



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΑΙΓΑΙΟΥ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ  
ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

# Ανακύκλωση Πλαστικού και Επαναχρησιμοποίηση:

## ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ

ΜΥΡΤΩ ΚΥΡΙΑΚΗ ΤΑΦΥΛΛΗ DP5D07049

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ Π. ΠΑΠΑΝΙΚΟΣ

1ο ΜΕΛΟΣ Ν. ΖΑΧΑΡΟΠΟΥΛΟΣ

2ο ΜΕΛΟΣ ΣΠ. ΜΠΟΦΥΛΑΤΟΣ

ΣΥΡΟΣ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2020

## **ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ**

Δηλώνω υπεύθυνα ότι η διπλωματική εργασία είναι εξ' ολοκλήρου δικό μου έργο και κανένα μέρος της δεν είναι αντιγραμμένο από έντυπες ή ηλεκτρονικές πηγές, μετάφραση από ξενόγλωσσες πηγές και αναπαραγωγή από εργασίες άλλων ερευνητών ή φοιτητών. Όπου έχω βασιστεί σε ιδέες ή κείμενα άλλων, έχω προσπαθήσει, όσο είναι δυνατόν, να το προσδιορίσω σαφώς μέσα από την χρήση αναφορών, ακολουθώντας την ακαδημαϊκή δεοντολογία.

Η Προπτυχιακή Φοιτήτρια

Μυρτώ – Κυριακή Ταφύλλη

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω ονομαστικά του ανθρώπους οι οποίοι συνέβαλαν καθοριστικά στην εκπόνηση αυτής της εργασίας και στην επιτυχή ολοκλήρωση των σπουδών μου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Παρασκευά Παπανίκο, για την διαρκή καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές που μου πρόσφερε, αλλά κυρίως για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της παρούσης εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πατέρα μου και τη μητέρα μου, οι οποίοι είναι πάντα δίπλα μου σε κάθε μου βήμα στηρίζοντας τις αποφάσεις μου και συμβάλλοντας καθοριστικά στο ποια είμαι σήμερα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω συγγενείς και φίλους για την υποστήριξή τους σε όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής και των προσπαθειών μου γενικότερα.

Σας ευχαριστώ όλους.

Μυρτώ

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΧΟΜΕΝΩΝ

<b>1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Η ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ.....</b>	<b>1</b>
1.1.1. Η πραγματικότητα της κλιματικής αλλαγής.....	1
1.1.2. Η συμβολή της εξόρυξης και της επεξεργασίας των υλικών, των καυσίμων και των τροφίμων στην παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου.....	1
1.1.3. Απόβλητα και ρύπανση, το τίμημα της αυξανόμενη εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων.....	3
<b>1.2. ΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΩΣ «ΠΡΟΪΟΝ» ΤΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΩΝ .....</b>	<b>4</b>
1.2.1. Τύποι αποβλήτων .....	5
1.2.1.1. Ειδικότερη ταξινόμηση με βάση την πηγή προέλευσης (ΕΣΔΑ, 2015). .....	6
1.2.2. Πηγές παραγωγής αποβλήτων στις χώρες της ΕΕ .....	7
1.2.2.1. Τα Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ).....	7
1.2.2.2. Τα οικιακά απόβλητα.....	9
<b>1.3. Η ΔΟΜΗ ΤΥΠΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ .....</b>	<b>10</b>
1.3.1. Λειτουργικά σημεία ενός τυπικού συστήματος διαχείρισης στερεών αποβλήτων.....	10
1.3.1.1. Διαδικασίες της πηγής.....	10
1.3.1.2. Συλλογή.....	11
1.3.1.3. Επεξεργασία.....	12
1.3.1.4. Μεταφόρτωση και μεταφορά .....	13
1.3.1.5. Κατεργασία .....	13
1.3.2. Τύποι Κατεργασίας Αποβλήτων.....	14
1.3.2.1. Μηχανική .....	14
1.3.2.2. Θερμική.....	14
1.3.2.3. Βιολογική .....	15
1.3.3. Επιδόσεις των συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων .....	16
<b>1.4. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΙΕΡΑΡΧΗΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΕΠΙΛΟΓΩΝ .....</b>	<b>17</b>
1.4.1. Από τη γραμμική στην κυκλική οικονομία.....	17
1.4.2. Η Ευρωπαϊκή κατεύθυνση για την ιεράρχηση των διαθέσιμων επιλογών για τη διαχείριση των αποβλήτων 19	
1.4.2.1. Ειδικότερες προβλέψεις της Οδηγίας 2008/98/ΕΚ .....	20
1.4.3. Η ιεράρχηση των διαθέσιμων επιλογών για τη διαχείριση των αποβλήτων σύμφωνα με τα μοντέλα του ΟΗΕ και των ΗΠΑ 21	
1.4.4. Τα απόβλητα ως πηγή δευτερογενών προϊόντων και υλικών .....	22
1.4.5. Πρόληψη και Περιορισμός των αποβλήτων.....	23
1.4.5.1. Η πολιτική της ΕΕ .....	23
1.4.5.2. Τα «εργαλεία» για την επίτευξη του στόχου .....	24
1.4.5.2.1. Καθαρότερη Παραγωγή.....	24
1.4.5.2.2. Πράσινη βιομηχανοποίηση .....	24
1.4.5.3. Επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων .....	25
1.4.5.4. Ανακύκλωση .....	25
1.4.5.4.1. Η έννοια και η σημασία της.....	25
1.4.5.4.2. Οι στόχοι της ΕΕ για την ανακύκλωση και ειδικότερες προβλέψεις.....	26
1.4.5.5. Ανάκτηση .....	28
1.4.5.5.1. Βιολογική ανάκτηση.....	28
1.4.5.5.2. Ανάκτηση ενέργειας από τα απόβλητα.....	28
1.4.5.6. Απόθεση.....	29
<b>1.5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>30</b>

<b>2.</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ, ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥΣ .....</b>	<b>31</b>
2.1.	ΤΟ ΥΛΙΚΟ, ΟΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΚΑΙ Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ .....	31
2.2.	ΤΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟ, ΕΝΑ ΕΠΑΝΑΣΤΑΤΙΚΟ ΚΑΙ ΠΟΛΥΤΙΜΟ ΥΛΙΚΟ .....	31
2.3.	Η ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΑΙ Η ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ .....	32
2.4.	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ .....	33
2.4.1.	Επεξεργασία της πρώτης ύλης για την παραγωγή πολυμερών. ....	34
2.4.2.	Διάκριση Πολυμερών.....	35
2.4.3.	Τα πλέον Χαρακτηριστικά Πολυμερή .....	37
2.4.3.1.	Πολυαιθυλένιο (PE) .....	37
2.4.3.2.	Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LDPE) .....	38
2.4.3.3.	Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE) .....	38
2.4.3.4.	Τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PETE ή PET) .....	39
2.4.3.5.	Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) .....	39
2.4.3.6.	Πολυπροπυλένιο (PP) .....	40
2.4.3.7.	Πολυστυρένιο (PS) .....	40
2.4.4.	Ανάμιξη (Comounding) .....	41
2.4.4.1.	Διαδικασία και μέθοδοι ανάμιξης.....	41
2.4.4.2.	Πρόσθετα (additives) .....	44
2.4.5.	Μορφοποίηση.....	45
2.4.6.	Διαδικασίες μετά τη μορφοποίηση .....	48
2.4.6.1.	Τεχνικές σύνδεσης .....	48
2.4.6.2.	Επεξεργασίες της επιφάνειας του προϊόντος .....	49
2.4.7.	Συμπεράσματα.....	50
2.5.	ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ .....	50
2.5.1.	Ταξινόμηση ως προς την αναμενόμενη διάρκεια ζωής.....	51
2.5.2.	Ταξινόμηση με βάση το είδος του ανακυκλώσιμου πολυμερούς.....	51
2.5.3.	Ταξινόμηση ως προς τον τομέα εφαρμογής.....	52
2.6.	ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ .....	53
2.6.1.	Πλαστικά συσκευασίας.....	53
2.6.2.	Αμιγώς πλαστικά μικροαντικείμενα οικιακής χρήσης.....	58
2.6.3.	Συμπεράσματα.....	60
2.7.	ΑΠΟΣΥΝΘΕΣΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ (DEGRADATION) .....	60
2.8.	ΟΙ ΑΝΕΠΙΘΥΜΗΤΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΟΙΝΩΝΙΑ. ....	62
2.8.1.	Ρύπανση από πλαστικά απόβλητα.....	62
2.8.2.	Θαλάσσια ρύπανση από πλαστικά απόβλητα.....	64
2.8.2.1.	Το πρόβλημα σε παγκόσμια κλίμακα.....	64
2.8.2.2.	Η Διάσταση του προβλήματος σε επίπεδο ΕΕ .....	65
2.8.2.3.	Η Διάσταση του προβλήματος στην Ελλάδα.....	66
2.8.3.	Το ειδικότερο πρόβλημα των μικροπλαστικών .....	67
2.8.4.	Ουσίες των πλαστικών που ενδεχόμενα εγκυμονούν κινδύνους για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία. 67	
2.9.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	69
<b>3.</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΟΙΚΙΑΚΑ ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ .....</b>	<b>71</b>
3.1.	ΑΝΑΚΤΗΣΗ (RECOVERY) ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ .....	71
3.2.	ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ .....	73
3.2.1.	Μηχανική Ανακύκλωση .....	73
3.2.2.	Χημική Ανακύκλωση .....	74

3.2.3.	Αποδοτικότητα ανακύκλωσης .....	75
<b>3.3.</b>	<b>ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (WASTE-TO-ENERGY) .....</b>	<b>75</b>
<b>4.</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ .....</b>	<b>77</b>
<b>4.1.</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>77</b>
<b>4.2.</b>	<b>ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ .....</b>	<b>78</b>
4.2.1.	Προγράμματα Συλλογής Οικιακών Πλαστικών .....	79
4.2.1.1.	Προγράμματα συλλογής «Από πόρτα-σε-πόρτα» υπολειμματικών αποβλήτων .....	79
4.2.1.2.	Προγράμματα συλλογής «Από πόρτα-σε-πόρτα» με διαλογή στη Πηγή .....	80
4.2.1.3.	Προγράμματα Απόθεσης( Drop-off/ Bring Points).....	81
4.2.1.4.	Προγράμματα επιστροφής χρημάτων ή παροχής κινήτρων.....	82
4.2.2.	Επιλογή Προγραμμάτων συλλογής.....	82
4.2.3.	Αποδοτικότητα συστημάτων συλλογής.....	85
4.2.3.1.	Διαλογή Στη Πηγή .....	85
4.2.3.2.	Μέτρηση της αποδοτικότητας.....	85
<b>4.3.</b>	<b>ΑΝΑΚΤΗΣΗ - ΠΡΟ-ΔΙΑΛΟΓΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΩΝ.....</b>	<b>85</b>
4.3.1.	Τεχνικές και τεχνολογίες ανάκτησης των MRFs .....	86
4.3.1.1.	Χειρωνακτική διαλογή .....	86
4.3.1.2.	Τεχνικές μακρο-διαλογής .....	87
4.3.1.3.	Τεχνικές micro-sorting .....	88
4.3.1.4.	Ταξινόμηση των MRFs με βάση τις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες διαλογής .....	89
4.3.2.	Ανάκτηση υλικών από θρώμκη MRF μέσω προγράμματος συλλογής χωρίς Διαλογή στη Πηγή .....	90
4.3.3.	Ανάκτηση υλικών σε Καθαρή MRF, μέσω προγραμμάτων συλλογής με Διαλογή στη Πηγή.....	91
4.3.3.1.	Οι διαφορετικές διαδρομές των ανακυκλώσιμων ρευμάτων καθαρού πλαστικού και μικτών ανακυκλώσιμων υλικών.....	91
4.3.3.2.	Καθαρές εγκαταστάσεις ανάκτησης πλαστικών και λοιπών υλικών .....	93
4.3.3.3.	Παραδείγματα ανάκτησης πλαστικού από μικτά ανακυκλώσιμα σε καθαρές εγκαταστάσεις ανάκτησης υλικού .....	95
4.3.3.3.1.	Με τεχνική και τεχνολογία macro-sorting .....	95
4.3.3.3.2.	Με τεχνική και τεχνολογία micro-sorting .....	96
4.3.3.4.	Εγκαταστάσεις ανάκτησης αποκλειστικά πλαστικών υλικών (plastic recovery facilities-PRFs).....	98
4.3.3.5.	Σύνθεση κλασμάτων πλαστικών.....	98
<b>4.4.</b>	<b>ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΤΩΝ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ .....</b>	<b>102</b>
4.4.1.	Παράδειγμα ανακύκλωσης φιαλών PET.....	103
<b>4.5.</b>	<b>ΤΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΕΜΠΟΔΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ .....</b>	<b>107</b>
<b>5.</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Η ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΕ, ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ.....</b>	<b>109</b>
<b>5.1.</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>109</b>
<b>5.2.</b>	<b>Η ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ .....</b>	<b>112</b>
<b>5.3.</b>	<b>ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ .....</b>	<b>114</b>
<b>5.4.</b>	<b>ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....</b>	<b>116</b>
5.4.1.	Υφιστάμενη κατάσταση των ροών πλαστικών συσκευασιών.....	116
5.4.2.	Παραγωγή και συλλογή αποβλήτων.....	117
5.4.3.	Απόδοση της διαλογής και ανακύκλωσης.....	119
5.4.4.	Τελική Χρήση.....	120
<b>5.5.</b>	<b>ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ .....</b>	<b>121</b>
5.5.1.	Σχεδιασμός των προϊόντων .....	121
5.5.2.	Υψηλές εμπορικές και τεχνικές απαιτήσεις και όμοιες της νομοθεσίας .....	123

5.5.3.	Συλλογή Αποβλήτων .....	124
5.5.3.1.	Παραδείγματα συστημάτων συλλογής πλαστικού συσκευασίας ευρωπαϊκών χωρών.....	124
5.5.3.2.	Υψηλός ανταγωνισμός με την υγειονομική ταφή και την αποτέφρωση .....	125
5.5.4.	Πίεση από το κόστος των συστημάτων και των μηχανισμών τιμολόγησης.....	126
5.5.5.	Συλλογή οικιακών αποβλήτων.....	127
5.5.6.	Διαλογή και ανακύκλωση .....	130
5.5.7.	Τελική χρήση.....	131
5.5.8.	Έλλειψη επικοινωνίας σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας .....	132
5.5.9.	Προκλήσεις και ευκαιρίες για τον τομέα ανακύκλωσης .....	133
5.5.9.1.	Προκλήσεις .....	133
5.5.9.2.	Ευκαιρίες.....	134
<b>6.</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΕ ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ .....</b>	<b>135</b>
6.1.	<b>Η ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΕ ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΜΕΙΩΣΕΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ. 135</b>	
6.2.	<b>ΝΕΑ ΥΛΙΚΑ .....</b>	<b>136</b>
6.3.	<b>ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ .....</b>	<b>139</b>
6.4.	<b>ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΑΙ ΒΙΟ-ΑΠΟΔΟΜΗΣΗ .....</b>	<b>140</b>
6.5.	<b>ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ .....</b>	<b>142</b>
6.6.	<b>ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΩΝ .....</b>	<b>143</b>
6.6.1.1.	Νέα οπτική για την επαναχρησιμοποίηση .....	143
6.6.1.2.	Τα πλεονεκτήματα της επαναχρησιμοποίησης των συσκευασιών .....	144
6.6.1.3.	Μοντέλα επαναχρησιμοποιήσιμης συσκευασίας.....	147
<b>7.</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>151</b>
7.1.	<b>ΓΕΝΙΚΑ.....</b>	<b>151</b>
7.2.	<b>ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ .....</b>	<b>152</b>
7.3.	<b>ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ .....</b>	<b>154</b>
7.4.	<b>ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ .....</b>	<b>155</b>
7.5.	<b>ΠΡΟΛΗΨΗ ΚΑΙ ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ .....</b>	<b>155</b>
7.6.	<b>ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ .....</b>	<b>156</b>
7.7.	<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>158</b>

