון רחב של מודלים. רוב המתזים והממטרות מבוססים על פוליפרופילן. צריכת החומרים הפלסטיים לצנרת אביזרים, טפטפות, מתזים וממטרות מסוכם בטבלה מס. 5.

## טבלה מס. 5

## צריכת חייג לצנרת ואביזרים בישראל

צריכה בטונות					שימוש
PP	PVC	HDPE	LLDPE	LDPE	
	5,000	2,000	2,000	8,000	צנרת
2,000	500				טפטפות, מתזים וממטרות

## 8. יצרני צנרת ואביזרים

- 8.1 יצרני הצנרת העיקריים הם: קבוצת נטפים: נטפים חצרים, נטפים מגל, נטפים יפתח, נען, מצר, פלסטרו-גבת, פלסים, פלגל, גולן ובניאס. כל היצרנים הנ"ל משתמשים ב-LDPE וחלק ב-HDPE. צנרת מ-PVC משמשת בפלסטרו-גבת ופלסים. גולן הוא היצרן היחיד המייצר צנרת מ-P.E מצולב.
- 8.2 יצרני האביזרים העיקריים הם: פלסאון, פלסים, פלסטרו-גבת.
- 8.3 יצרני הטפטפות העיקריים הם גם יצרני צנרת.
- 8.4 יצרני ממטרות ומתזים עיקריים הם: נען, דן ממטירים, לגו, עין-טל, טבלית פלסט, פלסטרו-גבת.



## 9. חומרים לאיסוף יבולים ואריות תוצרת חקלאית

חומרים פלסטיים משמשים בשלבים השונים של הטיפול בפירות, ירקות, פרחים וגידולי שדה.

השלבים העיקריים הם:

- א. איסוף וריכוז יבולים מהשדה.
- ב. הובלת היבול לבתי אריזה.
- ג. אריות יבול לאחר מיון.
- ד. הובלת היבול לשווקים סיטונאים וקימעונאים.
- ה. אריזה ומשלוח יבול ליצוא.

העץ והקרטון ששימשו באופן מסורתי לשלבים לעיל, הולכים ונדחקים על ידי חומרים פלסטיים שונים.

להלן כמות הצריכה של החומרים הפלסטיים השונים לפי השימושים השונים.

- א. ארגזים רגילים ומתקפלים: לשדה, בית אריזה, שוק סיטונאי, שוק קימעונאי, רשתות שיווק - 1500 טון, בעיקר HDPE ו-PP.
  - ב. ארגזים בנפח של 1 מ"ק לשדה - 200 טון HDPE.
  - ג. שקים סרוגים: לבתי אריזה, שוק סיטונאי וליצוא - 1500 טון HDPE
  - ד. משטחים ליצוא על בסיס פוליקרבונט מוקצף.
  - ה. סרטי קשירה ליצוא - 600 טון פוליפרופילן.
  - ו. סלסלות לשוק הקמעונאי - 500 טון PS, PP, PVC.
  - ז. שקיות לשוק הקמעונאי - 3000 טון LLDPE, HDPE, LDPE.
- סיכום הכמויות מראה על כמות כללית של כ-7,300 טון בשנה.

## 10. מחקר ופיתוח בפלסטיקה בחקלאות

### 10.1 יריעות פלסטיות

המחקר והפיתוח של יריעות פלסטיות נעשה בד"כ במפעלים המיצרים את חומרי הגלם, התוספים ויצרני היריעות. חלק מהמחקרים מתבצע על ידי הטכניון בחיפה, מכון ויצמן למדע, הפקולטות לחקלאות ובוטניקה באוניברסיטה העברית ומכון הפלסטיקה בחיפה. לעתים נעשות עבודות מחקר עם חברות זרות המעוניינות להיות פעילות בישראל מסיבות מסחריות.

המחקר הבסיסי על היבטים אגרו-טכניים נעשה בעיקר במכון וולקני הכולל את המכון להנדסה חקלאית והאוניברסיטה העברית בפקולטות לחקלאות ולבוטניקה.

יישום המו"פ ועריכת ניסויי שדה נעשה בתחנות הנסיוניות של יצרני היריעות, למשל, בגניגר, פוליאון וארז, בחלקים הנסיוניים במכון וולקני ברחבי הארץ ובפקולטה לחקלאות ברחובות.

ניסויי שדה סופיים נערכים אצל החקלאים. הגוף האחראי על ניסויים אלו הינו שירות הדרכה במקצוע (שה"מ) של משרד החקלאות. לשה"מ לשכות הדרכה בכל הארץ ובכל לשכה צוות מדריכים. בהתאם לאופי הפיתוח שותפים לניסויים השדה גם יצרני היריעות והחומרים וצוותים מתאימים של מכון וולקני והפקולטות לחקלאות ולבוטניקה.

התוצאות מתפרסמות בדרך כלל באופן רשמי בחוברות ההדרכה של שה"מ ובחוברת "השדה".

הנושאים העיקריים למחקר ופיתוח הם:

- א. פיתוח סוגים חדשים של EVA, LLDPE, LDPE ו-PVC בעלי חוזק ותכונות אופטיות מותאמות לגידול.
- ב. פיתוח יריעות רב-שכבתיות לקבלת מיקבץ תכונות אופטימלי. לדוגמא: יריעה תלת-שכבתית המורכבת מ-LDPE כשכבת בסיס, LLDPE להקנית קשיחות וחוזק בקריעה ו-EVA להקנית אלסטיות ובליעה של קרינה אינפרא-אדומה. ייצור יריעות רב-שכבתיות נעשה בקו-אקסטרוזיה.
- ג. שיפור אורך חיי היריעה על ידי שימוש בתוספות UVA יעילות יותר.
- ד. שיפור תוספות אנטי-פוג למשך חיים ארוך יותר.

- ה. תוספות להתמרת תחומי הבליעה באור הנראה שאינם יעילים להתפתחות הצמח והגברת התחומים החשובים לפוטוסינתזה. ההתמרה ספציפית לסוג הגידול.
- ו. פיתוח צבעים ליריעות חיפוי להבטחת איזון בין חימום הקרקע להשמדת עשבים (שמירה על טמפרטורה נוחה בזמן הגידול).
- ז. פיתוח יריעות עמידות טוב יותר בפני חומרי חיטוי והדברה.
- ח. פיתוח יריעות צבועות לכיסוי מבנים על מנת למנוע מחלות לא רצויות.
- ט. המשך פיתוח יריעות תרמיות לקבלת אפקטים תרמיים של חימום בחורף וקירור בקיץ תוך שמירה על העברת אור מספקת (אור ישיר ואור מפוזר).
- י. פיתוח חממות לניצול אנרגיית השמש וחסכון באנרגיה.
- יא. פיתוח יריעות לשימוש בשרוולי מים.
- יב. יריעות מתכלות בקרינת U.V למניעת זיהום הסביבה.

## 10.2 צנרת ואביזרים פלסטיים

החומרים הפלסטיים המשמשים לייצור צנרת הם ממוסדים ואין להניח שיתרחשו פיתוחים משמעותיים בעתיד הקרוב. שני חומרים עיקריים נוספו בשנים האחרונות ל-PVC, LDPE ו-HDPE - LLDPE לבד או בתערובות עם LDPE ופוליאתיילן מצולב. מבחינת התוספים תתחזק הנטיה להכללה של אנטי-אוקסידנטים וחומרי עזר לעיבוד (Processing aids).

בשטח הטפטפות כל יצרן מפתח מוצרים חדשים. העבודות הן ברמה גבוהה ומתבצעות תחת סודיות. הדבר נכון גם בהקשר לממטרות ומתזים.

**חמרים פלסטיים בבנייה-  
מגמות והתפתחויות בארץ ובעולם**

**ד"ר משה פוטרמן  
המכון הלאומי לחקר הבניה  
הטכניון, חיפה**

## 1. מבוא: חומרים פלסטיים בבנייה

### 1.1 כללי

השימוש בחומרים פלסטיים בבנייה התרחב מאד בעשרים השנים האחרונות בכל הארצות המפותחות בעולם. ענף הבנייה צורך כיום כחמישית עד רבע מכלל ייצור החומרים והמוצרים הפלסטיים והוא נחשב כיום לצרכן השני בגודלו של חומרים אלה, כשמקדים אותו רק ענף מוצרי האריזה. כך למשל נצרכו בארה"ב בשנת 1988 קרוב ל-26 מיליון טונות של חומרים פלסטיים, מזה כ-5,2 מיליון טונות בתעשיות הבנייה. טבלה מס' 1 מסכמת את הכמויות שנצרכו באותה שנה בארה"ב ע"י ענף הבנייה בהשוואה לצריכה של תעשיות אחרות [1]. מעניין לציין כי דווקא אחד מענפי התעשייה הוותיקים והשמרניים ביותר - ענף הבנייה - ואחד מהענפים הצעירים והחדשניים ביותר - ענף האריזה - הינם שני המובילים בשימוש ובצריכה של החומרים הפלסטיים.

מצב דומה קיים גם במקומות אחרים בעולם. טבלה מס' 2 מסכמת את אחוזי הצריכה של חומרים פלסטיים בבנייה בארצות שונות בשנת 1983/4. נקל לראות כי המספרים נעים בין 10-30 אחוז. גם בארץ (נכון לשנת 1983) אחוז השימוש של חומרים פלסטיים בבנייה מכלל תצרוכת הפלסטיקה (כ-140 אלף טון) היה כ-15% [2].

אולם על אף מספרים נכבדים אלה חלקם של החומרים הפלסטיים מכלל חומרי הבנייה מסתכם באחוזים בודדים, וענף הבנייה מהווה כיום את אחד האתגרים הגדולים של השימוש בחומרים פלסטיים.

לא ניתן לדון בנושא החומרים הפלסטיים בבנייה מבלי להזכיר את "בית-הפלסטיק" המפורסם שחוקם בשנת 1957 בדיסנילנד שבקליפורניה. למעשה היווה מבנה זה מעין "גימיק" שאיפיינו את ההתפתחות העצומה בענף הפלסטיקה ואת הלך המחשבה לגבי חומרים חדשניים אלה בשנות ה-50. באותה עת ניכרה מגמה להשתמש בחומרים פלסטיים לכל מטרה, מפרחים מלאכותיים ועד בתים. עם השנים ועם הכרתנו והבנתנו טוב יותר את

החומרים הפלסטיים - תכונותיהם ומגבלותיהם - הוברר כי גם בנושא זה יש להתקדם בצורה זהירה ומחושבת היטב.

כתוצאה מכך השתנתה הגישה העקרונית-מהותית

מ -

**הבה נבנה בתים מחומרים פלסטיים**

ל -

**הבה נשתמש בחומרים פלסטיים לבניית בתים**

בשנים הראשונות לחדירת החומרים הפלסטיים לענף הבנייה היה עיקר השימוש בהם למטרות דקורטיביות אולם עם ההתפתחויות שחלו בחומרים אלה הם חדרו לתחומים נוספים רבים ומגוונים של מערכת הבניין. כיום משתמשים בהם לצנרת, בידוד תרמי, ציפויי גגות וקירות וגם כחומרי מבנה נושאי מעמס.

יתרונם של החומרים הפלסטיים על פני חומרי בנייה אחרים הוא במגוון החומרים, התכונות ואפשרויות העיבוד שלהם. שילוב זה של תכונות וצורות עיבוד מאפשר יצירת מוצרים ומערכות שאינם אפשריים בחומרים הקונבנציונליים, לעיתים אף תוך הוזלה במחיר. גם משקלם הנמוך, היחס הגבוה של חוזק למשקל (ראה טבלה מס' 3) וצורתם האסתטית מעודדים את השימוש בהם.

## **1.2 תחומי השימוש העיקריים של החומרים הפלסטיים בבנייה**

- נחוג לסווג את החומרים הפלסטיים במערכת הבנייה על פי קבוצות התיפקוד שלהם [3]:
- א. חומרים לא מבניים.
  - ב. חומרי מבנה (חומרים פלסטיים משוריינים בסיבים או חלקיקים).
  - ג. חומרי עזר (דבקים, חומרי איטום, צבעים וכד').

בשלב ההתפתחות הנוכחי מהווה הקבוצה הראשונה - החומרים הלא מבניים - את קבוצת השימוש העיקרית של החומרים הפלסטיים בבנייה, ועל כן יורחב עליה הדיבור לחלף.

השימוש בחומרים פלסטיים למטרות מבניות על ידי שריונם מוגבל מאד עדיין בענף הבנייה, אף שיש שימוש רב בחומרים אלה בתעשיות אחרות דוגמת התעופה והרכב. הסיבה העיקרית הינו המחיר הגבוה של החומרים המרוכבים, מה שמגביל את התחרות שלהם עם חומרי בנייה מקובלים אותם הם אמורים להחליף.

טבלה מס' 1: שימוש בחומרים פלסטיים בארה"ב ב-1988 (באלפי טונות)

25,898	צריכה כללית
5,175	בנייה
6,278	אריזה
970	תחבורה

טבלה מס' 2: אחוז השימוש בחומרים פלסטיים לבנייה בארצות שונות

21	ארה"ב
20	קנדה
24	גרמניה
13	יפן
20	בריטניה
29	הולנד
23	אוסטרליה
11	איטליה

טבלה מס' 3: חוזק סגולי של חומרים שונים

<u>חוזק במתיחה, סגולי MPa</u>	<u>משקל סגולי</u>	<u>חוזק במתיחה, MPa</u>	<u>החומר</u>
14	0.92	13	פוליאתילן
88	1.14	100	ניילון
100	2.0	200	אפוקסי משוריין
150	2.7	400	אלומיניום
52	7.8	400	פלדה
*10	2.5	*25	בטון*

\* התנונים עבור הבטון מתייחסים לחוזק בלחיצה ולא במתיחה.

הקבוצה השלישית - חומרי העזר - כוללת מוצרים שבחם החומרים הפולימריים מהווים מרכיב או תוסף המיועד לשפר את המוצר או להקנות לו את התכונות הדרושות למטרת השימוש הסופי.

שימוש ייחודי ומעניין בחומרים פלסטיים הינו לכיסוי וחיפוי של שטחים גדולים יחסית באמצעות יריעות פלסטיות או בדים מצופים בחומרים פולימריים. מבנים אלה נתמכים על פי רוב על ידי אוויר דחוס או מיתלים מכניים מתאימים.