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1: ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΕΞΟΥΡΕΣΗ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ (UNEP, 2019) .....	2
ΣΧΗΜΑ 2: ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΝΤΕΛΟΥΝ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ, ΣΤΙΣ ΠΙΕΣΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΤΟ ΝΕΡΟ, ΣΕ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ (UNEP, 2019) .....	2
ΣΧΗΜΑ 3: Η ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΥΛΙΚΟΥ, ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΑΕΠ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ (UNEP, 2019)...	3
ΣΧΗΜΑ 4: ΠΗΓΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΑ Κ-Μ ΤΗΣ ΕΕ (EUROSTAT) .....	7
ΣΧΗΜΑ 5: ΠΗΓΕΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ (RICHEL, 2014).....	8
ΣΧΗΜΑ 6: ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ (RICHEL, 2014) .....	8
ΣΧΗΜΑ 7: ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ, ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΦΟΡΤΗΓΟΥ ΣΥΛΛΟΓΗΣ (THEMELIS N. J., ΒΟΥΤΣΑΛΑΣ A. C., 2019) .....	13
ΣΧΗΜΑ 8: ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ ΠΡΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΕΝΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ, ΑΠΟ ΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΙΣΑΒΟΝΑΣ (NI-BIN C., PIRES A., 2015).....	15
ΣΧΗΜΑ 9: ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ (THEMELIS N. J., ΒΟΥΤΣΑΛΑΣ A. C., 2019) .....	16
ΣΧΗΜΑ 10: ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ (ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ) .....	18
ΣΧΗΜΑ 11: ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ (ΕΥΡΩΠΕΑΝ PARLIAMENT).....	19
ΣΧΗΜΑ 12: ΜΟΝΤΕΛΟ ΙΕΡΑΡΧΗΣΗΣ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ (ΕΥΡΩΠΕΑΝ COMMISSION, 2009) .....	20
ΣΧΗΜΑ 12: ΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΑΡΧΗΣ ΤΗΣ ΙΕΡΑΡΧΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΗΠΑ ΚΑΙ ΟΗΕ (NI-BIN C., PIRES A., 2015).....	21
ΣΧΗΜΑ 13: ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΩΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΕΣ ΠΟΡΟΙ (NI-BIN C., PIRES A., 2015) .....	23
ΣΧΗΜΑ 14: ΣΤΟΧΟΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΕ (ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ, 2018) .....	27
ΣΧΗΜΑ 15: ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΑΙ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ (PLASTICS EUROPE, 2018) .....	32
ΣΧΗΜΑ 16: ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΑΙ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ (PLASTICS EUROPE, 2018) .....	33
ΣΧΗΜΑ 17: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΥΛΗΣ ΓΙΑ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ .....	41
ΣΧΗΜΑ 18: ΜΕΘΟΔΟΣ MELT CUT, ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΥΛΗΣ (BRUDER, 2015).....	42
ΣΧΗΜΑ 19: ΜΕΘΟΔΟΣ EXTRUDER STRANDS, ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΞΟΔΟΥ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΥΛΗΣ (BRUDER, 2015) .....	43
ΣΧΗΜΑ 20: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΣΚΟΠΟ ΠΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΟΥΝ (ΠΑΝΤΕΛΗΣ, 2008) .....	44
ΣΧΗΜΑ 21: ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΩΝ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥΣ (ANDRADY, 2015).....	45
ΣΧΗΜΑ 22: ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΘΕΡΜΟΣΚΛΗΡΥΝΟΜΕΝΑ (ANDRADY, 2015).....	47
ΣΧΗΜΑ 23 : ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΘΕΡΜΟΠΛΑΣΤΙΚΑ (ANDRADY, 2015) .....	47
ΣΧΗΜΑ 24: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ: ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΒΙΔΩΤΑ ΕΝΘΕΤΑ, ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΑ ΠΩΜΑΤΑ ΩΣ ΒΙΔΩΤΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΜΕ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΟ ΣΠΕΙΡΩΜΑ ΚΑΙ ΔΕΞΙΑ SNAP-FITS (BRUDER, 2015) .....	48
ΣΧΗΜΑ 25: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΟΝΙΜΗΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ .....	49
ΣΧΗΜΑ 26: ΤΑ ΣΗΜΑΤΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ .....	52
ΣΧΗΜΑ 27: ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΑΝΑ ΤΟΜΕΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ (ΠΗΓΗ: GEYER ET AL.) .....	53



ΣΧΗΜΑ 28: ΖΗΤΗΣΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΤΟ 2017 ΤΗΣ ΕΕ-28 ( + NO & CH) ΑΝΑ ΤΟΜΕΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ (PLASTICS EUROPE, 2018).....	54
ΣΧΗΜΑ 29: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΥΤΕΣ (EUROPEAN COMMISSION, 2011).....	56
ΣΧΗΜΑ 30: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΕΕ ΣΕ ΠΛΑΣΤΙΚΕΣ ΤΣΑΝΤΕΣ ΚΑΙ ΣΑΚΟΥΛΕΣ (EUROPEAN COMMISSION, 2011).....	57
ΣΧΗΜΑ 31: 2010, ΜΕΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΑΚΟΥΛΑΣ (EUROPEAN COMMISSION, 2011).....	57
ΣΧΗΜΑ 32: Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΦΙΑΛΩΝ, ΑΣΚΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΟΜΟΙΩΝ ΕΙΔΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ-27 ΑΠΟ ΤΟ 2003-2008 (ΔΙΣ. ΜΟΝΑΔΕΣ) (EUROPEAN COMMISSION, 2011).....	58
ΣΧΗΜΑ 33: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΑΥΤΑ).....	59
ΣΧΗΜΑ 34: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΝΑ ΧΩΡΑ ΣΕ ΕΚ. ΤΟΝΟΥΣ (ΠΗΓΗ: OUR WORLD IN DATA).....	63
ΣΧΗΜΑ 35: ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ (THE OCEAN CLEAN UP, N.D.).....	65
ΣΧΗΜΑ 36: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΙΣ ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΘΑΛΑΣΣΕΣ (WWF, 2019).....	66
ΣΧΗΜΑ 37: ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΡΕΥΜΑ ΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	72
ΣΧΗΜΑ 38: ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΟΡΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ.....	72
ΣΧΗΜΑ 39: ΘΕΡΜΙΔΙΚΗ ΑΞΙΑ ΥΛΙΚΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΑ.....	76
ΣΧΗΜΑ 40: ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ, 2015 (ΠΗΓΗ: BEST ENVIRONMENTAL MANAGEMENT PRACTICE FOR THE WASTE MANAGEMENT SECTOR).....	78
ΣΧΗΜΑ 41: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΣΕ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΕΣ ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΕΣ ΤΗΣ ΕΕ-28 (EUROPEAN COMMISSION, 2015).....	83
ΣΧΗΜΑ 42: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΟΥ.....	89
ΣΧΗΜΑ 43: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΜΙΑ ΒΡΩΜΙΚΗ MRF (THEMELIS).....	91
ΣΧΗΜΑ 44: ΔΙΑΔΡΟΜΕΣ ΤΟΥ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΣΥΛΛΟΓΗΣ.....	92
ΣΧΗΜΑ 45: ΔΙΑΛΟΓΗ ΣΤΗ ΠΗΓΗ ΦΙΑΛΩΝ – ΡΟΗ ΚΛΑΣΜΑΤΩΝ ΒΑΣΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΤΗΣ MRF (WRAP, 2012).....	94
ΣΧΗΜΑ 46: ΔΙΑΛΟΓΗ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ PMD, ΠΗΓΗ (RAGAERT K., 2017).....	95
ΣΧΗΜΑ 47: ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ ECO-OH!.....	97
ΣΧΗΜΑ 47B: ΜΕΣΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΩΝ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΡΟΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ MRFs (WRAP, 2015).....	99
ΣΧΗΜΑ 47Γ ΜΕΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΤΥΠΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΚΛΑΣΜΑ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΙΣ MRFs (WRAP, 2015).....	100
ΣΧΗΜΑ 48Α: ΣΥΝΘΕΣΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΚΑΙ ΧΡΩΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΦΙΑΛΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΡΤΤ (WRAP, 2015).....	101
ΣΧΗΜΑ 48B ΑΛΥΣΙΔΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ PET ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ ΑΥΔΟΡ.....	104
ΣΧΗΜΑ 48Γ: ΙΔΑΝΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ-ΒΑΘΜΟΥ (BIRON, 2016).....	108
ΣΧΗΜΑ 49: ΠΙΘΑΝΑ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ.....	108
ΣΧΗΜΑ 50: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ (ΠΗΓΗ: EUROSTAT).....	109
ΣΧΗΜΑ 51: ΕΞΑΓΩΓΕΣ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΚΤΟΣ ΕΕ, ΑΝΑ ΧΩΡΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2019).....	111
ΣΧΗΜΑ 52: ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΣΤΑ ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΕΕ-28 (ΠΗΓΗ: EUROSTAT).....	112

ΣΧΗΜΑ 53: ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ, ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΤΗΣ ΕΕ ΓΙΑ ΤΟ 2015 Η 2016 (EUROSTAT).....	114
ΣΧΗΜΑ 54: ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ (DELOITTE SUSTAINABILITY).....	115
ΣΧΗΜΑ 55 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ SANKEY ΤΩΝ ΡΟΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΓΕΡΜΑΝΙΑΣ, ΓΑΛΛΙΑΣ, ΙΤΑΛΙΑΣ, ΙΣΠΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΗΝΩΜΕΝΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ (DELOITTE SUSTAINABILITY) .....	117
ΣΧΗΜΑ 56: ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΣΤΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΓΕΡΜΑΝΙΑΣ, ΓΑΛΛΙΑ, ΙΤΑΛΙΑΣ, ΙΣΠΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΗΝΩΜΕΝΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ (DELOITTE SUSTAINABILITY) .....	118
ΣΧΗΜΑ 57 : ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΣΤΗ ΓΕΡΜΑΝΙΑ, ΓΑΛΛΙΑ, ΙΤΑΛΙΑ, ΙΣΠΑΝΙΑ ΚΑΙ ΣΤΟ ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ (DELOITTE SUSTAINABILITY).....	118
ΣΧΗΜΑ 58: ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΟΥ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΣΤΗ ΖΗΤΗΣΗ ΑΝΑ ΤΟΜΕΑ (DELOITTE SUSTAINABILITY) .	120
ΣΧΗΜΑ 59: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΓΕΡΜΑΝΙΑΣ, ΓΑΛΛΙΑΣ, ΙΤΑΛΙΑΣ, ΙΣΠΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΗΝΩΜΕΝΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ (DELOITTE SUSTAINABILITY) .....	129
ΣΧΗΜΑ 60: ΡΥΘΜΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ PET ΣΤΗ ΓΕΡΜΑΝΙΑ, ΓΑΛΛΙΑ, ΙΤΑΛΙΑ, ΙΣΠΑΝΙΑ ΚΑΙ ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ -2015 (DELOITTE SUSTAINABILITY) .....	129
ΣΧΗΜΑ 61: ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΕΠΙΜΟΛΥΝΤΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ ΣΤΟ rPET ΣΤΗ ΓΕΡΜΑΝΙΑ, ΓΑΛΛΙΑ ΚΑΙ ΙΤΑΛΙΑ (DELOITTE SUSTAINABILITY) .....	130
ΣΧΗΜΑ 62: ΛΥΣΕΙΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ (GEF STAP 54TH COUNCIL MEETING, 2018) .....	138
ΣΧΗΜΑ 63: ΒΙΟ-ΠΛΑΣΤΙΚΑ -ΚΛΕΙΝΟΝΤΑΣ ΤΟΝ ΚΥΚΛΟ (ΠΗΓΗ: EUROPEAN BIOPLASTICS) .....	140
ΣΧΗΜΑ 64: ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟ-ΑΠΟΔΟΜΗΣΙΜΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ 2018-2023 (ΠΗΓΗ: EUROPEAN BIOPLASTICS) ..	141
ΣΧΗΜΑ 65: ΒΙΩΣΙΜΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΩΝ (ΠΗΓΗ: WIPAK).....	142
ΣΧΗΜΑ 66: ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΙΜΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΩΝ (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2019).....	145
ΣΧΗΜΑ 67: ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΩΝ (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION) .....	147
ΣΧΗΜΑ 69: ΞΑΝΑΓΕΜΙΣΜΑ ΣΤΟ ΔΡΟΜΟ (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION).....	149
ΣΧΗΜΑ 70: ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ ΑΠΟ ΤΟ ΣΠΙΤΙ (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION) .....	150
ΣΧΗΜΑ 71: ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ ΣΤΟ ΔΡΟΜΟ (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION).....	151

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία, πραγματεύεται την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των πλαστικών προϊόντων μετά τη χρήση τους, εστιάζοντας στην μηχανική ανακύκλωση των πλαστικών υλικών συσκευασίας, των καταναλωτικών και των πλαστικών οικιακής χρήσης.

Η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση του πλαστικού, συμπεριλαμβανομένου του οικιακού, δεν μπορεί να εξετάζεται μεμονωμένα, αλλά μέσα σε ένα ευρύ πλαίσιο το οποίο περιλαμβάνει πλήθος παραγόντων που αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Ο κύκλος ζωής του πλαστικού, περιλαμβάνει παραμέτρους που καθιστούν πλέον την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση του πλαστικού, στο μέγιστο δυνατό βαθμό, επιβεβλημένη. Στις παραμέτρους αυτές συμπεριλαμβάνονται: η εξάρτηση της παραγωγής του πλαστικού από ορυκτές πρώτες ύλες και ειδικότερα από το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, που η εξόρυξη και εκμετάλλευσή τους έχει συντελέσει στην κλιματική αλλαγή, η μεγάλη έκτασης ρύπανση του περιβάλλοντος και ιδιαίτερα των θαλασσών και των ωκεανών από πλαστικό, οι επιπτώσεις στην υγεία και στο περιβάλλον από ουσίες των πλαστικών που απελευθερώνονται στο περιβάλλον κ.λπ..

Ωστόσο, το πλαίσιο αυτό περιλαμβάνει και ιδιαίτερα σημαντικούς παράγοντες που για αντικειμενικούς λόγους περιορίζουν σε σημαντικό βαθμό τις υφιστάμενες δυνατότητες ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης του πλαστικού, όπως είναι: οι περιορισμοί, οι ανεπάρκειες και οι στρεβλώσεις του υφιστάμενου γραμμικού μοντέλου παραγωγής, οι δυνατότητες και οι περιορισμοί του υφιστάμενου μοντέλου και συστήματος διαχείρισης των αποβλήτων, τα κυρίαρχα καταναλωτικά πρότυπα κ.λπ.. Για να αντιμετωπιστούν ριζικά και με ολιστικό τρόπο τα προβλήματα που συσώρευσε η χρήση του πλαστικού, απαιτείται αυτό να μεταπέσει σε μοντέλο κυκλικής οικονομίας προκειμένου η παραγωγή του να είναι βιώσιμη με οικονομικούς και περιβαλλοντικούς όρους και μάλιστα σε παγκόσμια κλίμακα. Υπάρχουν ήδη σχετικές πρωτοβουλίες κυβερνήσεων και παραγωγικών φορέων προς αυτή την κατεύθυνση, πλην όμως το εγχείρημα αυτό, που από τη φύση του είναι εξαιρετικά πολύπλοκο και φιλόδοξο, για σειρά αντικειμενικών λόγων βρίσκεται ακόμα στην

αρχή: θα πρέπει να υπάρξουν συνέργειες των παραγωγικών φορέων και συμφωνίες σε πολιτικό επίπεδο σε παγκόσμια κλίμακα, η διαθεσιμότητα εναλλακτικών πρώτων υλών φιλικών προς το περιβάλλον είναι περιορισμένη, το επίπεδο της τεχνολογικής ωριμότητας και διαθεσιμότητας των εναλλακτικών λύσεων είναι ακόμα χαμηλό, απαιτούνται νέες προβλέψεις σε θεσμικό επίπεδο και σημαντικές δράσεις για την ευαισθητοποίηση των καταναλωτών, υπάρχει ανάγκη αλλαγής των καταναλωτικών προτύπων κ.λπ. . Επιγραμματικά, για να είναι τελικά βιώσιμο αυτό το μοντέλο από οικονομική άποψη και να δημιουργεί τα ανάλογα κίνητρα, θα πρέπει το συνολικό κόστος παραγωγής των λύσεων να είναι μικρότερο από το συνολικό σημερινό κόστος παραγωγής των προϊόντων, συμπεριλαμβανομένου του κόστους αντιμετώπισης των προβλημάτων που τα συνοδεύουν.

Από πλευράς δομής, η εργασία δομείται στα εξής κεφάλαια:

**Το πρώτο κεφάλαιο**, αναλύει το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής, τη συμβολή της εξόρυξης των πρώτων υλών στη δημιουργία του, το φαινόμενο της αύξησης των αποβλήτων και της ρύπανσης ως αποτέλεσμα των υφιστάμενων καταναλωτικών και παραγωγικών διαδικασιών και προτύπων, τους τύπους των αποβλήτων, τη δομή και τα χαρακτηριστικά ενός τυπικού συστήματος διαχείρισης αποβλήτων, τη σημασία της πρόληψης και του περιορισμού των αποβλήτων, τις αντίστοιχες πολιτικές της ΕΕ, τις διαθέσιμες επιλογές για την επίτευξη του στόχου και επιπλέον αναλύει τις έννοιες της ανακύκλωσης της ανάκτησης και της απόρριψης. Στο κεφάλαιο αυτό ολοκληρώνεται το γενικό πλαίσιο και από το επόμενο γίνεται εξειδίκευση στο πλαστικό.

**Το δεύτερο κεφάλαιο** αναφέρεται αποκλειστικά στο πλαστικό και αναλύει, το πλαστικό ως υλικό, την παραγωγή του σε παγκόσμια κλίμακα, τις διαδικασίες παραγωγής, τους τύπους των πολυμερών και τις κατηγορίες των πλαστικών προϊόντων προκειμένου να γίνει κατανοητό το μέγεθος της πολυπλοκότητας του πλαστικού (ως πρώτης ύλης αλλά και ως τελικού προϊόντος) που επηρεάζει τελικά τις διαθέσιμες επιλογές αλλά και την πολυπλοκότητα της διαδικασίας της ανακύκλωσης. Επιπλέον, αναλύει τις ανεπιθύμητες επιπτώσεις των πλαστικών στο περιβάλλον και στη δημόσια υγεία, παραθέτοντας αναλυτικά στοιχεία για τη θαλάσσια ρύπανση σε

παγκόσμιο, ευρωπαϊκό αλλά και σε τοπικό επίπεδο, προκειμένου να γίνει κατανοητό το μέγεθος του προβλήματος.