בשנים האחרונות מתפתחת גישה רעיונית מתקדמת יותר לנושא השימוש בחומרים הפלסטיים בבנייה, והגישה של **חומרים פלסטיים לבניית בתים** שהוזכרה לעיל מתפתחת לתוך מה שניתן להגדיר כ-

**שימוש נבון בחומרים פלסטיים להשבחת הבנייה ולשיפור איכות החיים במבנה.**

כחלק מפילוסופייה זו נעשה שימוש בחומרים פלסטיים מתקדמים תוך התייחסות לתרומתם לאיכות החיים במבנה, תרומה שלא ניתן להשיגה באמצעות חומרי בנייה אחרים.

בעניין זה כדאי לציין כי לאחרונה החלה חברת הפלסטיקה "ג'נרל אלקטריק" בפרוייקט רחב היקף לתכנון והקמה של מבנה נסיוני שבין השאר ייעשה בו שימוש מחושב בחומרים פלסטיים הנדסיים מתקדמים ביותר מן הסוג המקובל בתעשיות התעופה והחלל. החברה מכנה את הפרוייקט השאפתני בשם: Living Environments [4], והוא אמור לתת תשובה "פלסטית" לצורכי המגורים העתידיים, כחלק ממערכת חיים מתקדמת ומפותחת.

### **חומרים לא מבניים**

להלן מספר דוגמאות לשימוש של חומרים ומוצרים פלסטיים כחומרים לא מבניים [5,6]:

#### **חומרים לחיפוי ואיטום גגות**

השימוש בחומרים פולימריים לחיפוי גגות ולאיטום מבנים מפני חדירת מים התרחב מאד בשנים האחרונות, והם מחליפים את החומרים הביטומניים המקובלים ששימשו למטרה זו מאז ומתמיד. חדירת החומרים הפולימריים לשוק זה באה לידי ביטוי הן במוצרים מוגמרים דהיינו ביריעות חרושתיות מוכנות, והן בחומרים המיועדים ליישום על המבנה כתמיסות או אמולסיות.

בין החומרים המיועדים למטרה זו על פי אופיים:

אלסטומרים: EPDM, ניאופרן, הייפלון, גומי בוטולי.

תרמופלסטיים: PVC, אמולסיות אקריליות.

ביטומנים משופרים: עם SBS (אלסטומר תרמופלסטי של סטירן-בוטדיאן-סטירן) או

APP (פוליפרופילן אטקטי).



## צנרת פלסטית

צנרת פלסטית זוכה לפופולריות רבה בשימוש במבנים ובניינים, והיא החליפה, לדוגמא, כמעט לחלוטין את הצנרת הכבדה מעופרת שהיתה בשימוש במשך שנים רבות.

קיימים שני סוגים עיקריים של צנרת פלסטית לשימוש ביתי:

**צנרת דלוחין** לניקוז והרחקה של שפכים ביתיים. על צנרת זו לעמוד בטמפרטורות בינוניות (כ-60°C) ובמקרה של התקנה חיצונית להיות עמידה בתנאי האקלים החיצוניים. צנרת הדלוחין הביתית עשויה לרוב מפוליוניל כלוריד (PVC) או מפוליפרופילן (PP) המתאים יותר לטמפרטורות גבוהות.

**צנרת מי-שתייה** לשימוש במים קרים או חמים לצרכי שימוש ביתי שוטף. על צנרת זו לעמוד בטמפרטורות גבוהות של כ-90°C תחת לחץ הידרוסטטי של רשת המים. מסיבה זו מקובל לייצר את צנרת מי השתייה הפלסטית מפוליאיתילן מצולב (PEX), פוליבוטילן (PB) ופוליוניל כלוריד מוכלר (CPVC).

צנורות מחומרים פלסטיים לא נפגעים מקורוזיה בדומה לצנרת הפלדה או משיקוע של אבן על דפנותיהם. משקלם קל וכושר הבידוד התרמי שלהם גבוה. אך לעומת זאת הם לוקים בעמידות תרמית נמוכה, מקדמי התפשטות תרמית גבוהה יחסית, זחילה ניכרת בטמפרטורות ובלחצים גבוהים ועמידות אקלימית נמוכה.

## חומרי בידוד תרמי

התכונה העיקרית של חומרי בידוד פולימריים היא המבנה המוקצף של מטריצה רציפה המכילה בתוכה תאים סגורים רבים ובחם אוויר או גז רצוי אחר. מבנה זה מבדיל את חומרי הבידוד הפולימרי מן החומרים המקובלים המאופיינים על ידי מבנה של סיבים דחוסים. כתוצאה מכך כושר הבידוד של המוצרים הפולימריים גבוה מזו של החומרים חלא-פולימריים.

החומרים הפולימריים המקובלים ביותר למטרות של בידוד תרמי הינם פוליסטרין מוקצף, פוליאורתן מוקצף ושרפי פורמאלדהיד מוקצפים. המגבלה העיקרית והמשמעותית ביותר של הקצפים הפלסטיים היא הדליקות ותבעירות שלהם עקב האופי האורגני של החומר ושטח הפנים הגדול מאד של הקצף.

## זיגוג ותאורה

חומרים פלסטיים מסויימים יכולים לשמש כתחליף מצויין לזכוכית כשמשות לזיגוג ומוצרי תאורה. המקובלים ביותר ביניהם הינם פולימתילמתקרילט ("פרספקס"), פוליקרבונט, פוליוניל כלוריד, פוליסטרין ופוליאסטר משוריין בסיבי זכוכית. לחומרים אלה יש שקיפות גבוהה מאד המשתווה לזו של הזכוכית (92%-90% מעבר אור

בלוחות "פרספקס", ועמידות נגיפה גבוהה לאין שיעור מזו של הזכוכית השבירה (הפוליקרבונט נחשב, לדוגמא, לחומר בלתי שביר).

תקצר היריעה מלפרט את כל השימושים של חומרים פלסטיים למטרות לא-מבניות אך כדאי להזכיר גם את השימושים הבאים:

**מסגרות לחלונות** שעשויים בעיקר מ-PVC וזוכים לפופולריות גבוהה באירופה. בגרמניה למשל למעלה ממחצית ממסגרות החלונות שמותקנים בשנה הם מ-PVC.

**ריצוף מחומרים פלסטיים**, שעשוי בעיקר מיריעות מוכנות מ-PVC גמיש אך גם משרפים יצוקים דוגמת אפוקסי. כדאי גם להזכיר את השימוש הגובר בציפויי רצפה עשויים שטיחים של סיבי פוליפרופילן.

**מוצרים סניטריים** רבים דוגמת כיורים, אמבטיות ואסלות עשויים עתה מפולימרים אקריליים או משרפי פוליאסטר מתורכבים עם מלאנים ופיגמנטים צבעוניים.

### 1.3 מגבלות השימוש בחומרים פלסטיים בבנייה

על אף ההתקדמות העצומה שחלה בשימוש בחומרים פלסטיים בבנייה בשנים האחרונות והפופולריות הרבה לה זוכים חומרים ומוצרים אלה, בגלל יתרונותיהם הברורים, על המתכנן ועל הצרכן להיות מודעים לחסרונותיהם. חסרונות אלה מגבילים ולעתים אף מונעים לחלוטין את השימוש בחומרים ובמוצרים פלסטיים למטרות בנייה.

1. **רגישות לטמפרטורות גבוהות:** למרבית החומרים הפולימריים שאינם יקרים מדי למטרות שימוש בבנייה יש התנגדות חומנית נמוכה והם עלולים להנזק או להתעוות בהחשפם לטמפרטורות גבוהות. רבים מהחומרים מוגבלים על כן לשימוש בטמפרטורות שאינן עולות על  $60^{\circ}\text{C}$ - $80^{\circ}\text{C}$ .