**Το τρίτο κεφάλαιο** αναλύει τα οικιακά πλαστικά απόβλητα και τη διαχείρισή τους εισάγοντας τις βασικές έννοιες για τη διαχείρισή τους και ειδικότερα για την ανάκτηση των πλαστικών αυτών από το ρεύμα των αποβλήτων, την ανακύκλωση (μηχανική και χημική) και την ανάκτηση ενέργειας.

**Το τέταρτο κεφάλαιο** εξειδικεύει την ανακύκλωση των οικιακών πλαστικών αναλύοντας, τα υφιστάμενα προγράμματα συλλογής τους, τα κριτήρια επιλογής των προγραμμάτων αυτών καθώς και τον τρόπο μέτρησης της αποδοτικότητάς τους, τις διαθέσιμες τεχνικές και τεχνολογίες ανάκτησης των πλαστικών από το ρεύμα των αποβλήτων σε εγκαταστάσεις που εξειδικεύονται για το σκοπό αυτό και τέλος αναλύει τις υφιστάμενες τεχνολογίες και τεχνικές για την ανακύκλωση.

**Το πέμπτο κεφάλαιο** αναλύει τα ποσοτικά και ποιοτικά στοιχεία των ροών αποβλήτων των κύριων πλαστικών συσκευασίας στην ΕΕ, εξετάζοντας τις αντίστοιχες ροές κυρίως σε πέντε χώρες, Γαλλία, Γερμανία, Ιταλία, Ισπανία και Ηνωμένο Βασίλειο, που αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 60% των αποβλήτων πλαστικής συσκευασίας που παράγονται στην Ευρώπη. Από την ανάλυση αυτή προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα για την ανακύκλωση του πλαστικού στην ΕΕ , για τα προβλήματα που παρατηρούνται, τα ειδικότερα ζητήματα που αναδεικνύονται αλλά και για τις προκλήσεις και ευκαιρίες που διαγράφονται.

**Το έκτο κεφάλαιο**, αναλύει το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας για το πλαστικό, ως απάντηση στα προβλήματα που συσώρευσε το μοντέλο της γραμμικής οικονομίας, εστιάζοντας στα νέα υλικά και στην ανάγκη νέων και καινοτόμων προσεγγίσεων σε ότι αφορά την επαναχρησιμοποίηση του πλαστικού, το σχεδιασμό των πλαστικών προϊόντων αλλά και τον σχεδιασμό των επιχειρηματικών μοντέλων.

**Τέλος, το έβδομο κεφάλαιο** συνοψίζει τα συμπεράσματα από την ανάλυση που προηγήθηκε σε ότι αφορά τις πραγματικές δυνατότητες της ανακύκλωσης πλαστικού οικιακής χρήσης στο πλαίσιο του υφιστάμενου μοντέλου της γραμμικής οικονομίας, τα ειδικότερα προβλήματα και ζητήματα που αναδεικνύονται, τις προκλήσεις και ευκαιρίες που διαγράφονται καθώς επίσης και τις προκλήσεις και δυσκολίες που

συνδέονται με τη διαπιστωμένη ανάγκη μετάπτωσης σε μοντέλο κυκλικής οικονομίας.

## **1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ**

### **1.1. Η ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ**

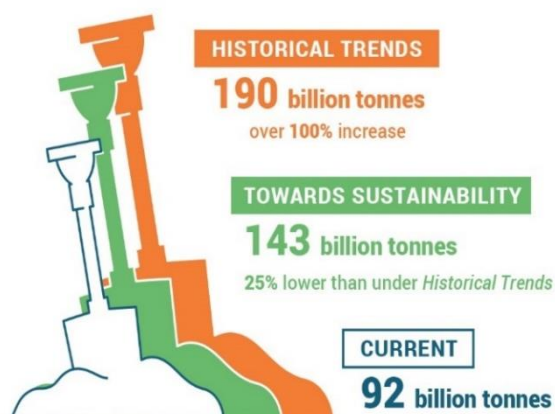
#### **1.1.1. Η πραγματικότητα της κλιματικής αλλαγής**

Οι μέσες θερμοκρασίες της ξηράς και της θάλασσας τα τελευταία 100 χρόνια αυξάνονται συνεχώς. Το 2011, οι μέσες θερμοκρασίες του πλανήτη κυμάνθηκαν σε επίπεδα που αντιστοιχούν στο δεύτερο υψηλότερο ιστορικό που έχει καταγραφεί ποτέ. Οι παγετώνες και τα παγόβουνα λιώνουν σε ολόκληρο τον πλανήτη, λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης και η στάθμη των ωκεανών ανεβαίνει, εξαιτίας της θερμικής διαστολής του νερού, των σημαντικών αλλαγών που έχουν επέλθει στις δεξαμενές αποθήκευσης του γλυκού νερού και της τήξης των παγετώνων και των παγόβουνων. Το διοξείδιο του άνθρακα και τα άλλα αέρια του θερμοκηπίου έχουν αυξηθεί σε ανησυχητικά επίπεδα και σε συνδυασμό με την τρύπα του όζοντος συμβάλλουν με τη σειρά τους στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Σύμφωνα με τα στοιχεία της παγκόσμιας κοινότητας, τις κυριότερες πηγές εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα αποτελούν η παραγωγή ενέργειας και οι μεταφορές.

#### **1.1.2. Η συμβολή της εξόρυξης και της επεξεργασίας των υλικών, των καυσίμων και των τροφίμων στην παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου.**

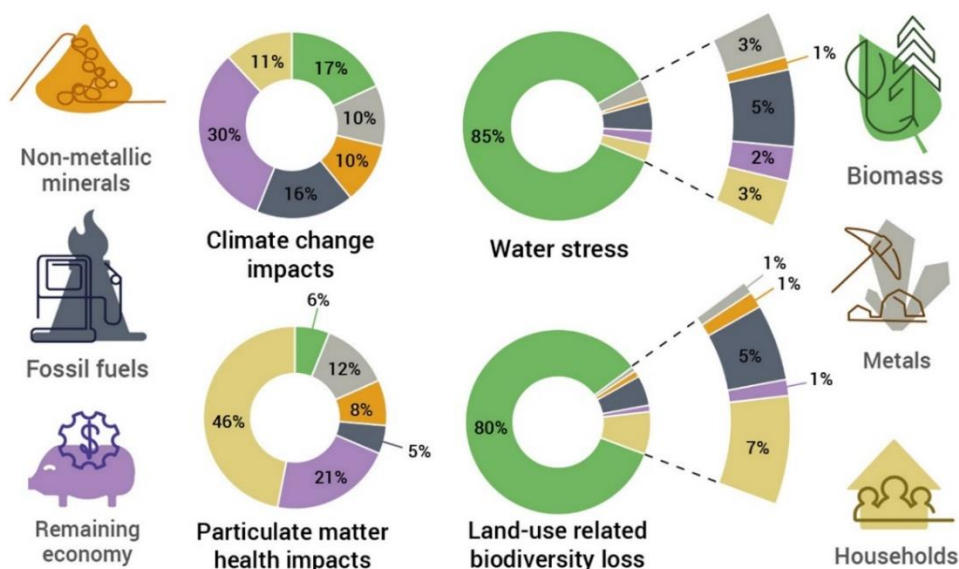
Η εκμετάλλευση των φυσικών πόρων έχει τριπλασιαστεί από το 1970 και συνεχίζει να αυξάνεται. Επίσης, ο παγκόσμιος πληθυσμός έχει διπλασιαστεί και το παγκόσμιο ακαθάριστο εγχώριο προϊόν έχει αυξηθεί τέσσερις φορές από τη δεκαετία του '70. Οι τάσεις αυτές έχουν τροφοδοτηθεί από μια συνεχώς αυξανόμενη προσφορά και εξόρυξη πρώτων υλών, αυξάνοντας έτσι κυκλικά την πίεση στο χερσαίο και θαλάσσιο περιβάλλον. Από το 1970 έως το 2017, η ετήσια παγκόσμια εξόρυξη υλικών αυξήθηκε από 27 σε 92 δισεκατομμύρια τόνους, ενώ η ετήσια μέση ζήτηση υλικών αυξήθηκε από 7 σε πάνω από 12 τόνους κατά κεφαλή (UNEP, 2019). Στα υλικά που συντελούν στις πιέσεις αυτές περιλαμβάνονται η βιομάζα, τα ορυκτά καύσιμα, τα μέταλλα και τα μη μεταλλικά ορυκτά. Όπως φαίνεται από στο σχήμα 1 αν συνεχιστούν οι σημερινές τάσεις εξόρυξης πρώτων υλών (92 δισ. τόνους), το 2060 θα φθάσει τα 190 δισ. τόνους ενώ η διατήρηση μιας βιώσιμης ανάπτυξης απαιτεί η εξόρυξη να διατηρηθεί στα 143 δισ. τόνους.

## Global material extraction



Σχήμα 1: Παγκόσμια εξόρυξη πρώτων υλών (UNEP, 2019)

Σύμφωνα με τον (UNEP, 2019), η εξόρυξη πρώτων υλών και η επεξεργασία των υλικών και των καυσίμων καθώς και η επεξεργασία των τροφίμων, συμβάλλουν περίπου κατά το ήμισυ στις συνολικές παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και περισσότερο από 90% στην απώλεια της βιοποικιλότητας και στην έλλειψη νερού. Η γεωργία, με τα σημερινά της χαρακτηριστικά, αποτελεί την κυριότερη αιτία για την απώλεια της βιοποικιλότητας και της έλλειψης νερού. Στις αναδυόμενες οικονομίες, η ανάπτυξη υποδομών παίζει σημαντικό ρόλο στις επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος που σχετίζεται με τους πόρους.



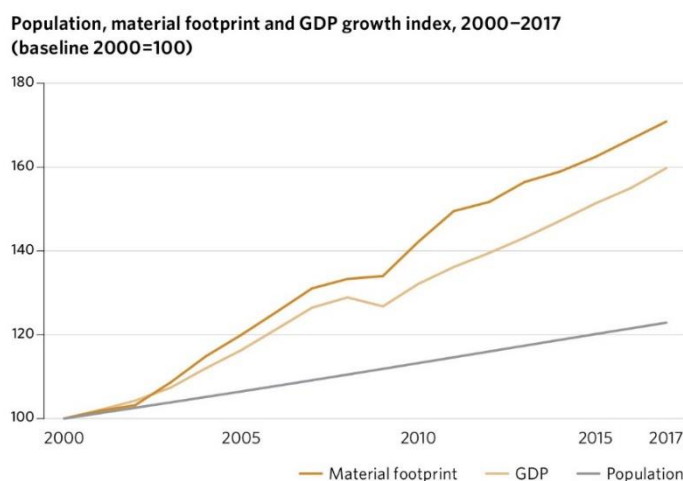
Σχήμα 2: Παράγοντες που συντελούν στην κλιματική αλλαγή, στις πιέσεις που ασκούνται στο νερό, σε προβλήματα υγείας και στον περιορισμό της βιοποικιλότητας (UNEP, 2019).



Στο σχήμα 2 φαίνεται παραστατικά η επίδραση που είχαν συγκεκριμένες δραστηριότητες από το 1970 μέχρι το 2011, που σχετίζονται κατά κύριο λόγο με το κυρίαρχο μοντέλο εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων, στην κλιματική αλλαγή και τις επιπτώσεις της, στην ανθρώπινη υγεία, στην πίεση που ασκείται στο νερό καθώς και στην απώλεια της βιοποικιλότητας. Το 2010, εκτιμάται ότι το 11% των παγκόσμιων ειδών είχαν χαθεί λόγω του μοντέλου χρήσης της γης σε παγκόσμια κλίμακα.

### 1.1.3. Απόβλητα και ρύπανση, το τίμημα της αυξανόμενης εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων

Η αυξανόμενη εκμετάλλευση των φυσικών πόρων για την παραγωγή προϊόντων και η αύξηση της κατά κεφαλή κατανάλωσης έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση του παγκόσμιου υλικού αποτυπώματος<sup>1</sup> από 43 δισ. τόνους το 1990 σε 54 δισ. το 2000, και σε 92 δισ. τόνους το 2017 (Σχήμα 3), που αντιστοιχεί σε αύξηση του 70 % από το 2000 και σε 113 % από το 1990 (UNEP, 2019), με το παγκόσμιο υλικό αποτύπωμα να αυξάνεται με ταχύτερο ρυθμό από ότι ο πληθυσμός και η οικονομική παραγωγή και κατά συνέπεια να αυξάνεται και ο αριθμός των παραγόμενων αποβλήτων.



Σχήμα 3: Η παγκόσμια αύξηση του αποτυπώματος υλικού, του δείκτη ΑΕΠ και του πληθυσμού (UNEP, 2019)

<sup>1</sup> Αποτύπωμα: Ο όρος χρησιμοποιείται για να αντιπροσωπεύσει ολόκληρο το σύστημα των περιβαλλοντικών πιέσεων που ασκείται από μια ανθρώπινη δραστηριότητα, συμπεριλαμβανομένων των άμεσων πιέσεων που συμβαίνουν εντός των γεωγραφικών ορίων, όπου συμβαίνει η δραστηριότητα, και των πιέσεων της έμμεσης αλυσίδας εφοδιασμού εκτός (UNEP, 2019).

Η μη σωστή διαχείριση των αποβλήτων που σχετίζονται με την παραγωγή και κατανάλωση προϊόντων έχει οδηγήσει σε τεράστια περιβαλλοντικά ζητήματα σε ξηρά και θάλασσα και στη μόλυνση του περιβάλλοντος. Σημαντικά προβλήματα ιδιαίτερα στο θαλάσσιο οικοσύστημα προκαλεί η απόρριψη των αποβλήτων μέσω αποχετευτικών συστημάτων, η αλιεία αλλά και η ναυτιλία.

## **1.2. ΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΩΣ «ΠΡΟΪΟΝ» ΤΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΩΝ**

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας συνέβαλε καθοριστικά στη βελτίωση του επιπέδου ζωής του σύγχρονου ανθρώπου. Μέσω της τεχνολογίας, υπάρχει πληθώρα προϊόντων διαθέσιμων στην αγορά για την κάλυψη σύγχρονων αναγκών (διαβίωσης, καταναλωτικών, μετακίνησης, επικοινωνίας κλπ.). Οι καταναλωτές έχουν πλέον πολλές επιλογές, πολλά από τα προϊόντα που έχουν σχεδιαστεί έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής ενώ υπάρχει επίσης πληθώρα αναλώσιμων προϊόντων καθώς και προϊόντων μιας χρήσης. Η πρόοδος της τεχνολογίας σε συνδυασμό με τα καταναλωτικά πρότυπα της εποχής έχουν ως αποτέλεσμα οι άνθρωποι να κατέχουν και να χρησιμοποιούν περισσότερες προσωπικές συσκευές, οι οποίες ανανεώνονται πολύ συχνά και να αγοράζουν περισσότερα προϊόντα, τα οποία αναπόφευκτα, ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες του κύκλου ζωής τους, συντελούν με τη σειρά τους στην αύξηση των αποβλήτων<sup>2</sup>.

Τα απόβλητα αυτά έχουν τεράστιο αντίκτυπο στο περιβάλλον, προκαλώντας ρύπανση, εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή, καθώς επίσης και σημαντικές απώλειες πόρων και υλικών. Η ποσότητα των αποβλήτων που παράγονται αυξάνεται συνεχώς και η σύστασή τους αλλάζει, εν μέρει λόγω της αύξησης της χρήσης προϊόντων υψηλής τεχνολογίας. Τα απόβλητα πλέον, περιέχουν όλο και πιο περίπλοκο συνδυασμό υλικών, συμπεριλαμβανομένων των πλαστικών, των πολύτιμων μετάλλων και των επικίνδυνων υλικών που είναι δύσκολο να διαχειριστούν αποτελεσματικά και με ασφάλεια.

---

<sup>2</sup>« **Απόβλητο**»: Κάθε ουσία ή αντικείμενο το οποίο ο κάτοχος του απορρίπτει ή προτίθεται ή υποχρεούται να απορρίψει (European Parliament and Council, 2008)

### 1.2.1. Τύποι αποβλήτων

Τα απόβλητα είναι το «προϊόν» των υφιστάμενων καταναλωτικών και παραγωγικών διαδικασιών και προτύπων και καθιστούν επιτακτική την ανάγκη αποτελεσματικής διαχείρισης και μείωσης του όγκου τους, προκειμένου να αποφεύγεται η περιβαλλοντική μόλυνση που εκτός από την περιβαλλοντική υποβάθμιση, οδηγεί αναπόφευκτα και σε θέματα δημόσιας υγείας. Τα απόβλητα ταξινομούνται ως εξής:

- **Ανάλογα με την πηγή προέλευσης**
- **Με βάση τον τύπο που τα κατηγοριοποιεί ως:**
  - **Επικίνδυνα απόβλητα**, που παρουσιάζουν τουλάχιστον έναν κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία ή το περιβάλλον.
  - **Αδρανή απόβλητα**, που δεν υφίστανται κανένα φυσικό, χημικό ή βιολογικό μετασχηματισμό.
  - **Μη επικίνδυνα απόβλητα**, που δεν παρουσιάζουν επικίνδυνα χαρακτηριστικά λόγω των κύριων φυσικών, χημικών, ή βιολογικών μετασχηματισμών (Ni-Bin C., Pires A., 2015).
- **Ανάλογα με τις φυσικές και μηχανικές τους ιδιότητες**, όπως η πυκνότητα του αποβλήτου, η περιεκτικότητα σε υγρασία και η θερμιδική του αξία.
- **Με βάση τις χημικές τους ιδιότητες** που σχετίζονται με τη χημική τους σύνθεση, τον λόγο άνθρακα/αζώτου, το PH, την παρουσία βαρέων μετάλλων και άλλων επικίνδυνων ή μη επικίνδυνων χαρακτηριστικών.
- **Με βάση τις βιολογικές / βιοδιασπώμενες ιδιότητες**, που συνδέονται με τις καλλιέργειες μικροοργανισμών που υπάρχουν στα απόβλητα και τον τρόπο που τα χρησιμοποιούν στον κύκλο ζωής τους.
- **Με βάση τις εύφλεκτες ιδιότητές τους** που συνδέονται με την λανθάνουσα θερμότητα (L)<sup>3</sup> των αποβλήτων και τη θερμιδική τους αξία (Ni-Bin C., Pires A., 2015).

---

<sup>3</sup> Η ποσότητα θερμότητας που, κατά τις μεταβολές φάσης ενός υλικού υπό ειδικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, απορροφάται ή εκλύεται ανά μονάδα μάζας του (Σταφυλίδης, 2009).

- **Με κριτήριο την κοκκομετρία**, που γίνεται μετά την κοκκοποίησή<sup>4</sup> τους όπου ακολουθεί μέτρηση των κόκκων για τον καθορισμό των μεγεθών και τον χαρακτηρισμό τους, ανάλογα με το εύρος διακύμανσης της διαμέτρου τους.

#### **1.2.1.1. Ειδικότερη ταξινόμηση με βάση την πηγή προέλευσης (ΕΣΔΑ, 2015).**

Τα απόβλητα **ως προς την πηγή** προέλευσης ταξινομούνται σε:

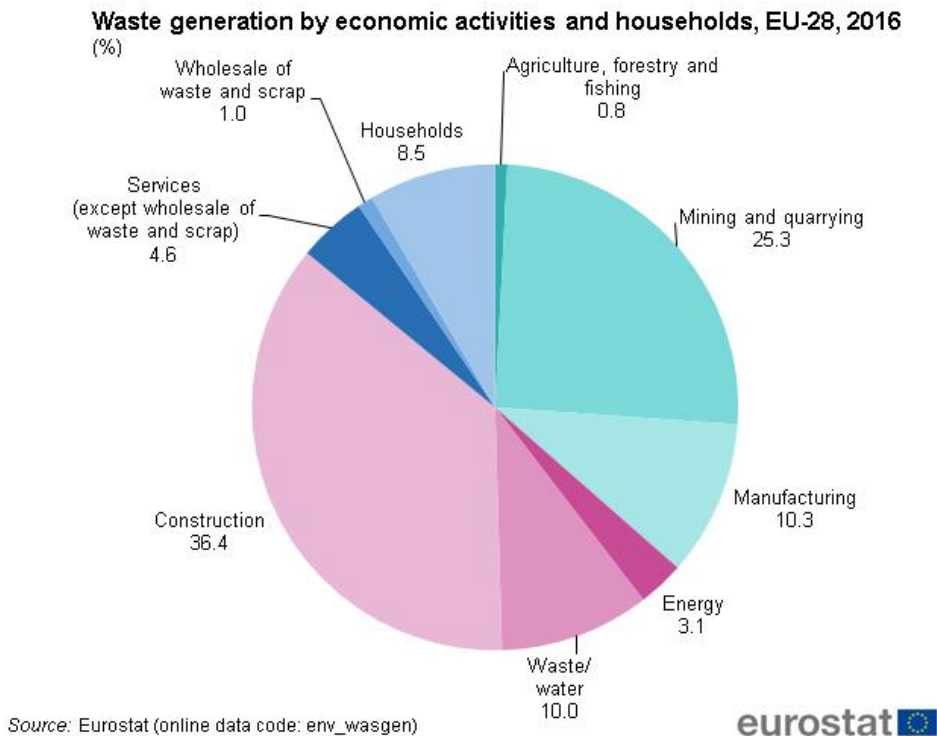
- Απόβλητα Αστικού Τύπου (ΑΣΤ) στα οποία περιλαμβάνονται:
  - Βιοαπόβλητα
  - Ανακυκλώσιμα υλικά
  - Απόβλητα φορητών ηλεκτρικών στηλών και συσσωρευτών (ΦΗΣ&Σ)
  - Απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΕ) οικιακής προέλευσης.
  - Λοιπά μη επικίνδυνα ΑΣΑ
  - Ιλύς αστικού τύπου
- Βιομηχανικά Απόβλητα και Απόβλητα Λοιπών Δραστηριοτήτων (ΒΙΟΛΠ) στα οποία περιλαμβάνονται τα:
  - Βιομηχανικά απόβλητα
  - Απόβλητα οργανισμών κοινής ωφέλειας, εξυπηρέτησης κοινού (ΟΚΩ)
  - Απόβλητα έλαια
  - Απόβλητα συσσωρευτών οχημάτων και βιομηχανίας (ΑΣΟΒ)
  - ΑΗΕΕ βιομηχανικής προέλευσης
  - Οχήματα τέλος κύκλου ζωής (ΟΤΚΖ)
  - Μεταχειρισμένα ελαστικά οχημάτων (ΜΕΟ)
  - Απόβλητα υγειονομικών μονάδων (ΑΥΜ)
- Απόβλητα Εκσκαφών, Κατασκευών και Κατεδαφίσεων (ΑΕΕΚ)
- Γεωργοκτηνοτροφικά Απόβλητα

---

<sup>4</sup> Η διεργασία σχηματισμού ή διαμόρφωσης κοκκώδους υφής σε ένα υλικό (Σταφυλίδης, 2009).

### 1.2.2. Πηγές παραγωγής αποβλήτων στις χώρες της ΕΕ

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Eurostat του 2016, οι πηγές παραγωγής αποβλήτων στα κράτη – μέλη (κ-μ) της ΕΕ (EU-28) και το ποσοστό συμμετοχής της κάθε μιας φαίνονται παραστατικά στην σχήμα 4.



Σχήμα 4: Πηγές παραγωγής αποβλήτων στα κ-μ της ΕΕ (Eurostat)

Όπως φαίνεται χαρακτηριστικά, τη δεσπόζουσα θέση στην παραγωγή αποβλήτων την κατέχει ο τομέας των κατασκευών με ποσοστό 36.4% και ακολουθεί ο τομέας της εξόρυξης και των δραστηριοτήτων τύπου λατομείου με ποσοστό 25.3% επί του συνόλου. Η συμμετοχή των νοικοκυριών στην παραγωγή αποβλήτων αντιστοιχεί σε ποσοστό 8,5%. Στην παρακάτω εικόνα δίνονται παραδείγματα αποβλήτων ως προς την πηγή.

#### 1.2.2.1. Τα Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ)

Τα απόβλητα της κατηγορίας αυτής αποτελούνται από απόβλητα που συλλέγονται από ή για λογαριασμό δημοτικών αρχών ή απευθείας από τον ιδιωτικό τομέα, πολλές φορές όχι για λογαριασμό των δήμων. Ο κύριος όγκος των αστικών αποβλήτων προέρχεται από τα νοικοκυριά, παρόλο που περιλαμβάνονται και παρόμοια απόβλητα από πηγές όπως το εμπόριο, τα γραφεία, τα δημόσια ιδρύματα και

επιλεγμένες δημοτικές υπηρεσίες. Τα ΑΣΑ περιλαμβάνουν επίσης τα ογκώδη απόβλητα, αλλά δεν περιλαμβάνουν τα απόβλητα δημοτικών δικτύων αποχέτευσης και δημοτικών αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων. Οι πηγές των ΑΣΑ φαίνονται αναλυτικά στο σχήμα 5.

<b>Municipal Solid Waste Generation as a Function of Source</b>	
Residential (single- and multifamily homes)	Food scraps, food packaging, cans, bottles, newspapers, clothing, yard waste, old appliances
Commercial (office buildings, retail companies, restaurants)	Office paper, corrugated boxes, food wastes, disposable tableware, paper napkins, yard waste, wood pallets
Institutional (schools, hospitals, prisons)	Office paper, corrugated boxes, cafeteria waste, restroom wastes, classroom wastes, yard waste
Industrial (packaging and administrative; <i>not</i> process wastes)	Office paper, corrugated boxes, wood pallets, cafeteria wastes
Municipal	Litter, street sweepings, abandoned automobiles, some construction and demolition debris

Σχήμα 5: Πηγές Αστικών Στερεών Αποβλήτων (Pichtel, 2014)

Στο σχήμα 6 φαίνεται μία τυπική σύνθεση των ΑΣΑ.

<b>Physical Composition of Municipal Solid Waste</b>		
<b>Chemical Class</b>	<b>General Composition</b>	
Organic	Paper products	Office paper, computer printout, newsprint, wrappings
		Corrugated cardboard
	Plastics	Polyethylene terephthalate (1) <sup>a</sup>
		High-density polyethylene (2)
		Polyvinyl chloride (3)
		Low-density polyethylene (4)
		Polypropylene (5)
		Polystyrene (6)
		Multilayer plastics (7)
	Other plastics including aseptic packaging	
Food	Food (putrescible)	
Yard waste	Grass clippings, garden trimmings, leaves, wood, branches	
Textiles/rubber	Cloth, fabric	
	Carpet	
	Rubber	
	Leather	
Inorganic	Glass	Clear ("flint")
		Amber, green, brown
	Metals	Ferrous
		Aluminum
		Other nonferrous (copper, zinc, etc.)
	Dirt and others	Dirt
		Stones
Ash		
Bulky wastes	Furniture, refrigerators, stoves, etc. ("white goods")	

<sup>a</sup> Plastics coding system, Society of the Plastics Industry, Inc.

Σχήμα 6: Σύσταση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων (Pichtel, 2014)

### **1.2.2.2. Τα οικιακά απόβλητα**

Τα οικιακά απόβλητα συμπεριλαμβάνονται στα ΑΣΑ και θεωρούνται τα οικιακά απορρίμματα, τα βιοαπόβλητα, τα ανακυκλώσιμα υλικά, τα ογκώδη απόβλητα, τα απόβλητα κήπων και τα οικιακά επικίνδυνα απόβλητα. Η σύνθεση των οικιακών αποβλήτων καθορίζεται από τον σχεδιασμό και τη συσκευασία των προϊόντων καθώς επίσης από τις καταναλωτικές συνήθειες και τις επιλογές των ιδιοκτητών. Η ποσότητα και η σύνθεση των οικιακών απορριμμάτων σε κάδους και σακούλες, επηρεάζονται από τον τρόπο διαχείρισής τους από τα νοικοκυριά καθώς και από τη χρήση ή όχι μύλων σκουπιδιών, συστήματος κομποστοποίησης, όπως επίσης και από την εφαρμογή ή όχι διαδικασιών διαλογής των ανακυκλώσιμων υλικών στην πηγή. Ωστόσο, η συνολική παραγωγή αποβλήτων, ανεξάρτητα από τον τρόπο διαχείρισής τους, παραμένει αμετάβλητη (Ni-Bin C., Pires A., 2015). Αναλυτικότερα, στην κατηγορία των οικιακών αποβλήτων περιλαμβάνονται:

- Τα συνηθισμένα απόβλητα που παράγονται στο νοικοκυριό από καθημερινές δραστηριότητες όπως απορρίμματα τροφίμων ή κουζίνας, συσκευασίες, φιάλες και συσκευασίες ποτών, εφημερίδες, περιοδικά, διαφημιστικά έντυπα, πάνες και είδη προσωπικής περιποίησης, αλληλογραφία, λουλούδια, σπασμένα είδη οικιακής χρήσης και παιχνίδια, μικρές ηλεκτρονικές, ρουχισμός και παρόμοια είδη.
- Τα ογκώδη απόβλητα όπως έπιπλα, ψυγεία, τηλεοράσεις, οικιακές συσκευές κ.λπ., που εμφανίζονται μόνο περιστασιακά.
- Απορρίμματα κήπων όπως υπολείμματα γρασιδιού, κλαδιά δέντρων, λουλούδια, χλοοτάπητες, φυτά γλάστρας και χώμα από ταρατσες κλπ. Τα απορρίμματα κήπων περιλαμβάνουν συχνά παρόμοια απόβλητα από κοινόχρηστους χώρους και πάρκα.
- Επικίνδυνες χημικές ουσίες των νοικοκυριών όπως διαλύτες, λάδια, χρώματα, απόβλητα φορητών ηλεκτρικών στηλών και συσσωρευτών (ΦΗΣ&Σ) που χρησιμοποιούνται στο σπίτι.

### **1.3. Η ΔΟΜΗ ΤΥΠΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

Το Σύστημα Διαχείρισης Αποβλήτων (ΣΔΑ) περιλαμβάνει το σύνολο των δραστηριοτήτων για τη συλλογή, μεταφορά, ανάκτηση, διαλογή και απόθεση των αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων της εποπτείας των εργασιών αυτών και της μετέπειτα φροντίδας των χώρων απόθεσης καθώς και των ενεργειών στις οποίες προβαίνουν οι έμποροι<sup>5</sup> ή οι μεσίτες<sup>6</sup>.

Η σύνθεση των συστατικών ή των κλασμάτων των υλικών, μέσα σε ένα ΣΔΑ, επηρεάζεται από οικονομικούς και κοινωνικούς παράγοντες, όπως είναι το επίπεδο του εισοδήματος και το επίπεδο μόρφωσης, που δυνητικά συνδέεται με την εφαρμογή πρακτικών ανακύκλωσης στην πηγή, από κλιματικούς παράγοντες, από την ύπαρξη τουριστικής κίνησης ή όχι, όπως επίσης και από ειδικές χρονικές περιόδους και γιορτές. Συνεπώς, τα χαρακτηριστικά των ροών και ο όγκος των αποβλήτων μέσα σε αυτές, είναι στοιχεία που υποδεικνύουν τις τεχνολογίες, το σχεδιασμό και τη λειτουργία του ΣΔΑ.

#### **1.3.1. Λειτουργικά σημεία ενός τυπικού συστήματος διαχείρισης στερεών αποβλήτων**

Ένα τυπικό ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης στερεών αποβλήτων περιλαμβάνει τα εξής λειτουργικά σημεία: την παραγωγή αποβλήτων, τις διαδικασίες της πηγής, τη συλλογή, την επεξεργασία (processing), τη μεταφόρτωση και μεταφορά, τις κατεργασίες (treatment) και τη απόθεση (Themelis N. J., Boutsalas A. C., 2019). Ειδικότερα:

##### **1.3.1.1. Διαδικασίες της πηγής**

Το λειτουργικό αυτό σημείο, περιλαμβάνει τις ενέργειες τις οποίες ο παραγωγός (αποβλήτων) δρομολογεί ώστε το απόβλητο να διοχετευτεί σε ένα σύστημα συλλογής και περιλαμβάνει το διαχωρισμό, την αποθήκευση, την επεξεργασία και

---

<sup>5</sup> Είναι η επιχείρηση η οποία ενεργεί ως εντολέας για την αγορά και την περαιτέρω πώληση αποβλήτων, μαζί και των εμπόρων που δεν είναι υλικοί κάτοχοι των αποβλήτων.

<sup>6</sup> Θεωρείται οποιαδήποτε επιχείρηση οργανώνει την ανάκτηση ή τη απόθεση αποβλήτων για λογαριασμό τρίτων, συμπεριλαμβανομένων των μεσιτών που δεν καθίστανται υλικοί κάτοχοι των αποβλήτων.



την παρουσίαση. Για παράδειγμα σε ότι αφορά την αποθήκευση αυτή μπορεί να γίνεται σε κάδο αποβλήτων, κάδο ανακύκλωσης κ.ά.

Οι διαδικασίες της πηγής είναι από τα πλέον σημαντικά βήματα της συλλογής αποβλήτων, και κατ' επέκταση της ανακύκλωσης, για το λόγο ότι ο παραγωγός αποφασίζοντας τον τρόπο με τον οποίο θα διαθέσει το απόβλητο στο σύστημα, καθώς και τη συμμετοχή του ή όχι σε προγράμματα ανακύκλωσης, είναι αυτός που καθορίζει σε σημαντικό βαθμό την πορεία αλλά και την πολυπλοκότητα της διαδικασίας της ανακύκλωσης.