2. **זחילה גבוהה תחת מעמס:** מרבית החומרים הפולימריים מאופיינים בזחילה גבוהה כשהם מצויים תחת מעמס לאורך זמן. טמפרטורות גבוהות מאיצות את תהליכי הזחילה בשיעור ניכר. זוהי אחת הסיבות העיקריות לכך שחומרים פלסטיים אינם יכולים לשמש למטרות קונסטרוקטיביות.

3. **קיים נמוך בתנאי השיפה חיצוניים:** חומרים פולימריים רגישים לתנאי אקלים חיצוניים ובמיוחד למרכיב האולטרא-סגול (UV) שבקרנת השמש. קרינה אנרגטית זו גורמת בתהליכים של פוטו-אוקסידציה לדגרדציה כימית של השרשרות הפולימריות. התוצאה הינה פגיעה במראה החיצוני של המוצר, בתכונות הפיסיקליות ובתכונות המכניות שלו. במקרים קיצוניים החומר הפלסטי עלול להגיע עד להתפוררות מוחלטת

של המוצר. כמעט תמיד ניתן להתגבר על המגבלה על ידי שימוש במוספים מייצבים מסוככי קרינת UV בתוך החומר.

4. **דליקות ובעירות:** כפי שכבר נזכר, חומרים פולימריים הינם דליקים עקב האופי האורגני שלהם - תכונה מסוכנת ומגבילה ביותר מבקרה של שימוש בהם למטרות בנייה. הדליקות חמורה במיוחד במקרה של חומרי בידוד מוקצפים בגלל חכמות הנפחית הגדולה הדרושה לבידוד המבנה ובגלל שטח הפנים הגדול של החומר המוקצף. ניתן להתגבר במידת מה על מגבלה זו על ידי שימוש במוספים מתאימים מעכבי בעירה מה שמייקר את המוצר במידה רבה. כך או כך, אין להתעלם מבעיית הבעירות בכל מקרה של שימוש בחומרים פלסטיים במבנים ובניינים.

#### 1.4 מוצרים עיקריים על פי חומרי המוצא הפולימריים

להלן רשימה מסווגת (לא שלמה כמובן) של מוצרים פלסטיים מקובלים בתחום הבנייה על פי חומרי הגלם המשמשים לייצורם:

אלמנטים דקורטיביים: PS, ACR, PVC, ABS, MF.

ריצוף: בעיקר PVC.

זיגוג ותאורה: PS, ACR, PVC, PC, GRP.

בידוד תרמי: EPS, PU, PhF, UF.

צנרת: PE, PP, PVC, PB, CPVC, GRP.

אביזרי אינסטלציה: PP, PAc, ABS, ACR.

פרופילים ופאנלים: PVC, PP, ABS, GRP.

דבקים לתעשיית העץ: UF.

חיפויי גג: PVC, EPDM, (MB).

#### 2. תמונת מצב של השימוש בחומרים פלסטיים לבנייה בישראל

גם בישראל כמו ברבות מארצות העולם המפותח מחוויים החומרים הפלסטיים בבנייה חלק נכבד מאד מן הצריכה והייצור של כלל המוצרים הפלסטיים. בשנת 1989 היה המחזור הכספי של מוצרים אלה כ-85-75 מיליון דולר מסך כולל של קרוב למיליארד דולר של כלל ענף הפלסטיקה, שהם כ-8% בתחשיב כספי. במונחים משקליים חסתכם ייצור המוצרים הפלסטיים לבנייה בארץ באותה שנה ב-30-25 אלפי טון.

## 2.1 רשימת המפעלים המייצרים מוצרים פלסטיים לבנייה

להלן רשימה של המפעלים הישראליים המייצרים מוצרים פלסטיים המשמשים את ענף הבנייה בארץ ופירוט המוצרים שלהם. רשימה זו עובדה על פי מדריך איגוד יצרני הפלסטיקה בישראל מ-1986 ויש להניח כי אינה מושלמת לגמרי ביחס ל-1990.

1. המפעל: אורלייט חברה להנדסה בע"מ  
אזור התעשייה א, נס ציונה  
מוצרים: ארונות חשמל מפלסטיק משורין בסיבים (GRP).
2. המפעל: איתנית - שיוק מוצרי בנייה  
ת.ד. 32, נהריה  
מוצרים: צנורות לחץ מ-PVC.
3. המפעל: ארז מוצרים תרמופלסטיים  
קיבוץ ארז, ד.ג. חוף אשקלון  
מוצרים: יריעות PVC לחיפוי גגות.
4. המפעל: במעסף בע"מ  
הסדנה 2, תל-אביב  
מוצרים: פרופילים, תעלות וצינורות חשמל.
5. המפעל: גולן - מוצרי פלסטיק  
קיבוץ שער-הגולן, ד.ג. עמק הירדן  
מוצרים: צנרת PEX למים חמים וקרים, פרופילים לתריסים.
6. המפעל: דן-פל  
קיבוץ דן, ד.ג. גליל עליון  
מוצרים: פרופילים מ-PVC, לוחות פוליקרבונט לזיגוג, כיפות תאורה.
7. המפעל: דקאפלסט בע"מ  
רח' דב פרידמן 14, גבעתיים  
מוצרים: שלבים ופרופילים מ-PVC.
8. המפעל: העוגנפלסט בע"מ  
קיבוץ העוגן  
מוצרים: יריעות PVC לחיפוי גגות, לריצוף ולטפטים.

9. המפעל: חופית  
 קבוצת כנרת, ד.ג. עמק הירדן  
מוצרים: תאי בקרה לבויב.
10. המפעל: חניטה ציפויים - קוטלב  
 קיבוץ חניטה  
מוצרים: יריעות מצופות למוצרים סולריים.
11. המפעל: כרמיפלס בע"מ  
 ת.ד. 44, כרמיאל  
מוצרים: צנרת PVC לבנייה ואינסטלציה.
12. המפעל: כתר פלסטיק  
 רח' בית האשל 27, יפו  
מוצרים: אינסטלציה סניטרית.
13. המפעל: לוטמפלסט  
 קיבוץ לוטם, ד.ג. כרמיאל  
מוצרים: מוצרי אינסטלציה וביוב.
14. המפעל: ל.מ. ליפסקי בע"מ  
 רח' המדע, אזור התעשייה, הרצליה  
מוצרים: צנרת ואביזרים לאינסטלציה סניטרית.
15. המפעל: מגן פלסטיק  
 קיבוץ מגן, ד.ג. הנגב  
מוצרים: קולטי שמש.
16. המפעל: מדגל  
 קיבוץ גליל-ים  
מוצרים: ברזים.
17. המפעל: מינרב תעשיות בע"מ  
 ת.ד. 10, אזור התעשייה, אשקלון  
מוצרים: פרופילים מ-PVC.