#### **1.3.1.2. Συλλογή**

Η συλλογή αφορά την απόκτηση των αποβλήτων από τα διάφορα σημεία απόθεσής τους και τη φόρτωσή τους στα οχήματα συλλογής. Η επιλογή των συστημάτων συλλογής εξαρτάται από εθνικές νομοθεσίες, τάσεις στις αγορές ανακύκλωσης, υποδομές και από τοπικούς παράγοντες, όπως ο πιθανός όγκος αποβλήτων ανά κάτοικο, οι δημογραφικές ή πληθυσμιακές πυκνότητες κ.λπ.. Τα προγράμματα συλλογής μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

- Προγράμματα συλλογής με Διαλογή στην Πηγή των ανακυκλώσιμων υλικών
- Προγράμματα συλλογής χωρίς Διαλογή στη Πηγή

Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα προγράμματα συλλογής είναι:

##### **α. Προγράμματα «Από πόρτα σε πόρτα (door-to-door/ curbside)»**

Η συλλογή «από πόρτα σε πόρτα (door-to-door/ curbside)» είναι το κύριο πρόγραμμα συλλογής στο οποίο συνδέεται η πλειονότητα των κατοίκων και υλοποιείται συνήθως από τοπικές αρχές. Υπάρχουν πολλοί συνδυασμοί για το συγκεκριμένο σύστημα, όπως ο σχεδιασμός των οχημάτων, των κάδων αποβλήτων και η συχνότητα συλλογής των αποβλήτων. Ο σημαντικότερος σχεδιασμός του προγράμματος αυτού είναι η επιλογή της εισερχόμενης ροής αποβλήτων, δηλαδή η συλλογή μικτής ροής (βιοαπόβλητα μαζί με ανακυκλώσιμα και λοιπά μη επικίνδυνα), ή μονής ροής (βιοαπόβλητα/ χαρτί/αλουμίνιο/ ογκώδη απόβλητα κ.ά), ή και η συλλογή πολλαπλών ρευμάτων αποβλήτων.

Η συλλογή μικτής ροής, περιλαμβάνει ένα δοχείο συλλογής όπου όλα τα υλικά αναμιγνύονται και οι καταναλωτές δεν χρειάζεται να διαχωρίσουν κανένα υλικό και γίνεται απευθείας έξω από κατοικίες σε τακτά χρονικά διαστήματα. Τα προγράμματα μονής ροής ή πολλαπλών ροών, απαιτούν από τον καταναλωτή τον διαχωρισμό των αποβλήτων και την τοποθέτηση κάθε ανακυκλώσιμου υλικού στον κατάλληλο κάδο αποθήκευσης.

Οι κάτοικοι καταβάλλουν γενικά ένα τέλος για την υπηρεσία curbside. Ένα πρόγραμμα συλλογής που ενθαρρύνει την ανακύκλωση είναι το «pay-as-you-throw», όπου οι κάτοικοι χρεώνονται ανά σάκο αποβλήτων και η curbside ανακύκλωση γίνεται με μειωμένο γενικά κόστος.

### **β. Προγράμματα «drop-off/bring points»**

Τα προγράμματα «drop-off/bring points» θεωρούνται πιο εύκολα στην οργάνωση και υλοποιούνται από τοπικές αρχές, ιδιωτικούς φορείς ή από μη κυβερνητικές οργανώσεις και μπορούν να είναι μονής, πολλαπλής ή μικτής ροής αποβλήτων. Η drop-off συλλογή, έχει χαμηλότερο λειτουργικό κόστος σε σχέση με την curbside συλλογή, λόγω των χαμηλότερων απαιτήσεων σε πόρους και ιδίως σε εργασία και καύσιμα.

Η ευκολία του προγράμματος αυτού είναι ότι ο ίδιος ο παραγωγός αποβλήτων, έχοντας κάνει διαλογή, μεταφέρει και αποθηκεύει το απόβλητο στο αντίστοιχο μέσο αποθήκευσης, με αποτέλεσμα να υπάρχει ομοιομορφία για τον κάθε τύπο απόβλητου. Τυπικά μέσα αποθήκευσης ενός drop-off κέντρου είναι τα ingloos ή οι κάδοι αποβλήτων με ροδάκια.

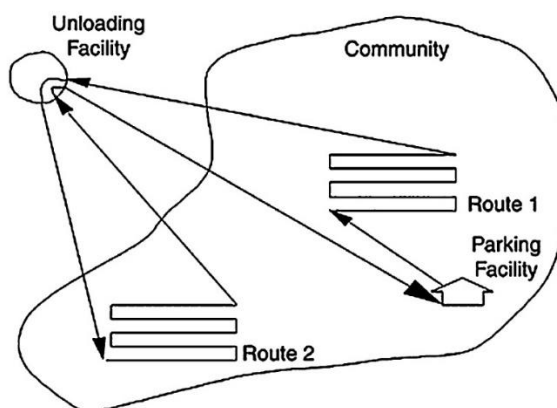
#### **1.3.1.3. Επεξεργασία**

Η επεξεργασία (processing), αφορά τις ενέργειες που πρέπει να γίνουν πριν τη μεταφορά, τη μετακίνηση ή την απομάκρυνση των αποβλήτων και εριλαμβάνει για παράδειγμα μείωση του όγκου των αποβλήτων, συμπίεση δοχείων κ.ά. Η μεταφόρτωση, μεταφέρει τα απόβλητα από το όχημα συλλογής σε όχημα μεταφοράς, ίσως μέσω μιας εγκατάστασης επεξεργασίας. Η μετακίνηση

περιλαμβάνει, τη μεταφορά αποβλήτων, από ένα τόπο μεταφοράς σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας, κατεργασίας ή απόθεσης και συνήθως καλύπτει σημαντικές αποστάσεις.

#### 1.3.1.4. *Μεταφόρτωση και μεταφορά*

Οι σταθμοί μεταφόρτωσης, βρίσκονται συνήθως κοντά σε κατοικημένες περιοχές και αποτελούν σημαντικό μέρος των δημοτικών συστημάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων για το λόγο ότι συντελούν στην ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς («σχήμα7»). Είναι εκείνα τα σημεία όπου από τα οχήματα συλλογής, ενδεχόμενα κατόπιν και σχετικής επεξεργασίας, γίνεται μεταφόρτωση των αποβλήτων στα οχήματα μεταφοράς. Οι εγκαταστάσεις ανάκτησης υλικών (Material Recovery Facilities - MRFs) είναι ένας ειδικός τύπος σταθμού μεταφόρτωσης, ο οποίος χρησιμοποιείται για την επεξεργασία ανακυκλώσιμων ή κομποστοποιήσιμων αποβλήτων, πριν από τη μεταφόρτωσή τους σε οχήματα μακράς διαδρομής.



Σχήμα 7: Συλλογή και Μεταφορά Αποβλήτων, δραστηριότητες φορτηγού συλλογής (Themelis N. J., Boutsalas A. C., 2019)

#### 1.3.1.5. *Κατεργασία*

Οι εγκαταστάσεις κατεργασίας (treatment) περιλαμβάνουν εγκαταστάσεις κομποστοποίησης και αποτεφρωτήρες με ανάκτηση ενέργειας (WTE). Οι εγκαταστάσεις απόθεσης αποβλήτων αποθηκεύουν τα απόβλητα σε χώρους υγειονομικής ταφής. Όλοι οι χώροι υγειονομικής ταφής συνδυάζουν πτυχές κατεργασίας και απόθεσης, με χώρους υγειονομικής ταφής βιοαντιδραστήρων, που τείνουν περισσότερο προς τη κατεργασία σε σχέση με τους παραδοσιακούς χώρους υγειονομικής ταφής (Themelis N. J., Boutsalas A. C., 2019).

### **1.3.2. Τύποι Κατεργασίας Αποβλήτων**

Η κατεργασία μπορεί να είναι μηχανική, θερμική, βιολογική ή και συνδυασμός αυτών. Σκοπός της κατεργασίας των αποβλήτων είναι η ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών, η έκλυση (προς εκμετάλλευση) ενέργειας από τα απόβλητα ή η βελτίωση των χαρακτηριστικών τους πριν από την περαιτέρω επεξεργασία (απομάκρυνση ακαθαρσιών, αδρανοποίηση των καταστροφικών αποβλήτων, μείωση του όγκου κ.λπ.). Η κατεργασία των αποβλήτων δύναται να είναι:

#### **1.3.2.1. Μηχανική**

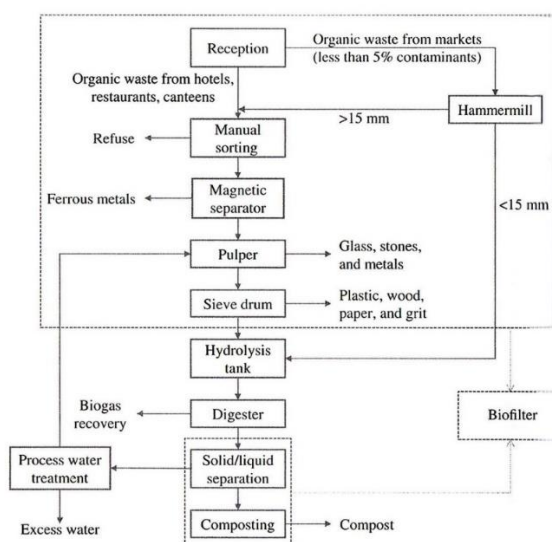
Η μηχανική κατεργασία περιλαμβάνει τη μείωση μεγέθους, τη διαλογή και τη συμπίεση των αποβλήτων. Μπορεί να γίνεται σε χωριστές εγκαταστάσεις ή σε συνδυασμό με εγκαταστάσεις θερμικής ή βιολογικής κατεργασίας, ως στάδιο προ ή μετά την κατεργασία. Εάν η μηχανική επεξεργασία επικεντρώνεται στον διαχωρισμό ή στην αναβάθμιση των ανακυκλώσιμων υλικών, η εγκατάσταση μπορεί να αναφέρεται ως μονάδα ανάκτησης υλικών (MRF). Η μηχανική επεξεργασία βασικά συνίσταται σε μονάδες που μεταβάλλουν τα φυσικά αλλά όχι τα χημικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων.

#### **1.3.2.2. Θερμική**

Η θερμική κατεργασία περιλαμβάνει καύση και πυρόλυση / αεριοποίηση και στην ουσία είναι καύση των αποβλήτων (πλήρης ή μερική) σε υψηλή θερμοκρασία. Η επεξεργασία αυτή οδηγεί σε σημαντικές αλλαγές τόσο των χημικών όσο και των φυσικών χαρακτηριστικών των αποβλήτων. Η αποτέφρωση είναι καύση με περίσσεια αέρα που αποδίδει σχεδόν πλήρη οξείδωση του οργανικού άνθρακα σε διοξείδιο του άνθρακα. Η πυρόλυση είναι διαδικασία εσωτερικής καύσης που επιφέρει μερική οξείδωση που αυξάνει τη θερμοκρασία, με αποτέλεσμα τη δημιουργία αερίου πυρόλυσης. Η αεριοποίηση είναι μια διαδικασία υψηλής θερμοκρασίας, με εξωτερική θέρμανση των αποβλήτων, με αποτέλεσμα την απελευθέρωση μειωμένων αερίων με υψηλή θερμογόνο δύναμη. Οι θερμικές διεργασίες παράγουν αέρια / καυσαέρια που πρέπει να καθαρίζονται και ένα στερεό υπόλειμμα που αναφέρεται συχνά ως τέφρα ή σκωρία πυθμένα.

### 1.3.2.3. Βιολογική

Η βιολογική κατεργασία περιλαμβάνει την κομποστοποίηση, την αναερόβια χώνευση και συνδυασμό αυτών. Η κομποστοποίηση είναι μια βιολογική αερόβια διεργασία μετατροπής των διασπώμενων οργανικών αποβλήτων σε διοξείδιο του άνθρακα και σταθερή οργανική ύλη. Τα στερεά υπολείμματα που προκύπτουν είναι κομπόστ και υπολειμματικά<sup>7</sup> απόβλητα. Τα υπολείμματα αυτά απαιτούν περαιτέρω επεξεργασία. Η αναερόβια χώνευση, λαμβάνει χώρα απουσία οξυγόνου και οδηγεί σε παραγωγή μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα. Η περιεκτικότητα σε μεθάνιο καθιστά το αέριο χρήσιμο ως πηγή ενέργειας. Τα υπολείμματα είναι υγρά ή στερεά και, ανάλογα με την ποιότητα, υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία, υγειονομική ταφή ή διασπορά στο έδαφος ως λίπασμα. Τα αέρια από τη διαδικασία κομποστοποίησης, καθώς και από την αναερόβια χώνευση πρέπει να ελέγχονται. Στο σχήμα 8 φαίνεται το διάγραμμα ροής μιας τυπικής μονάδας αναερόβιας χώνευσης προς επεξεργασία οργανικών διαχωρισμένων αποβλήτων, από τη περιοχή της Λισαβόνας.

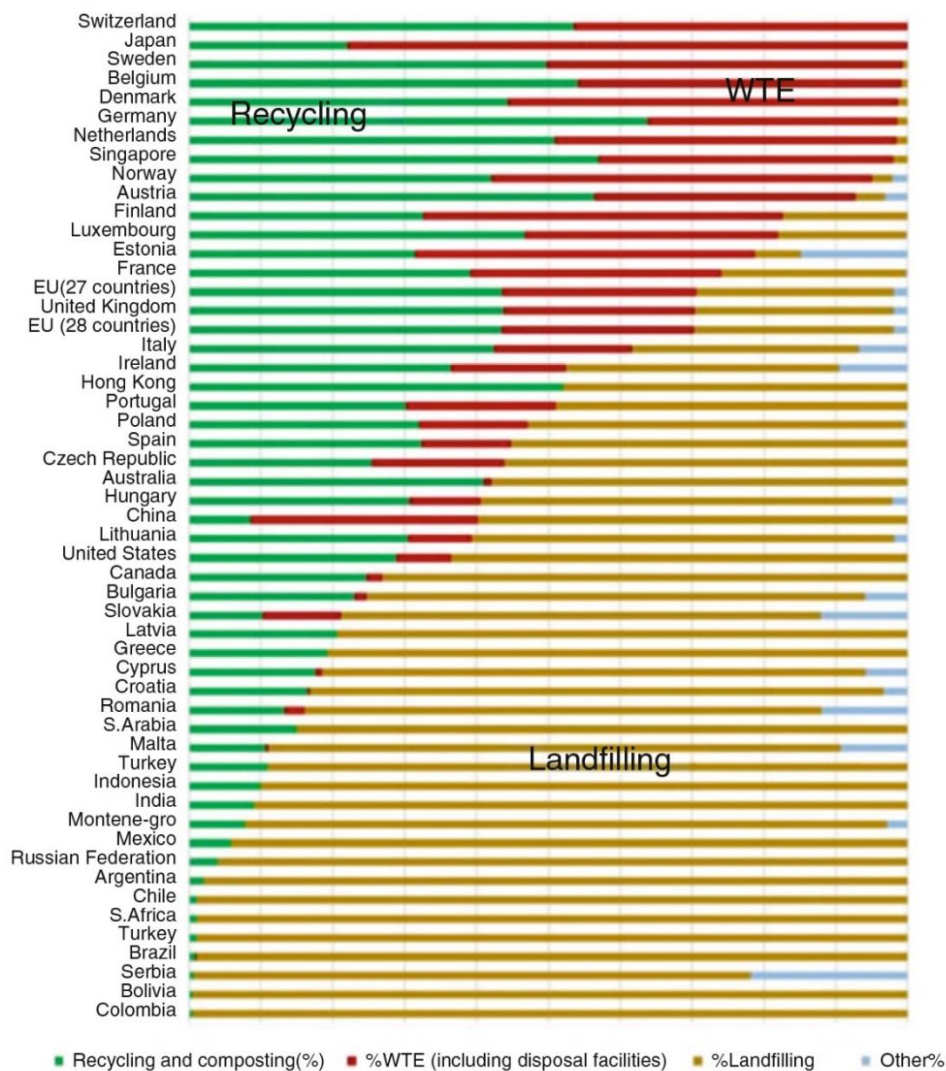


Σχήμα 8: Μονάδα αναερόβιας χώνευσης προς επεξεργασία οργανικών διαχωρισμένων αποβλήτων, από τη περιοχή της Λισαβόνας (Ni-Bin C., Pires A., 2015)

<sup>7</sup> Υπολειμματικά απόβλητα (Residual waste): Τα υλικά που παραμένουν ως απόβλητα μετά από επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση ή επεξεργασία (Pichtel, 2014).

### 1.3.3. Επιδόσεις των συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων

Οι επιδόσεις του συστήματος διαχείρισης αποβλήτων μιας πόλης ή μιας χώρας, μπορούν να εκτιμηθούν λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντικές επιδόσεις, δηλαδή το ποσοστό ανάκτησης υλικών, ανακύκλωσης και κομποστοποίησης, ανάκτησης ενέργειας (WTE), καθώς και το ποσοστό των αστικών αποβλήτων που καταλήγει τελικά για υγειονομική ταφή. Στο σχήμα 9 φαίνονται οι επιδόσεις των συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων σειράς χωρών, λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους που προαναφέρθηκαν. Όπως προκύπτει από το ίδιο σχήμα, οι περισσότερες χώρες, συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας, έχουν πολύ χαμηλές επιδόσεις στην ανακύκλωση και ανάκτηση ενέργειας και πολύ υψηλό ποσοστό απόθεσης αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής.



Σχήμα 9: Ανάκτηση υλικών και ενέργειας από Αστικά Απόβλητα (Themelis N. J., Boutsalas A. C., 2019)

Ο χώρος υγειονομικής ταφής, που ως μέθοδος διαχείρισης αποβλήτων κυριαρχεί στην ΕΕ και στη Ελλάδα, είναι η παλαιότερη μορφή επεξεργασίας αποβλήτων και η λιγότερο επιθυμητή, λόγω των πολλών δυσμενών επιπτώσεων που μπορεί να έχει. Η πλέον σοβαρή από αυτές είναι η παραγωγή και η απελευθέρωση στον αέρα του μεθανίου, ενός ισχυρού αερίου του θερμοκηπίου, 25 φορές πιο ισχυρού από το διοξείδιο του άνθρακα. Το μεθάνιο μπορεί να συγκεντρωθεί στη μάζα των αποβλήτων των χώρων υγειονομικής ταφής και να προκαλέσει εκρήξεις. Εκτός από το μεθάνιο, η διάσπαση των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής, μπορεί να απελευθερώσει χημικές ουσίες όπως τα βαρέα μέταλλα τα οποία με τη σειρά τους μπορούν να περάσουν στο περιβάλλον. Οι ουσίες αυτές μπορεί να μολύνουν τα τοπικά υπόγεια και επιφανειακά ύδατα και το έδαφος, με εμφανείς κινδύνους για την υποβάθμιση του περιβάλλοντος και τη δημόσια υγεία.

Ένας μέσος χώρος υγειονομικής ταφής μπορεί να παράγει έως και 150 m<sup>3</sup> στραγγισμάτων (leachate) ημερησίως, που ισοδυναμεί με την ποσότητα γλυκού νερού που καταναλώνει κατά μέσο όρο ένα νοικοκυριό το χρόνο. Εκτιμάται, ότι τα υλικά που καταλήγουν στους χώρους υγειονομικής ταφής σε επίπεδο ΕΕ, θα μπορούσαν να έχουν ετήσια εμπορική αξία περίπου 5,25 δισ.. ευρώ (European Commission, 2009).

Η ρύπανση του περιβάλλοντος και η απώλεια πόρων, που θα μπορούσαν να επαναχρησιμοποιηθούν με διάφορους τρόπους, υπαγορεύουν την ανάγκη για αλλαγή του τρόπου διαχείρισης των αποβλήτων και υιοθέτηση περισσότερο βιώσιμων μεθόδων που να στοχεύουν στην πρόληψη και τον περιορισμό των αποβλήτων, στην προστασία του περιβάλλοντος και στην ανάκτηση «χαμένων» πόρων οι οποίοι θα μπορούσαν να στηρίξουν μία κυκλική οικονομία.

## **1.4. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΙΕΡΑΡΧΗΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΕΠΙΛΟΓΩΝ**

### **1.4.1. Από τη γραμμική στην κυκλική οικονομία**

Τα υλικά σχηματίζουν την κοινωνία και τον κόσμο μας, είναι παντού στη ζωή μας και η καθημερινότητά μας θα ήταν διαφορετική χωρίς αυτά. Η πρόκληση της βιώσιμης ανάπτυξης, έγκειται στον τρόπο με τον οποίο επεξεργάζονται οι πόροι, για να κατασκευαστούν καινούργια υλικά και προϊόντα, τα οποία συχνά απορρίπτονται

στο τέλος της ζωής τους. Η βιομηχανική κοινωνία είναι εξαιρετικά εξαρτημένη από τους φυσικούς πόρους για την παραγωγή υλικών ή προϊόντων, με αποτέλεσμα η αύξηση της παραγωγής να οδηγεί σε εξάντληση των φυσικών πόρων με το σκηνικό να περιπλέκεται διαρκώς και στο κοινωνικό επίπεδο.

Η βιομηχανία, λειτούργησε ιστορικά στη βάση ενός γραμμικού συστήματος, μετατρέποντας τους πόρους σε προϊόντα, τα οποία στη συνέχεια απορρίπτονται στο περιβάλλον ως απόβλητα, όπως φαίνεται παραστατικά και στο σχήμα 10.

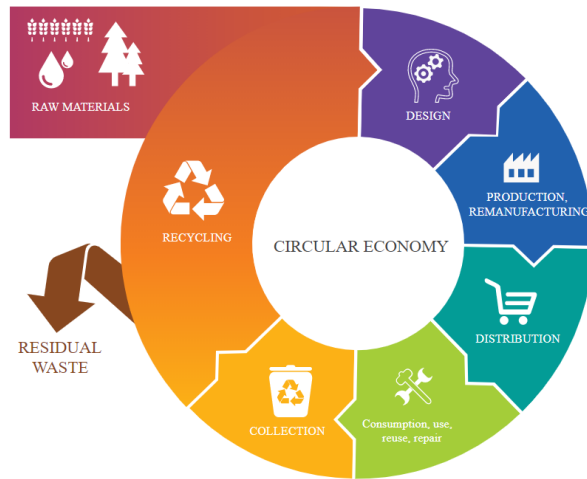


Σχήμα 10: Το μοντέλο της γραμμικής οικονομίας (Ευρωπαϊκή Επιτροπή)

Το μοντέλο αυτό, οδήγησε σε μεγάλη παραγωγή αποβλήτων σε απώλεια πολύτιμων υλικών των προϊόντων, σε αυξανόμενες επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην κλιματική αλλαγή, σε εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, σε αλλαγές στη χρήση της γης, του νερού και άλλων πόρων καθώς και σε ραγδαία αύξηση της εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων που με τη σειρά της οδήγησε σε ένα ασταθές περιβάλλον προμήθειας πρώτων υλών που συνοδεύεται όπως είναι φυσικό και από αστάθεια στις σχετικές αγορές.

Η μετάπτωση στην κυκλική οικονομία, σχήμα 11, αποτελεί σημαντικό βήμα για τον δραστικό περιορισμό των αρνητικών τάσεων που προαναφέρθηκαν. Μια κυκλική οικονομία στοχεύει στη διατήρηση της αξίας των προϊόντων, των υλικών και των πόρων όσο το δυνατόν περισσότερο, επιστρέφοντάς τα στον κύκλο του προϊόντος στο τέλος της χρήσης τους, ελαχιστοποιώντας παράλληλα την παραγωγή αποβλήτων (European Commission, 2019). Στην πράξη, συνεπάγεται τη μείωση των αποβλήτων στο ελάχιστο. Όταν ένα προϊόν φτάσει στο τέλος της ζωής του, τα υλικά του διατηρούνται στην οικονομία όπου είναι δυνατόν. Αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν παραγωγικά ξανά και ξανά, δημιουργώντας έτσι περαιτέρω αξία.





Σχήμα 11: Το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας (European Parliament)

#### 1.4.2. Η Ευρωπαϊκή κατεύθυνση για την ιεράρχηση των διαθέσιμων επιλογών για τη διαχείριση των αποβλήτων

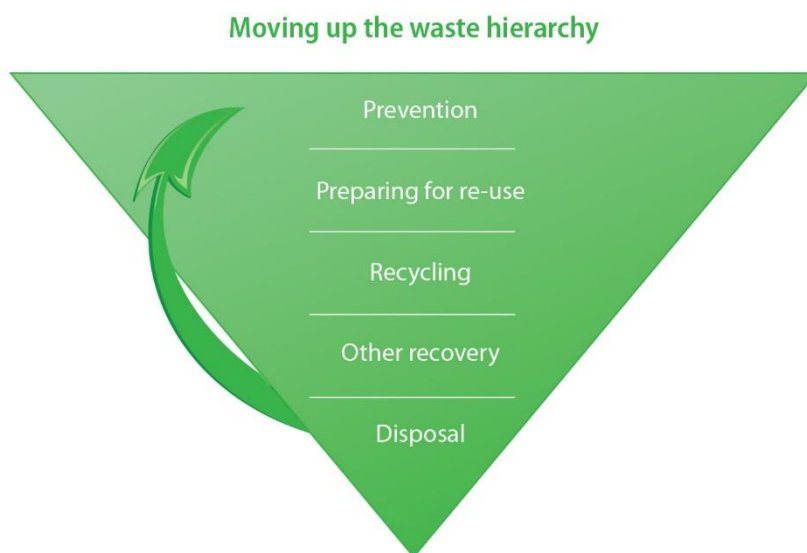
Η διαχείριση των αποβλήτων μέσω ιεράρχησης των διαθέσιμων επιλογών, σύμφωνα με την (Οδηγία 2008/98/ΕΚ), αποτελεί για την ΕΕ ένα μέτρο της κυκλικής οικονομίας που στοχεύει στη μείωση των επιπτώσεων των αποβλήτων στο περιβάλλον και στην υγεία καθώς και στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των πόρων. Ο μακροπρόθεσμος στόχος είναι να μετατραπεί η Ευρώπη σε μια κοινωνία ανακύκλωσης, αποφεύγοντας τα απόβλητα και χρησιμοποιώντας τα ως πόρο, όπου αυτό είναι δυνατό. Στόχος επίσης είναι να επιτευχθούν πολύ υψηλότερα επίπεδα ανακύκλωσης και να ελαχιστοποιηθεί η εξόρυξη νέων πρώτων υλών .

Η Οδηγία 2008/98/ΕΕ, η οποία αποτελεί και οδηγία «πλαίσιο» για τα απόβλητα, ορίζει τις βασικές έννοιες και τους ορισμούς που σχετίζονται με τη διαχείριση αποβλήτων, όπως ορισμοί των αποβλήτων, ανακύκλωση, ανάκτηση κλπ. Επιπλέον, επεξηγεί κατά πόσον τα απόβλητα παύουν να είναι απόβλητα και καθίστανται δευτερογενείς πρώτες ύλες (τα αποκαλούμενα κριτήρια για το τέλος του αποβλήτου) και τον τρόπο διάκρισης μεταξύ αποβλήτων και υποπροϊόντων.

Ορίζει επίσης συγκεκριμένες βασικές αρχές διαχείρισης των αποβλήτων: απαιτεί τη διαχείριση των αποβλήτων χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η ανθρώπινη υγεία και να βλάπτεται το περιβάλλον και ιδίως χωρίς κίνδυνο για το νερό, τον αέρα, το έδαφος, τα φυτά ή τα ζώα, χωρίς να προκαλεί οχλήσεις από θόρυβο ή οσμές, και χωρίς να

επηρεάζει αρνητικά την ύπαιθρο ή τα μέρη ιδιαίτερου ενδιαφέροντος (European Commission, 2019).

Οι εθνικές νομοθεσίες για τα απόβλητα και οι πολιτικές των κ-μ της ΕΕ, σύμφωνα με την Οδηγία, θα πρέπει να εφαρμόζουν κατά προτεραιότητα την ιεράρχηση των διαθέσιμων επιλογών όπως αυτές αποτυπώνονται στο σχήμα 12. Για την ΕΕ, η πρόληψη (prevention) αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή, ακολουθούμενη κατά σειρά προτεραιότητας από την προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση (reuse), την ανακύκλωση (recycling) και τις άλλες μορφές ανάκτησης (other recovery), με τη απόθεση (disposal) να αποτελεί την τελευταία επιλογή.



*Σχήμα 12: Μοντέλο ιεράρχησης προτεραιοτήτων για τη διαχείριση αποβλήτων (European Commission, 2009)*

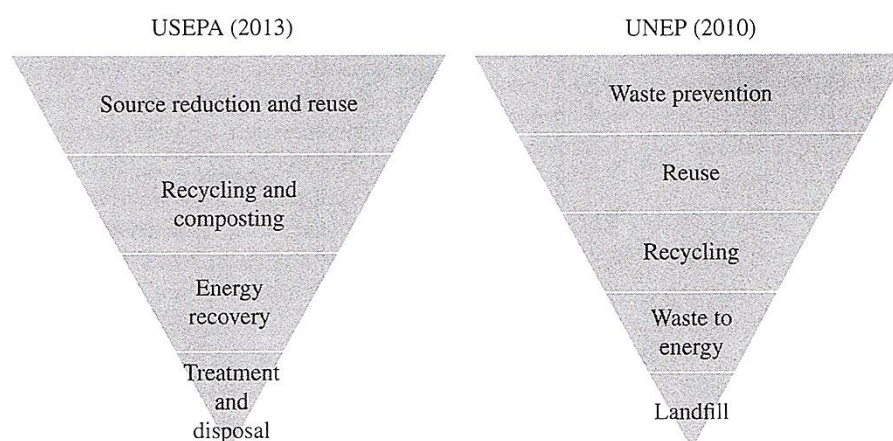
#### **1.4.2.1. Ειδικότερες προβλέψεις της Οδηγίας 2008/98/ΕΚ**

Η Οδηγία εισάγει την αρχή "Ο ρυπαίνων πληρώνει" και της "Διευρυμένης Ευθύνης του Παραγωγού", ενσωματώνει διατάξεις για τα επικίνδυνα απόβλητα και τα χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια και περιλαμβάνει δύο νέους στόχους ανακύκλωσης και ανάκτησης που πρέπει να επιτευχθούν μέχρι το 2020: 50% προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση ορισμένων αποβλήτων από νοικοκυριά και άλλες παρόμοιες εγκαταστάσεις και 70% προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και άλλη ανάκτηση απορριμμάτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις.

Η οδηγία απαιτεί επίσης από τα κράτη μέλη να εγκρίνουν σχέδια διαχείρισης αποβλήτων και προγράμματα πρόληψης της δημιουργίας αποβλήτων.

### 1.4.3. Η ιεράρχηση των διαθέσιμων επιλογών για τη διαχείριση των αποβλήτων σύμφωνα με τα μοντέλα του ΟΗΕ και των ΗΠΑ

Το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (UNEP) και ο Οργανισμός Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (USEPA), παρουσίασαν το 2010 και 2013 αντίστοιχα, τα μοντέλα ιεράρχησης των διαθέσιμων επιλογών για τη διαχείριση των αποβλήτων που φαίνονται στο σχήμα 12 με προτεραιότητες που διαφέρουν από τις αντίστοιχες του μοντέλου της ΕΕ.



Σχήμα 12: Τα πλαίσια εφαρμογής της αρχής της ιεράρχησης των αποβλήτων ΗΠΑ και ΟΗΕ (Ni-Bin C., Pires A., 2015)

Παρότι, όπως διαφαίνεται υπάρχει κοινή λογική από περιβαλλοντική σκοπιά σε ότι αφορά τον περιορισμό, την επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση των αποβλήτων, δεν υπάρχει «ομοφωνία» ως προς το ποια ιεράρχηση είναι η αποτελεσματικότερη. Η απάντηση μπορεί να προέλθει από τη χρησιμοποίηση της Αξιολόγησης του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment), η οποία είναι σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14040, η συλλογή και αξιολόγηση των εισροών (χρήσης πόρων), των αποτελεσμάτων (εκπομπών) και των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός συστήματος καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Αποτελεί μια προσέγγιση που καλύπτει όλα τα στάδια ζωής ενός προϊόντος και των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων του, παρατηρεί τον τρόπο με τον οποίο δημιουργείται το απόβλητο και

κατ' επέκταση μπορεί να «υποδείξει» την καταλληλότερη διαχείριση αλλά και τον τρόπο ιεράρχησης των διαθέσιμων επιλογών.

Η Αξιολόγηση του Κύκλου Ζωής έχει τη δυνατότητα να αποτυπώσει όλους τους κύκλους ζωής των αποβλήτων, να εντοπίζει που ακριβώς εισέρχονται, που εξέρχονται και που μπορούν αυτά να περιοριστούν, να επαναχρησιμοποιηθούν, να ανακυκλωθούν ή να ανακτηθούν ώστε να εκτραπούν από τους χώρους υγειονομικής ταφής. Με αυτή τη λογική, τα απόβλητα που φθάνουν στους χώρους υγειονομικής ταφής θα είναι μόνο αυτά που δεν μπορούν να επανεισαχθούν στην αλυσίδα της κατανάλωσης.

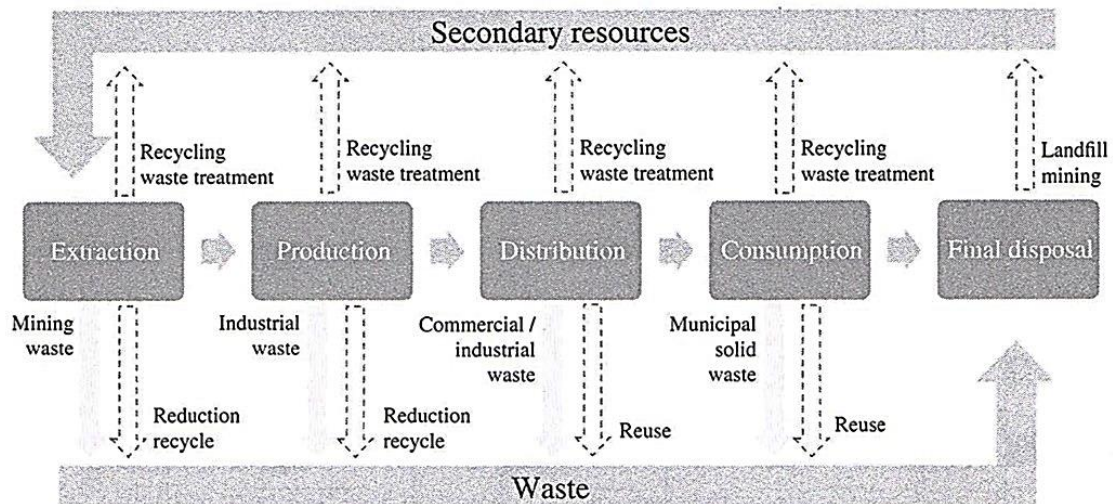
#### **1.4.4. Τα απόβλητα ως πηγή δευτερογενών προϊόντων και υλικών**

Η διαχείριση των αποβλήτων δεν πρέπει να παρουσιάζεται μόνο ως πρόβλημα δημόσιας υγείας, αλλά θα πρέπει να θεωρείται από προμηθευτές/ κατασκευαστές/ σχεδιαστές κλπ. ως πηγή δευτερογενών υλικών και προϊόντων. Η αναβάθμιση του ΣΔΑ σε ένα σύστημα κυκλικής οικονομίας θα συντελέσει, όπως φαίνεται στο σχήμα 13, στην παραγωγή δευτερογενών προϊόντων, καυσίμων από απόβλητα και, στο τέλος του κύκλου αποβλήτων, προϊόντων που παράγονται από νέες και προηγμένες τεχνολογίες (end-of-waste products).