18. המפעל: מצרפּלס  
קיבוץ מצר, ד.נ. עמק חפר  
מוצרים: צנרת PVC לאינסטלציה וביוב.
19. המפעל: נובומר בע"מ  
רח' הבנייה 10, מפרץ חיפה  
מוצרים: לוחות וכיפות "פיברגלס".
20. המפעל: סופרפּלסט בע"מ  
גיסין 14, פתח-תקווה  
מוצרים: אביזרי חשמל וסניטציה.
21. המפעל: ספיראפּלקס בע"מ  
אזור התעשייה, נתניה  
מוצרים: צנורות PVC גמישים ומשוריינים.
22. המפעל: ענבר - פּלסטק משורין  
קיבוץ חמדיה, ד.נ. בית שאן  
מוצרים: לוחות משורייני סיבים, ארונות חשמל.
23. המפעל: ענבד  
קיבוץ קרית-ענבים  
מוצרים: סרטים ופרופילים מגומי ופוליאתיילן לבידוד ואיטום.
24. המפעל: פּוליביד  
קיבוץ משמר הנגב, ד.נ. נגב  
מוצרים: לוחות פּוליסטירן מוקצף לבידוד, ארגזי בנייה.
25. המפעל: פּוליגל  
קיבוץ רמת השופט, ד.נ. מגידו  
מוצרים: לוחות חלולים מפּוליקרבונט לסיכוך וזיגוג.
26. המפעל: פּלגל  
קיבוץ חפציבה, ד.נ. גלבע  
מוצרים: צנרת למים חמים מפּוליבוטילן, תעלות ומרזבים מ-PVC.

27. המפעל: פל-כר  
 קיבוץ כפר-רופין, ד.ג. בית שאן  
מוצרים: פרופילים מ-PVC מוקצף.
28. המפעל: פלסאון מוצרים פלסטיים  
 קיבוץ מעגן מיכאל, ד.ג. מנשה  
מוצרים: מיכלי הדחה.
29. המפעל: פלסמור תעשיות פלסטיק  
 קיבוץ מורן, ד.ג. בקעת בית הכרם  
מוצרים: אינסטלציה ואביזרים סניטריים.
30. המפעל: פלסים - מפעלי פלסטיקה טכנית  
 קיבוץ מרחביה  
מוצרים: צנרת לבנייה ולביוב.
31. המפעל: פלציב  
 קיבוץ עין הנציב  
מוצרים: חומרי בידוד ואטימה לבנייה.
32. המפעל: פלר"ם - מפעל למוצרי פלסטיקה  
 קיבוץ רמת יוחנן  
מוצרים: לוחות PVC ופוליקרבונט לסיכוך וזיגוג.
33. המפעל: פס-גון מוצרי פלסטיק משוריין  
 קיבוץ נווה-איתן, ד.ג. בית שאן  
מוצרים: פרופילים מפלסטיק משוריין בסיבים.
34. המפעל: קיסריה פולימרים בע"מ  
 אזור התעשייה אור עקיבא  
מוצרים: פוליאורתון קשיח לבדוד מבנים.
35. המפעל: קל-קר עין כרמל  
 קיבוץ עין כרמל, ד.ג. חוף הכרמל  
מוצרים: מוצרי פוליסטירן מוקצף לבדוד ולבנייה

36. המפעל: תעמ"ס בע"מ

רח' תמנע 7, איזור התעשייה חולון

מוצרים: לוחות בדוד ותבניות מפוליסטירן מוקצף.

## 2.2 נתוני ייצור של מוצרים פלסטיים בבנייה בישראל לשנת 1988

להלן סיווג של המוצרים הפלסטיים העיקריים המיוצרים בארץ והמשמשים את ענף הבנייה, קבוצת המפעלים המייצרים כל מוצר, והחיקף הכספי והכמותי של כל מוצר. כל המספרים מבוססים על נתוני משרד התעשייה והמסחר והם מתייחסים לשנת 1988.

מחזור כספי: 75-85 מיליון דולר. כמות: 25-30 אלפי טון.

### - לוחות לבידוד תרמי

מפעלים מייצרים: פוליביד

קלקר

רונדו פלס

תעמס

קיסריה פולימרים

פולירון

מחזור כספי: כ-3.5-3 מיליון \$. כמות: כ-1,500 טון.

### - צנרת מים וביוב

מפעלים מייצרים: פלסים

גולן

חוליות

לוטמפלסט

צינקל

פלסטרו גבת

מצר פלסט

פלגל

איתנית

מחזור כספי: כ-12-11 מיליון \$. כמות: 4,000-5,000 טון.



**- תעלות וצנרת חשמל**

מפעלים מייצרים: פלגל

מצר פלסט

וולטה כרמיאל

ספירפלקס

פלסים

מחזור כספי: כ-8-9 מליון \$. כמות: 3,000-4,000 טון.

**- פנלים שטוחים**

מפעלים מייצרים: דקפלסט

מינרב

דנפל

במעסף

מחזור כספי: 3.5-4 מליון \$. כמות: כ-2,000 טון.

**- בדוד צנרת**

מפעלים מייצרים: ענביד

פולירון

רונדו פלסט

מחזור כספי: 2-2.5 מליון \$. כמות: כ-1,000 טון.

**- פרופילים**

מפעלים מייצרים: במעסף

מינרב

פלכר

פסגון

מחזור כספי: 3-4 מליון \$. כמות: 1,500-2,000 טון.

**- ארונות חשמל**

מפעלים מייצרים: ענבר

אורלייט

מחזור כספי: כ-4 מליון \$. כמות: כ-1,200 טון.

**- כלים סניטריים**

מפעלים מייצרים: סופרפלסט  
 פלסאון  
 כתר

מחזור כספי: 4-4.5 מליון \$. כמות: כ-1,000 טון.

**- אביזרי חשמל**

מפעלים מייצרים: טכנופלסט  
 סופרפלסט  
 ניסן פלסט

מחזור כספי: כ-4 מליון \$. כמות: כ-1,300 טון.

**- מערכות סולריות**

מפעלים מייצרים: פלסטיק מגן  
 חניתה  
 ענבד  
 רונדופלסט

מחזור כספי: כ-5 מליון \$. כמות: כ-1,500 טון.

**- מיכלים ושוחות**

מפעלים מייצרים: רוטופלסט  
 חופית

מחזור כספי: כ-4 מליון \$. כמות: כ-1,500 טון.

**- ריצוף**

מפעלים מייצרים: העוגנפלסט  
 ארז

מחזור כספי: כ-3 מליון \$. כמות: כ-1,000 טון.

**- תקרות אקוסטיות**

מפעלים מייצרים: דן-פל  
דקפלסט

מחזור כספי: 1-2 מליון \$. כמות: כ-500 טון.

**- חיפוי וציפוי גגות**

מפעלים מייצרים: העוגנפלסט  
ארז  
פלרם

מחזור כספי: כ-4 מליון \$. כמות: כ-1,500 טון.

**- ברזים**

מפעלים מייצרים: מדגל  
פלסמור  
פל-ים

מחזור כספי: כ-4 מליון \$. כמות: כ-1,000 טון.

**- משטחים**

מפעלים מייצרים: פוליזיו

מחזור כספי: כ-1 מליון \$. כמות: כ-300 טון.

**- מוצרי אפוקסי**

מפעלים מייצרים: ענבר

מחזור כספי: כ-5 מליון \$. כמות: כ-1,500 טון.

**- לוחות זיגוג**

מפעלים מייצרים: פלרם  
פוליגל  
דן-פל

מחזור כספי: 3-4 מליון \$. כמות: כ-1,000 טון.

### 3. השימוש בחומרים פלסטיים לבנייה בעולם

מרבית הנתונים המספריים שיובאו להלן מתייחסים למצב בארה"ב, בעיקר משום שנתונים אלה, ערוכים בצורה סטטיסטית מסודרת, מצויים בפרסומים הפתוחים וניתנים לחשגה בקלות. ניתן להניח באופן די מבוסס כי מקורות השימוש וההתפתחות הבאים לידי ביטוי בנתונים אלה משקפים את הנעשה גם בארצות מפותחות אחרות ובעיקר בארצות אירופה המערבית.