Απώτερος στόχος είναι η αποσύνδεση<sup>8</sup> (decoupling) και η αποδοτικότητα των πόρων (resource efficiency), όπου η οικονομική ανάπτυξη και η ευημερία του ανθρώπου θα αυξάνονται, μειώνοντας παράλληλα τον απαιτούμενο αριθμό πόρων και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με την χρήση τους.

---

<sup>8</sup> Η αποσύνδεση είναι όταν η χρήση πόρων ή κάποια περιβαλλοντική πίεση, είτε αυξάνεται με βραδύτερο ρυθμό από την οικονομική δραστηριότητα που την προκαλεί, τότε έχουμε σχετική αποσύνδεση (relative decoupling), είτε μειώνεται ενώ η οικονομική δραστηριότητα συνεχίζει να αυξάνεται, απόλυτη αποσύνδεση (absolute decoupling) (UNEP, 2019).



Σχήμα 13: Απόβλητα ως δευτερεύοντες πόροι (Ni-Bin C., Pires A., 2015)

Για την επίτευξη μιας οικονομίας αποδοτικής ως προς τη χρήση των πόρων πρέπει και τα συστήματα παραγωγής και κατανάλωσης να βελτιστοποιηθούν, με περιορισμό της χρήσης υλικών, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση, ανακατασκευή κ.α. και ουσιαστικά με προσέγγισή στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας και της βιώσιμης ανάπτυξης.

#### 1.4.5. Πρόληψη και Περιορισμός των αποβλήτων

Οι στόχοι για μείωση, πρόληψη και ελαχιστοποίηση της παραγωγής αποβλήτων, επιδιώκουν κατά κύριο λόγο την αποφυγή της παραγωγής αποβλήτων, μέσω της προώθησης αποτελεσματικότερων επεξεργασιών.

##### 1.4.5.1. Η πολιτική της ΕΕ

Η πρόληψη των αποβλήτων, για την ΕΕ (European Environment Agency, 2018) περιλαμβάνει όλες εκείνες τις ενέργειες που εμποδίζουν την απόρριψη προϊόντων, ουσιών ή υλικών και μπορεί να επιτευχθεί:

- μέσω της μείωσης της ποσότητας των υλικών που χρησιμοποιούνται στα προϊόντα (π.χ. μέσω του οικολογικού σχεδιασμού),
- με τη αύξηση της αποτελεσματικότητας αναφορικά με τη χρήση των προϊόντων (π.χ. κοινή χρήση αντί της αγοράς) καθώς και με
- την επιμήκυνση της διάρκειας ζωής των προϊόντων.

Η πρωτοβουλία περιορισμού των αποβλήτων ή των πόρων θα πρέπει να λαμβάνεται στα σημεία παραγωγής τους, με εργαλεία την επανασχεδίαση των προϊόντων ή την αλλαγή των παραγωγικών και καταναλωτικών προτύπων (Hoornweg D., Bhada-Tata P., 2012).

#### **1.4.5.2. Τα «εργαλεία» για την επίτευξη του στόχου**

Σύμφωνα με τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, περιορισμός ή πρόληψη ενός αποβλήτου, μπορεί να επιτευχθεί με «Καθαρότερη Παραγωγή» και «Πράσινη Βιομηχανοποίηση», σχεδίαση προϊόντων φιλικών προς το περιβάλλον και καθιέρωση τεχνικών χαρακτηριστικών για τον εντοπισμό του σημείου που το απόβλητο παράγεται, συμπεριλαμβάνοντας ακατέργαστα απόβλητα και υποπροϊόντα. Η πρόληψη των αποβλήτων συνδέεται στενά με τη βελτίωση των μεθόδων παραγωγής και με τον επηρεασμό των καταναλωτών, ώστε να απαιτούν περισσότερα οικολογικά προϊόντα και λιγότερη συσκευασία.

##### **1.4.5.2.1. Καθαρότερη Παραγωγή**

Ο όρος «Καθαρότερη Παραγωγή», καθιερώθηκε από τον UNEP το 1989, και περιλαμβάνει την έννοια της αποτελεσματικότερης χρήσης των πόρων, όπου η αποφυγή αποβλήτων προωθείται όπου πρακτικά είναι δυνατόν. Κατά τους Hoornweg and Bhada-Tata (Hoornweg D., Bhada-Tata P., 2012), καθαρότερη παραγωγή είναι μια συστημικά οργανωμένη προσέγγιση των παραγωγικών δραστηριοτήτων που έχει θετικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αυτές οι δραστηριότητες περικλείουν ελαχιστοποίηση της χρήσης των πόρων, βελτίωση της οικο-αποτελεσματικότητας και μείωση των πηγών, ώστε να ενισχύεται η προστασία του περιβάλλοντος και να περιορίζονται οι κίνδυνοι σε ζωντανούς οργανισμούς.

##### **1.4.5.2.2. Πράσινη βιομηχανοποίηση**

Η «Πράσινη βιομηχανοποίηση» θεωρείται σχετικά πρόσφατο παραγωγικό υπόδειγμα για τη βιομηχανία και περιλαμβάνει διάφορες στρατηγικές και τεχνικές για να κάνουν την βιομηχανική δραστηριότητα περισσότερο οικο-αποτελεσματική. Οι στρατηγικές αυτές εστιάζουν στην ανάπτυξη καινούργιων προϊόντων/συστημάτων μικρότερης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, στην αποφυγή χρήσης επικίνδυνων ουσιών, στην αντικατάσταση των εισερχόμενων υλικών και στη μείωση των

αποβλήτων μέσω της επαναχρησιμοποίησης των νέων δευτερογενών υλικών. Η σχεδίαση που είναι φιλική προς το περιβάλλον, κατ' αναλογία με την «πράσινη» σχεδίαση, εξετάζει τις επιπτώσεις των προϊόντων στο περιβάλλον σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους (Glavič P., Lukman R., 2007). Από την άποψη αυτή, κάθε προϊόν που σχεδιάζεται με γνώμονα τη μείωση της παραγωγής αποβλήτων σε όλη τη διάρκεια ζωής του, συμβάλει στην πρόληψη των αποβλήτων.

#### **1.4.5.3. Επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων**

Η επαναχρησιμοποίηση, που είναι ένα ακόμη μέτρο για την πρόληψη και την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων, λαμβάνει χώρα μετά την παραγωγή και τη χρήση του προϊόντος και περιλαμβάνει την επαναχρησιμοποίηση επιμέρους προϊόντων και εξαρτημάτων του αρχικού προϊόντος, που δεν είναι απόβλητα, για τον ίδιο σκοπό που έχουν σχεδιαστεί. Μια άλλη δραστηριότητα που μπορεί να ενισχύσει το μέτρο αυτό, είναι η «προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση», που περιλαμβάνει τον έλεγχο, τον καθαρισμό ή την επιδιόρθωση/ επισκευή για ανάκτηση των προϊόντων ή των εξαρτημάτων που έχουν γίνει απόβλητα, με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή τους χωρίς περαιτέρω επεξεργασία.

#### **1.4.5.4. Ανακύκλωση**

##### **1.4.5.4.1. Η έννοια και η σημασία της**

Πολλά από τα απόβλητα που απορρίπτονται μπορούν να ανακυκλωθούν. Η ανακύκλωση μειώνει την ποσότητα των αποβλήτων που καταλήγει σε χώρους υγειονομικής ταφής, μειώνοντας ταυτόχρονα την ποσότητα των πρώτων υλών που απαιτείται να αντληθούν από το φυσικό περιβάλλον. Η ανακύκλωση περιλαμβάνει κάθε δραστηριότητα ανάκτησης στο πλαίσιο της οποίας τα υλικά των αποβλήτων επεξεργάζονται εκ νέου σε προϊόντα, υλικά ή ουσίες, είτε για εκπλήρωση του αρχικού ή άλλου σκοπού και τροφοδοτεί τη βιομηχανία με υλικά όπως χαρτί, γυαλί, πλαστικό και μέταλλα καθώς και πολύτιμα μέταλλα από τις ανακυκλωμένες ηλεκτρονικές συσκευές και συμβάλλει στον περιορισμό της εισαγωγής σπάνιων πρώτων υλών.

Επίσης, αποτελεί μέσο εξοικονόμησης ενέργειας, αν ληφθεί υπόψη για παράδειγμα ότι η ανακύκλωση μιας αλουμινένιας κονσέρβας εξοικονομεί περίπου το 95% της ενέργειας που απαιτείται για να φτιαχτεί μία νέα από την αρχή. Η ανακύκλωση περιλαμβάνει και την εκ νέου επεξεργασία οργανικών υλικών, αλλά δεν θεωρείται ως τέτοια αν πρόκειται να γίνει χρήση του τελικού προϊόντος ως καύσιμο ή ως υλικό επίχωσης<sup>9</sup> (European Parliament and Council, 2008). Σε μια κυκλική οικονομία, μέσω της ανακύκλωσης τα απόβλητα επανεισάγονται στον κύκλο της κατανάλωσης, ενεργοποιώντας μια νέα οικονομική ροή. Υπό την έννοια αυτή και υπό το πρίσμα των μακροοικονομικών, η ανακύκλωση υλικών είναι πιο σχετική από την ανάκτηση ενέργειας από απόβλητα. Αυτή η σημασία, να επανεισαχθούν τα υλικά της ανακύκλωσης, μαζί με την ανάγκη της αποδοτικότητας των πόρων (resource efficiency), οδήγησε την Ευρωπαϊκή Ένωση στη λήψη συγκεκριμένων μέτρων.

#### **1.4.5.4.2. Οι στόχοι της ΕΕ για την ανακύκλωση και ειδικότερες προβλέψεις**

##### **α. Στόχοι ανακύκλωσης υλικών**

Η ΕΕ έχει θέσει στόχους ανακύκλωσης για πολλά είδη αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων των παλαιών οχημάτων, του ηλεκτρονικού εξοπλισμού, των ηλεκτρικών στηλών, των συσκευασιών, των αστικών αποβλήτων και των αποβλήτων από δραστηριότητες κατασκευής και κατεδάφισης. Σύμφωνα με το ισχύον θεσμικό πλαίσιο της ΕΕ, τα κ-μ θα πρέπει για τα αστικά απόβλητα και τις συσκευασίες να εκπληρώσουν τους στόχους ανακύκλωσης που φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα.

---

<sup>9</sup> «Επίχωση (Backfilling)»: διαδικασία ανάκτησης κατά την οποία χρησιμοποιούνται κατάλληλα μη επικίνδυνα απόβλητα για σκοπούς αποκατάστασης σε χώρους όπου έχουν πραγματοποιηθεί εκσκαφές ή για λόγους μηχανικής στην αρχιτεκτονική τοπίου. Τα απόβλητα που χρησιμοποιούνται για επίχωση πρέπει να υποκαθιστούν μη απόβλητα υλικά, να είναι κατάλληλα για τους προαναφερόμενους σκοπούς και να περιορίζονται στην ποσότητα που είναι αυστηρά αναγκαία για την επίτευξη των σκοπών αυτών (Brandrup J., Bittner M., Menges G., Michaeli W., 1995).



	ΈΩΣ ΤΟ 2025	ΈΩΣ ΤΟ 2030	ΈΩΣ ΤΟ 2035
<b>ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ</b>	55%	60%	65%
<b>ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΕΣ</b>			
<b>Όλες οι συσκευασίες</b>	65%	70%	
<b>ΠΛΑΣΤΙΚΟ</b>	50%	55%	
<b>ΞΥΛΟ</b>	25%	30%	
<b>ΣΙΔΗΡΟΥΧΑ ΜΕΤΑΛΛΑ</b>	70%	80%	
<b>ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ</b>	50%	60%	
<b>ΓΥΑΛΙ</b>	70%	75%	
<b>ΧΑΡΤΙ ΚΑΙ ΧΑΡΤΟΝΙ</b>	75%	85%	

Σχήμα 14: Στόχοι ανακύκλωσης της ΕΕ (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2018)

### β. Η Διευρυμένη Ευθύνη του Παραγωγού

Η Διευρυμένη Ευθύνη του Παραγωγού (ΔΕΠ) μπορεί να οριστεί ως "προσέγγιση περιβαλλοντικής πολιτικής στην οποία η ευθύνη του παραγωγού για ένα προϊόν επεκτείνεται και στο στάδιο του κύκλου ζωής του προϊόντος μετά τον καταναλωτή". Εισήχθη αρχικά ως έννοια από τον Σουηδό Thomas Lindhqvist το 1990 και μεταφράζεται ως μετατόπιση της ευθύνης (διοικητικής, οικονομικής ή φυσικής) από τις κυβερνήσεις ή τους δήμους στους παραγωγούς, καθώς και ως ενθάρρυνση των παραγωγών να λαμβάνουν υπόψη τους περιβαλλοντικούς παράγοντες κατά τη διάρκεια των φάσεων σχεδιασμού και κατασκευής της ανάπτυξης των προϊόντων. Η ΔΕΠ επιδιώκει να μειώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των προϊόντων, καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους, από την παραγωγή μέχρι το τέλος της ζωής τους.

Στην ΕΕ, η διευρυμένη ευθύνη του παραγωγού είναι υποχρεωτική στο πλαίσιο των Οδηγιών για τα απόβλητα των ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ), των μπαταριών και των οχημάτων τέλους κύκλου ζωής, οι οποίες μεταφέρουν την ευθύνη χρηματοδότησης της συλλογής, ανακύκλωσης και υπεύθυνης απόθεσης των ΑΗΗΕ, των ηλεκτρικών στηλών, των συσσωρευτών και των οχημάτων στους παραγωγούς.

Η Διευρυμένη Ευθύνη του Παραγωγού στην ΕΕ αναφορικά με τα πλαστικά προϊόντα μιας χρήσης

Σύμφωνα με την (Οδηγία (ΕΕ) 2019/904, 2019), σχετικά με τη μείωση των επιπτώσεων ορισμένων πλαστικών προϊόντων στο περιβάλλον, τα κράτη μέλη θα πρέπει να εξασφαλίσουν τη θέσπιση συστημάτων διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού για όλα τα πλαστικά προϊόντα μιας χρήσης που απαριθμούνται στην οδηγία και τα οποία διατίθενται στην εγχώρια αγορά. Επιπλέον, θα πρέπει να εξασφαλίσουν ότι οι παραγωγοί αυτών των πλαστικών προϊόντων μιας χρήσης θα καλύπτουν συγκεκριμένα κόστη και ιδίως το κόστος των μέτρων ευαισθητοποίησης για τα προϊόντα αυτά, το κόστος για τη συλλογή των αποβλήτων για εκείνα τα προϊόντα που απορρίπτονται στα δημόσια συστήματα συλλογής, συμπεριλαμβανομένης της υποδομής και της λειτουργίας της, καθώς και την επακόλουθη μεταφορά και επεξεργασία των αποβλήτων και το κόστος καθαρισμού ως αποτέλεσμα της απόρριψης στο περιβάλλον των εν λόγω προϊόντων και της επακόλουθης μεταφοράς και επεξεργασίας τους.

#### **1.4.5.5. Ανάκτηση**

##### **1.4.5.5.1. Βιολογική ανάκτηση**

Η βιολογική ανάκτηση περιλαμβάνει την κομποστοποίηση και την αναερόβια χώνευση. Η κομποστοποίηση είναι μια αερόβια διεργασία που μετατρέπει τα αποδομήσιμα οργανικά απόβλητα σε διοξείδιο του άνθρακα και σταθεροποιημένη οργανική ύλη. Η αναερόβια χώνευση είναι η διεργασία που συντελείται με απουσία οξυγόνου, όπου τα οργανικά απόβλητα αποσυντίθενται για να παράγουν μεθάνιο. Και οι δύο διεργασίες παράγουν κομπόστ που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα ή ως υλικό επίστρωσης κατά την υγειονομική ταφή.