טבלה מס' 4 מסכמת את עיקר תחומי השימוש ואת הכמויות שנצרכו בארה"ב בשנת 1988 [1] (שנת 1988 הועדפה כשנה המייצגת על פני 1989 מאחר ובשנה האחרונה חלה ירידה קלה בצריכה יחסית לשנה הקודמת).

טבלה מס' 4: השימוש בחומרים פלסטיים בבנייה בארה"ב ב-1988 (באלפי טונות)

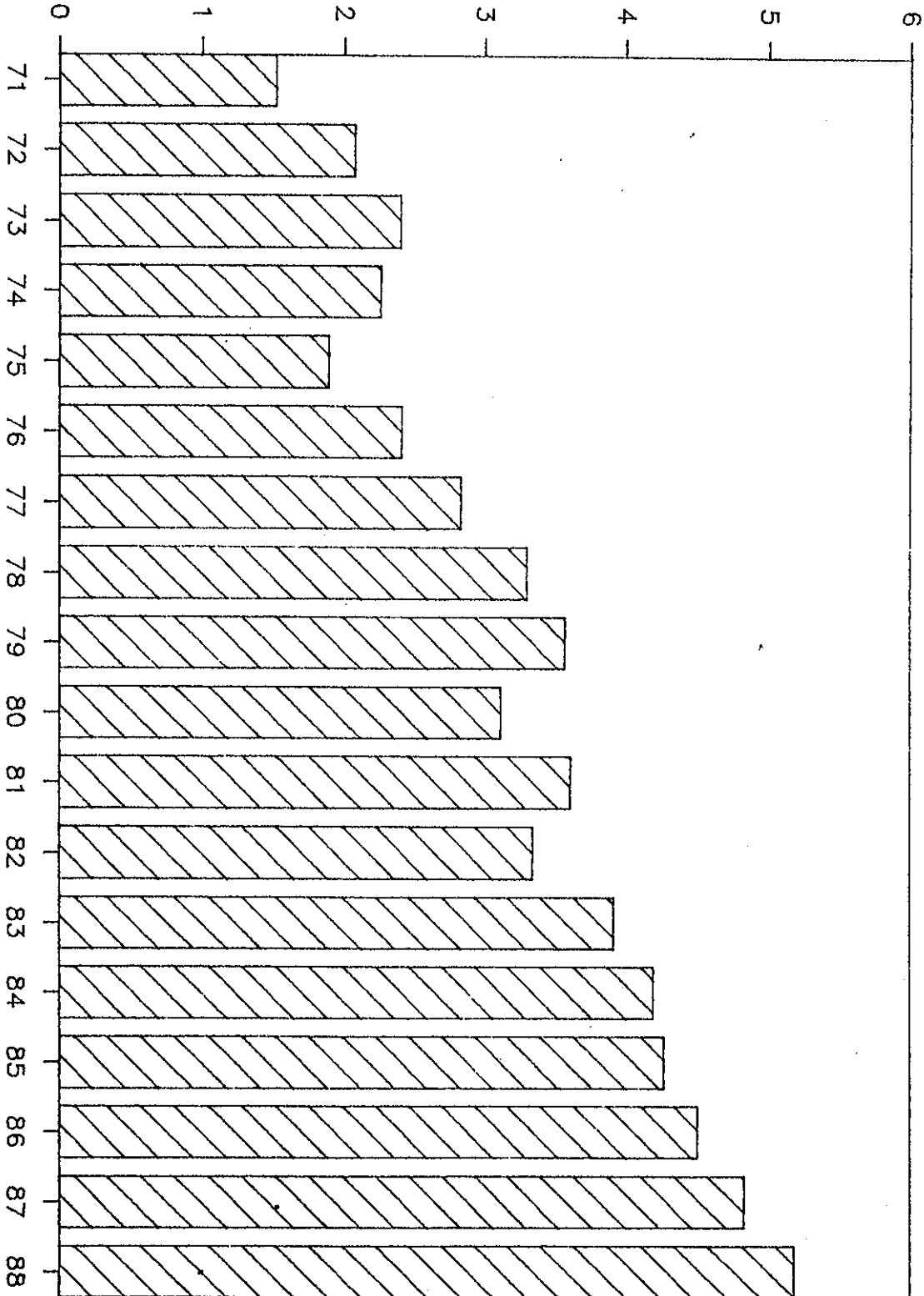
50	אלמנטים דקורטיביים
248	ריצוף
126	זיגוג
544	בידוד
62	תאורה
391	פאנלים
2,039	צנרת*
	* (מתוך זה 1,565 אלפי טונות הינם מוצרי PVC)
92	אביזרי אינסטלציה
179	פרופילים
1,308	דבקים לתעשיית העץ
97	מחסומי אדים
45	ציפויי קירות

אף שהנטייה הכללית בצריכת החומרים הפלסטיים בבנייה היא בעלייה רצופה, ובשני העשורים האחרונים גדלה הצריכה (בארה"ב) ביותר מפי 3 - מ-1.5 מיליון טון ליותר מ-5 מיליון טון לשנה - הרי השימוש בהם בבנייה הושפע במידת רבה מהתפתחויות פוליטיות-כלכליות. כך למשל נרשמה נסיגה בצריכה לאחר 1973 עקב משבר האנרגיה הכלל עולמי, ובראשית שנות ה-80 כתוצאה ממיתון כלכלי מסויים שפקד את ארה"ב באותן השנים. איור מס' 1 מסכם גרפית את רמות הצריכה משנת 1971 ועד 1988.

consumption, (million tons)

# PLASTIC MATERIALS IN BUILDING IN U.S.A.

1 000 712K



### 3.1 כיווני ההתפתחות בשנים האחרונות

טבלה מס' 5 מפרטת את השימוש במוצרים פלסטיים בבנייה בארה"ב בשנים 1986 עד 1989 על פי סוגי המוצרים ובחלוקת משנה של חומרי גלם. שני המוצרים המובילים ברשימה מבחינת החיקף הכמותי של הצריכה שלהם הינם מערכות הצנרת הפלסטית והמוספים הפולימריים לתעשיית העץ (Resin Bonded Woods). בתחום הצנרת בולט חלקו הנכבד של ה-PVC. אולם בשנים האחרונות ניתן להבחין בהתמתנות הדרגה למוצרי PVC בתחום זה, עקב הרווייה בשוק הבנייה בצנרת פלסטית, ועלייה ביכולת הייצור של מוצרים אלה במקומות נוספים בעולם. אולם הירידה בדרישה למוצרי PVC אלה מתאזנת על ידי גידול ניכר בצריכת פנלים פנימיים וחיפויים קיר עשויים אף הם מ-PVC. גם בצריכת ה-PVC למטרות ריצוף פלסטי חל גידול קבוע בשנים האחרונות על אף ההתמתנות הכללית האופיינית.

(ענף המוספים הפולימריים לתעשיית העץ אינו ישים למתרחש אצלנו מאחר והבנייה בעץ והשימוש בלוחות עץ לבנייה אינם מהווים חלק גדול מחומרי הבנייה המקובלים בארץ). מן הטבלה ניתן לראות כי הגידול העיקרי בשימוש בחומרים הפלסטיים בבנייה בשנים האחרונות היה בתחום הלמינטים הדקורטיביים, ריצוף PVC גמיש, פנלים וחיפוי קיר חיפויים מ-PVC קשיח, ציפוי קיר (טפט) מ-PVC ומוספים פנוליים לתעשיית העץ לבנייה.

### 3.2 מגמות הצריכה והתחזית לשנים הקרובות

תחזית מעניינת של צריכת מוצר פלסטי בבנייה עוסקת בחיפוי קירות (Siding) מ-PVC בשוק הבנייה האמריקאי. טבלה 6 [7] מסכמת הן את הנתונים האמיתיים של עשרים השנים האחרונות והן את התחזית לעשור הקרוב. מעניין לראות כי אם בשנת 1975 אחוז חיפוי הקיר מ-PVC מכלל הצריכה של אותה שנה היה פחות מ-2% הרי התחזית לשנת 2000 היא של למעלה מ-20%, עלייה של יותר מפי 10 במשך 25 שנה, כשבאותה תקופה הביקוש הכללי לחיפוי קירות עלה פי 2 בלבד. אין ספק שזהו הישג מרשים לחיפוי ה-PVC ודוגמא טובה (יחד עם מה שקרה בתחום הצנרת) לחשיבותם ועוצמתם של המוצרים הפלסטיים בבנייה. מבחינה כמותית יעלה מספר חיפוי הקיר מ-PVC ממיליון יחידות ב-1975 ל-20 מיליון ומעלה יחידות בשנת 2000.

אלא שלא הכל כה ורוד. ניתוח המגמות ותוואי ההתפתחות של צריכת החומרים הפלסטיים בבנייה בארה"ב מלמדת כי חלה התמתנות בגידול השנתי בצריכה הכללית. טבלה 7 [8] מסכמת את נתוני הצריכה בשני העשורים האחרונים וכוללת תחזית לשנים הקרובות, כאשר הנתונים מסווגים הן על פי השווקים העיקריים והן על פי חומרי הגלם העיקריים. נמצא כי בשנים הראשונות ל"בום" של השימוש בחומרים פלסטיים בבנייה, 1972-1986,

## PLASTICS IN BUILDING IN THE U.S.A. : 5 תבלה

Application/ material	1000 tonnes			
	1986	1987	1988	1989
Decorative laminates				
Phenolic	18	22	31	40
Urea and melamine	20	23	19	31
Flooring <sup>a</sup>				
Epoxy	8	8	11	11
PVC	139	156	168	173
Urethane foam (rug underlay)	59	61	146	146
Glazing and skylights				
Acrylic	53	56	60	62
Reinforced polyester	18	18	19	20
Polycarbonate	45	46	47	49
Insulation				
Phenolic (binder)	191	192	229	236
Polystyrene foam	76	79	107	115
PUR foam (rigid)	205	202	236	205
Lighting fixtures				
Acrylic	15	15	20	21
Cellulosics	2	2	2	2
Polycarbonate	5	5	5	5
Polystyrene	18	17	21	20
PVC	14	16	16	14
Panels and siding				
Acrylic	8	9	12	13
Butyrate	2	2	2	2
PVC	249	294	320	349
Reinforced polyester	56	55	53	55
Pipe, fittings, conduit				
ABS	71	75	70	73
Epoxy (coatings)	5	5	6	7
HDPE	230	255	244	223
LDPE	41	46	55	61
Polypropylene	15	17	14	15
Polystyrene	10	7	11	10
PVC	1505	1606	1563	1452
Reinforced polyester	62	61	65	67

Application/ material	1000 tonnes			
	1986	1987	1988	1989
Profile extrusions <sup>b</sup>				
PVC (incl. foam)	140	163	150	150
Polyethylene	4	5	5	5
Plumbing				
Acetal	6	6	7	7
Acrylic	15	15	18	19
Polyester thermoplastic	3	3	3	3
Polyphenylene-based alloys	2	2	2	2
Polystyrene	9	9	10	9
Reinforced polyester	46	46	51	51
Resin-bonded woods				
Phenolic	578	612	837	863
Urea and melamine	460	500	514	441
Vapor barriers				
LDPE	70	71	77	82
PVC <sup>c</sup>	21	21	22	25
Wall coverings				
Polystyrene	10	11	12	12
PVC	17	27	31	34
<hr/> Total	<hr/> 4521	<hr/> 4841	<hr/> 5291	<hr/> 5180
a: Excluding bonding or adhesive materials.				
b: Including windows, rainwater systems, etc.				
c: Including swimming pool liners.				



טבלה 6: צריכת חיפויי קיר (Siding) פלסטיים בארה"ב (מיליוני ריבועים) - תחזית

2000	1993	1988	1980	1975	1970	
95.00	83.00	73.95	53.95	51.65	52.10	צריכה כללית
23.4	20.2	16.2	6.8	1.9	1.6	% - Siding הפלסטי
22.2	16.8	11.90	3.67	1.00	0.85	צריכת ה- Siding הפלסטי
18.2	14.1	10.20	2.97	0.72	0.63	מגורים
1.7	1.1	0.65	0.22	0.06	0.05	משרדים
0.1	0.1	0.05	0.03	0.01	-	מבני תעשייה
1.0	0.6	0.35	0.16	0.09	0.07	מבני הינוך
1.2	0.9	0.65	0.29	0.12	0.10	אחרים

טבלה 7: צריכת החומרים הפלסטיים בבנייה בארה"ב (אלפי טון) - תחזית

% גידול שנתי			1995	1991	1986	1972	
91-95	86-91	72-86					
3.7	4.1	5.5	6272	5409	4434	2098	כללי
							לפי שווקים
4.2	4.8	9.1	572	485	383	113	* בידוד
4.1	4.3	6.8	2863	2436	1977	788	* צנרת
1.9	2.1	-0.7	135	125	112	125	* שימושי פנים
3.4	3.8	4.4	2700	2362	1960	1072	* שימושי חוץ
							לפי חומרים
4.5	4.9	6.0	2971	2487	1957	865	* פוליויניל כלוריד
2.9	3.1	7.1	769	686	588	225	* שרפים פנוליים
5.2	5.4	12.8	119	97	76	14	* ת. פלסטיים הנדסיים
3.0	3.3	4.4	2412	2136	1812	993	* אחרים

היה שיעור הגידול השנתי הממוצע כ-5.5%, אולם בשנים האחרונות ירד שיעור הגידול השנתי הממוצע והוא עומד עתה על כ-4% לשנה (נתון זה מתייחס לשנים 1986-1991, כלומר כולל בתוכו גם תחזית לשנה-שנתיים הקרובות). גם התחזית לשנים הקרובות מראה על ירידה כלשהי בגידול השנתי ומשערים כי בחמש השנים הבאות, 1991-1995 יעמוד הגידול הממוצע בצריכה השנתית על 3.7%.

תופעה זו של מיתון בגידול אינה מפתיעה, היא חלק מההתמתנות הכללית בבנייה החדשה בעולם המערבי שמקורה בחקטנת הריבוי הטבעי בשנים האחרונות ובחיות החברות המערביות כבר לאחר שנות השיא של הבנייה שלאחר מלחמת העולם השנייה. גם ה"התלהבות" הראשונית להתמרת חומרי בנייה קונבנציונליים במוצרים פלסטיים כבר במידה מסויימת מאחורינו והמסות הגדולות של חומרים ומוצרים שניתן להחליפם במוצרים פלסטיים כבר הוחלפו בשנות השבעים והשמונים, כך שעתה יהיה השימוש במוצרים אלה פחות "המונני" ויותר מסווג. תופעה זו בולטת במיוחד במוצרי הבידוד והצנרת. עד לפני שניים-שלושה עשורים היו כל המוצרים האלה עשויים מחומרים מקובלים זה דורות. הבידוד התרמי - מסיבים מינרליים למיניהם, והצנרת - ממתכות ברזליות ולא ברזליות. עם החדירה של המוצרים הפלסטיים המתאימים לשוק הוחלפו רבים ממוצרי הבידוד והצנרת הישנים במוצרים הפלסטיים החדשים, מה שתרם לאחוזי גידול משמעותיים ביותר בשני שווקים אלה. שיאה של ההחלפה המסיבית כבר מאחורינו וחדבר מתבטא בצורה ברורה בירידה באחוזי הגידול השנתי. כך למשל היה הגידול השנתי בתחום מוצרי הבידוד 9.1% בשנים 72-86, ואילו בשנים האחרונות הוא ירד ל-4.6%. באותן תקופות ירדו הנתונים המקבילים בענף הצנרת הפלסטית מ-6.8% ל-4.8%.

מעניין לציין כי השוק היחיד שבו יש עלייה באחוזי הגידול השנתי הינו שוק שימושי הפנים. אולם שוק זה הוא עדיין קטן מאד והשפעתו הכללית על מגמות ההתפתחות קטנה.

#### 4. סיכום

דומה שאין עוררים על העובדה כי במרוצת ההיסטוריה הקצרה מאד של שימוש מסחרי בחומרים פלסטיים הם קבעו וביססו את אחיזתם בענף הבנייה באופן ברור ובולט. למעשה קשה לדמיין היום את המבנה והבניין ללא חומרים פלסטיים. ואף על פי כן הכמות הכללית של החומרים הפלסטיים הנכללת היום בבניין חדש היא קטנה מאד, זאת גם בגלל מגבלות טכנולוגיות-הנדסיות וגם בגלל עקבות פסיכולוגיים.

מחד נראה כי הנטייה להשתמש בחומרים פלסטיים בבנייה תלך ותגדל בשנים הבאות ואנו נמצא יותר ויותר חומרים ומוצרים פלסטיים בשימוש במבנה, אולם מאידך נראה כי מגמת הגידול השנתי הניכר שאפיינה את השימוש בחומרים אלה בשנות השבעים וראשית השמונים תתמתן בשנים הקרובות במידת מה.

אף שגם בעתיד הקרוב עיקר השימוש יהיה למטרות ולשימושים לא מבניים, כפי שכבר נזכר לעיל, יש לשער כי ילך ויגבל השימוש בחומרים פלסטיים למטרות מתקדמות יותר: - חלקי מבנה שלמים דוגמת חדרי מטבח או אמבטיה על ציודם שיהיו מיוצרים מחומרים פלסטיים ויגיעו בצורה מוגמרת לאתר הבנייה להתקנה בלבד.

- שימוש בחומרים פלסטיים משוריינים למטרות קונסטרוקטיביות או חצי קונסטרוקטיביות. כך למשל ניתן יהיה להביא לאתר חלקי קיר או חלקי רצפה עשויים אלמנטים פלסטיים משוריינים בעלי יכולת לעמוד בעומסים רצויים. כמו כן ילך ויגבר השימוש בחומרים מרוכבי סיבים כחומרי מבנה נושאי מעמס.

- שימוש בפולימרים הנדסיים מתקדמים. על אף מחירם הגבוה של חומרים מתקדמים אלה אין ספק כי עם השנים הם יחדרו יותר ויותר לתחום הבנייה שהוא השוק המתבקש עבורם לאחר הנסיון שנרכש עמם בתחומי התעופה והרכב. לפולימרים ההנדסיים תכונות מכניות טובות יותר מאשר לפולימרים המקובלים ובמקרים רבים אף עמידות אש טובה יותר. גם השימוש בסיבי שריון מתוחכמים (ולא רק סיבי זכוכית) דוגמת סיבי הפחמן וה"קבלר" יהיו חלק מן המגמה של שימוש בחומרים מתקדמים, גם אם יקרים.

- שימוש בפולימרים לשיפור התהליכים הטכנולוגיים בתעשיית הבנייה. זה כולל את השימוש במוספים פולימריים לבטון כדי להקנות לו תכונות רצויות וכדי לשפר את עמידותו, ואת השימוש בדבקים פולימריים למטרות מבניות הן לצרכי תיקונים והן לחיבור קונסטרוקטיבי של חלקי מבנה זה לזה.

גם בארץ מהווה שוק הבנייה אתגר חשוב ונכבד לתעשיית הפלסטיקה, הן לשימוש מקומי והן כמוצרי ייצוא. דווקא ההתעוררות החיובית של שוק הבנייה בארץ בתקופה האחרונה ממש, התעוררות שמקורה בעלייה הצפויה, והצורך בבנייה מתועשת, מחירה ויעילת פותח אפשרויות חשובות מאד לתעשיית הפלסטיקה.

בין פילחי השוק המתאימים להכוונת תעשיית הפלסטיקה בארץ כדאי למנות את הנושאים הבאים:

- יריעות מוכנות לחיפוי ואיטום גגות.
- פאנלים ומסגרות לחלונות ודלתות.
- מוצרי ריצוף.
- מחיצות מרוכבות לקירוי פנימי.
- אביזרי צנרת ואינסטלציה.
- חיפויי קיר (Siding).

להוציא את המוצר האחרון הרי כולם מתאימים הן לצריכה מקומית בתעשיית הבנייה בארץ, והן כמוצרי יצוא לשווקי העולם. אשר לחיפויי הקיר נראה כי עקב תביקוש הנרחב הצפוי במוצר זה, הוא יכול לשמש כמוצא יצוא חשוב מאד ועם השנים, אולי לתפוס מקום גם בתעשיית הבנייה בארץ.

לסיכום, אין ספק (לי, מכל מקום) כי עם ההתקדמות המדעית והטכנולוגית בשטח הכללי של הפולימרים והחומרים הפלסטיים ועם הכרתנו והבנתנו הטובה יותר את החומרים האלה ואת תכונותיהם, השימוש בחומרים פלסטיים יהיה תרומה מכרעת ומשמעותית ביותר לתעשיית הבנייה בשנים הבאות.

## 5. מראי מקום

1. Modern Plastic International, January 1989
2. סקר ענף הפלסטיקה בישראל, פברואר 1985, הוצאת מכון הפלסטיק לישראל.
3. A.G.H. Dietz, Plastics in Building: Past, Present and Future, in "Plastic in Material and Structural Engineering", ed. by R.A. Bares, Elsevier, 1982, p. 689.
4. Modern Plastic International, Aug. 1988, p.11.
5. משה פוטרמן, "חומרים פלסטיים בבנייה", בהוצאת התחנה לחקר הבנייה, הטכניון, חיפה, יולי 1984.
6. משה פוטרמן, "חומרים פלסטיים בבנייה - חלק שני", בהוצאת התחנה לחקר הבנייה, הטכניון, חיפה, מרץ 1988.
7. Plastics in Building & Construction, Oct. 1989
8. Plastics in Building & Construction, Nov. 1988

\* \* \*

## הבעת תודה

המחבר מודה לאדריכל דוד צבינק על חלקו באיסוף המידע ובהכנת הרשימה.

\* \* \*