Από περιβαλλοντική άποψη, η αναερόβια χώνευση παρουσιάζει καλύτερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα σε σύγκριση με την κομποστοποίηση, κυρίως για το λόγο ότι η παραγωγή του βιοαερίου μπορεί να αντικαταστήσει τη χρήση ενέργειας από ορυκτές πηγές για την παραγωγή καυσίμων οχημάτων, θερμότητας, ηλεκτρικής ενέργειας και συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ενέργειας.

##### **1.4.5.5.2. Ανάκτηση ενέργειας από τα απόβλητα**

Η ανάκτηση ενέργειας (Waste-to-Energy), από τα απόβλητα είναι μια διαδικασία επεξεργασίας που μπορεί να αποδώσει καθαρότερη ενέργεια σε σύγκριση με την

ενέργεια παραγωγής, όπως είναι για παράδειγμα η ηλεκτροπαραγωγή με καύση λιγνίτη ή άνθρακα. Η διαδικασία αυτή διαφέρει από τη θερμική επεξεργασία των αποβλήτων για το λόγο ότι περιλαμβάνει την ανάκτηση της παραγόμενης ενέργειας.

Οι εγκαταστάσεις αποτέφρωσης σύγχρονων αποβλήτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ατμού και θέρμανσης για τα κτίρια. Τα απόβλητα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα σε ορισμένες βιομηχανικές διεργασίες. Η κακή ή η ατελής καύση των αποβλήτων μπορεί να προκαλέσει περιβαλλοντικές επιπτώσεις καθώς και επιπτώσεις στην υγεία, λόγω της έκλυσης επικίνδυνων χημικών ουσιών, συμπεριλαμβανομένων των διοξινών και των όξινων αερίων. Για να εξασφαλιστεί η πλήρης καταστροφή των επικίνδυνων ουσιών, στις μονάδες αποτέφρωσης η καύση των αποβλήτων θα πρέπει να γίνεται υπό ελεγχόμενες συνθήκες και σε επαρκώς υψηλές θερμοκρασίες. Όταν δεν μπορούν να αποφευχθούν οι εκπομπές επικίνδυνων ουσιών, θα πρέπει να λαμβάνονται πρόσθετα μέτρα για τον περιορισμό των εκπομπών στο περιβάλλον.

#### **1.4.5.6. Απόθεση**

Η λύση της απόθεσης θεωρείται ως η τελευταία επιλογή στο μοντέλο ιεράρχησης των διαθέσιμων επιλογών της ΕΕ. Σύμφωνα με (European Parliament and Council, 2008), η απόθεση συνίσταται σε οποιαδήποτε δραστηριότητα που δεν συνεπάγεται ανάκτηση, ακόμη και όταν η δραστηριότητα αυτή έχει δευτερεύουσα συνέπεια λόγω της αποκατάστασης ουσιών ή ενέργειας.

Σε μια κυκλική οικονομία, όπου τα απόβλητα χαρακτηρίζονται ως χρήσιμοι πόροι, η απόθεση δεν είναι ο τελικός προορισμός. Η απόθεση μπορεί να θεωρηθεί ως ένας τρόπος αποθήκευσης για το μέλλον, όπως η αποθήκευση απορριφθέντων-συμπληρωματικών καυσίμων (refuse-derived fuel) ή στερεών ανακτημένων καυσίμων (solid-recovered fuel) σε χώρους υγειονομικής ταφής. Η απόθεση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση ροών αποβλήτων ως πηγών καυσίμων, όπως στην περίπτωση του αερίου του μεθανίου από χωματερή που λειτουργεί ως βιο-αντιδραστήρας.

Η απόθεση μπορεί να επιλεγεί ως πηγή δευτερευόντων υλικών, μέσω της εξόρυξης χώρων υγειονομικής ταφής με σκοπό την ανάκτηση των αποβλήτων μετά

το τέλος της λειτουργίας της υγειονομικής ταφής. Πρόθεση της μηδενικής παραγωγής αποβλήτων είναι να αποφευχθεί η υγειονομική ταφή των οποιωνδήποτε πόρων, εφόσον οι πόροι αυτοί μπορούν να επανεισαχθούν στην αλυσίδα της κατανάλωσης. Για παράδειγμα, η ανάκτηση των αποβλήτων τροφίμων θα είναι ευεργετική για το περιβάλλον για το λόγο ότι αποφεύγεται με τον τρόπο αυτό η ταφή των οργανικών αποβλήτων και η συνεπακόλουθη απελευθέρωση αερίων του.

### **1.5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Η αυξανόμενη χρήση των μη ανανεώσιμων πηγών για την κατασκευή καταναλωτικών αγαθών έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των αποβλήτων και την ανάγκη σωστής διαχείρισής τους. Οι τεχνολογίες που είναι διαθέσιμες για την επεξεργασία ροών αποβλήτων έχουν εφαρμογή σε τοπικής κλίμακας εγκαταστάσεις, όπως είναι οι κάδοι απορριμμάτων ανακύκλωσης ή τα ειδικά οχήματα συλλογής, σε περιφερειακής κλίμακας εγκαταστάσεις ανάκτησης υλικών, σε αστικές εγκαταστάσεις αποτέφρωσης στερεών αποβλήτων και σε χώρους υγειονομικής ταφής, προσδίδοντας μοναδικά χαρακτηριστικά σε κάθε Σύστημα Διαχείρισης Αποβλήτων (ΣΔΑ).

Οι ροές των αποβλήτων μέσω της ιεράρχησης και με κατάλληλο σχεδιασμό διαχείρισης που θα λαμβάνει υπόψη τον τύπο των αποβλήτων, τις διαθέσιμες τεχνολογίες, τη νομοθεσία και τα μέτρα που λαμβάνονται σε εθνικό επίπεδο, μπορούν να θεωρηθούν ως ροές που θα συνδέουν διάφορα στοιχεία αστικών συστημάτων. *Συστήματα και τεχνικά δίκτυα και θα συμβάλουν στη βιωσιμότητα των πόλεων μέσω της ανάκτησης υλικών και ενέργειας, αύξησης της αποδοτικότητας της ανακύκλωσης και μείωσης των επιπτώσεων της ρύπανσης, άμεσα και έμμεσα σε μακροπρόθεσμη βάση. Ένα τέτοιο φαινόμενο μπορεί να θεωρηθεί ως ένα εσωτερικό τμήμα του «Αστικού Μεταβολισμού (Urban Metabolism)» (Ni-Bin C., Pires A., 2015).*

## **2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ, ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥΣ**

### **2.1. ΤΟ ΥΛΙΚΟ, ΟΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΚΑΙ Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ**

Το πλαστικό ως όρος πηγάζει από την λατινική λέξη «plasticus», η οποία με τη σειρά της προέρχεται από την ελληνική λέξη «πλαστικός» που περιγράφει οτιδήποτε μπορεί να «πλασθεί» και είναι κατάλληλο για χύτευση (PlasticsEurope, 2018).

Τα πλαστικά δεν είναι μόνο ένα υλικό, αλλά μια μεγάλη οικογένεια διαφορετικών υλικών. Είναι φθηνά, ελαφριά και ανθεκτικά υλικά, τα οποία μπορούν εύκολα να μορφοποιηθούν σε μια μεγάλη ποικιλία προϊόντων και εφαρμογών. Σε ότι αφορά τη σύστασή τους, τα πλαστικά αποτελούνται από πολυμερή και πρόσθετα (additives), που προστίθενται για να δώσουν στα πολυμερή τα επιθυμητά λειτουργικά χαρακτηριστικά. Αυτά που αποτελούνται σχεδόν εξ ολοκλήρου από πολυμερή χαρακτηρίζονται ως πρώτης ποιότητας (prime grade). Ο βαθμός αλλά και ο τύπος των πρόσθετων που χρησιμοποιούνται, εξαρτώνται από τις εφαρμογές για τις οποίες προορίζεται το πλαστικό.

### **2.2. ΤΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟ, ΕΝΑ ΕΠΑΝΑΣΤΑΤΙΚΟ ΚΑΙ ΠΟΛΥΤΙΜΟ ΥΛΙΚΟ**

Τα εύκαμπτα πλαστικά έχουν εμπνεύσει καινοτομίες, συμβάλλοντας με τον τρόπο αυτό ώστε η καθημερινή ζωή των ανθρώπων να είναι καλύτερη, υγιεινότερη αλλά και ασφαλέστερη. Οι σημερινές χρήσεις του πλαστικού είναι αναρίθμητες: τα πλαστικά συναντώνται σε συσκευασίες που συντελούν τα τρόφιμα να διατηρούνται ασφαλή και φρέσκα, σε κινητά τηλέφωνα, τηλεοράσεις, ηλεκτρονικούς υπολογιστές και άλλο ηλεκτρονικό εξοπλισμό που καθιστά δυνατή τη σύγχρονη ζωή, στις στέγες, στους τοίχους, στο δάπεδο και στη μόνωση που κάνουν τα σπίτια και τα κτίρια ενεργειακά αποδοτικά, σε αερόσακους αυτοκινήτων, σε ιατρικό εξοπλισμό και εξοπλισμό ατομικής προστασίας, σε είδη αναψυχής και σε πλήθος άλλων προϊόντων και εφαρμογών. Επιγραμματικά τα πλαστικά:

Επιτρέπουν ένα βιώσιμο, ανθεκτικό, και μεγάλης διάρκειας ζωής σχεδιασμό και κατασκευή σπιτιών, κτιρίων γενικώς και υποδομών όπως γέφυρες κ.α.

Στην αυτοκινητοβιομηχανία, έχουν συμβάλει σε πληθώρα καινοτομιών όσον αφορά την ασφάλεια, τις επιδόσεις, την αισθητική και την κατανάλωση καυσίμου.

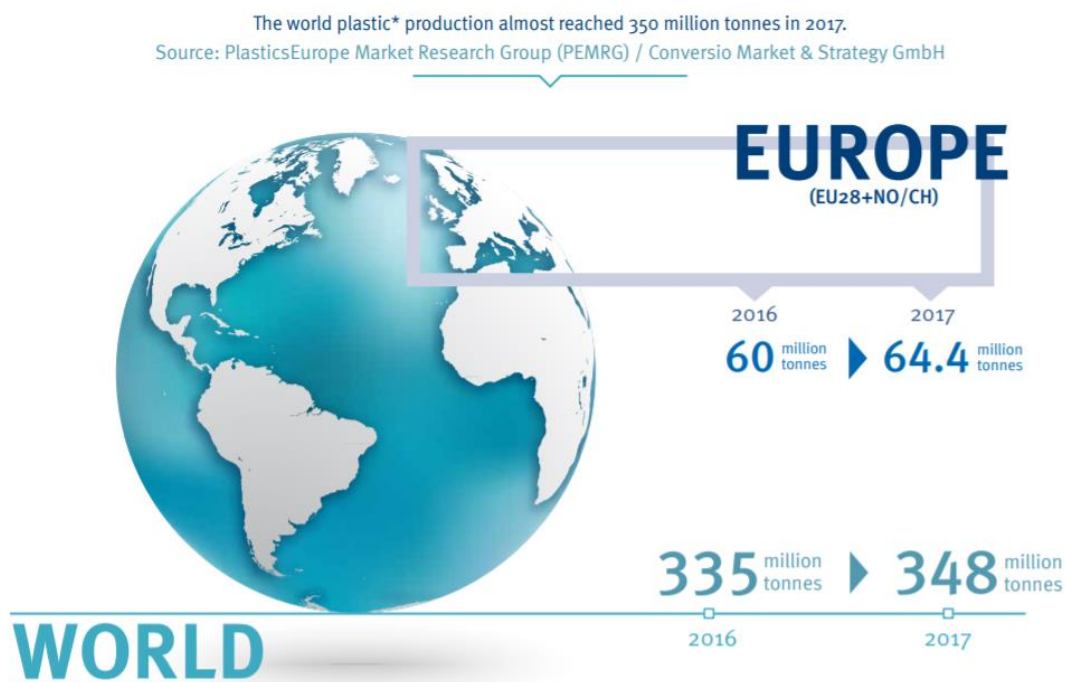
Με τις συσκευασίες συμβάλλουν στην προστασία και διατήρηση των προϊόντων, μειώνοντας παράλληλα το βάρος κατά τη μεταφορά, εξοικονομώντας καύσιμα και περιορίζοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Από τους υπολογιστές και τα κινητά τηλέφωνα έως τις τηλεοράσεις και τις συσκευές μικροκυμάτων, τα ανθεκτικά, ελαφριά και προσιτά από οικονομική άποψη πλαστικά, συνετέλεσαν στην επανάσταση των ηλεκτρονικών συσκευών που υποστηρίζουν το σύγχρονο τρόπο ζωής αλλά και στην επανάσταση της επιστήμης γενικότερα.

Συντελούν στην πρόοδο της ιατρικής, στη ασφάλεια της εργασίας και στην ασφάλεια από αθλητικές και άλλες δραστηριότητες μέσα από ένα πλήθος εξοπλισμού και υλικών καθώς και εξοπλισμού ατομικής προστασίας.

### 2.3. Η ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΑΙ Η ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ

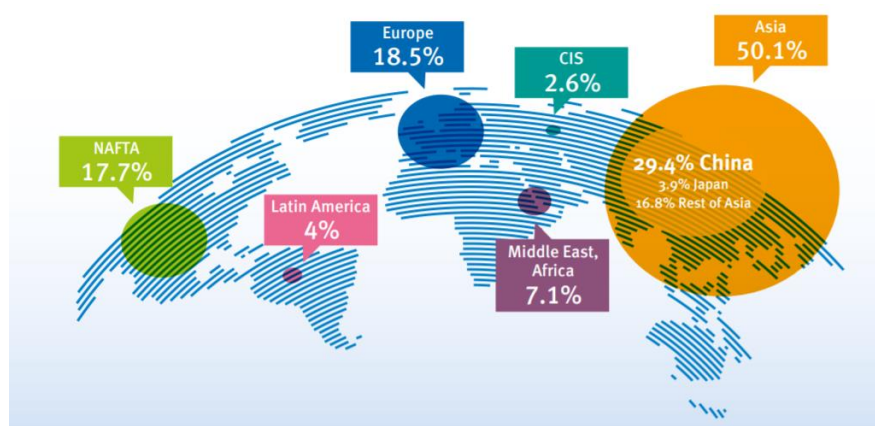
Η μαζική παραγωγή των πλαστικών άρχισε τη δεκαετία του '50 και την περίοδο από το 1964 έως το 2015 αυξήθηκε περισσότερο από είκοσι φορές.



Σχήμα 15: Παγκόσμια και ευρωπαϊκή παραγωγή πλαστικού (PlasticsEurope, 2018)

Με στοιχεία του 2017, όπως φαίνεται αναλυτικά σχήμα 15, η παγκόσμια παραγωγή πλαστικών κυμάνθηκε σχεδόν στα 350 εκ. τόν. και η αντίστοιχη ευρωπαϊκή στα 64.4 εκ. τόν. (PlasticsEurope, 2018). Η παγκόσμια παραγωγή μέχρι το 2035 αναμένεται να διπλασιαστεί και μέχρι το 2050 σχεδόν να τετραπλασιαστεί (GEF STAP 54th Council Meeting, 2018).

Η γεωγραφική κατανομή της παγκόσμιας παραγωγής πλαστικού φαίνεται σχήμα 16 και όπως προκύπτει από τα σχετικά στοιχεία την πρώτη θέση παγκόσμια κατέχει η Κίνα με ποσοστό που καλύπτει περίπου το ένα τρίτο της παγκόσμιας παραγωγής (29,4%).



Σχήμα 16: Παγκόσμια και ευρωπαϊκή παραγωγή πλαστικού (PlasticsEurope, 2018)

## 2.4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Η διαδικασία της παραγωγής πλαστικών προϊόντων περιλαμβάνει την εξόρυξη της πρώτης ύλης, όλα τα αναγκαία βήματα και διαδικασίες που ακολουθούνται από τις μονάδες παραγωγής ενός πλαστικού προϊόντος και ειδικότερα την παραγωγή της πρώτης ύλης, τη χημική τους επεξεργασία για την παραγωγή μονομερών, την επεξεργασία των μονομερών για την παραγωγή πολυμερών, στη συνέχεια ανάμειξη των πολυμερών με πρόσθετα και τέλος τη μορφοποίηση και την παραγωγή του τελικού προϊόντος. Η φάση της χρήσης των προϊόντων περιλαμβάνει όλες τις δυνητικές χρήσεις των πλαστικών προϊόντων από πληθώρα χρηστών, καταναλωτών και παραγωγών, ανάλογα με το σκοπό του εξυπηρετούν (απευθείας χρήση ή συνδυασμός τους με άλλα υλικά για την παραγωγή σύνθετων προϊόντων).

### 2.4.1. Επεξεργασία της πρώτης ύλης για την παραγωγή πολυμερών.

Η παραγωγή κοινών πλαστικών χρησιμοποιεί ως πρώτη ύλη το πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο. Το πετρέλαιο, είναι ένα πολύπλοκο μίγμα υδρογονανθράκων και περιέχει μικρές ποσότητες οργανικών ενώσεων, που περιέχουν θείο (S), οξυγόνο (O) και άζωτο (N), καθώς επίσης και ίχνη μετάλλων. Μετά την εξόρυξη του, το αργό πετρέλαιο επεξεργάζεται στα διυλιστήρια με τη διαδικασία της ρευστής καταλυτικής πυρόλυσης κλασμάτων του πετρελαίου με σκοπό την παραγωγή αλκενίων. Τα αλκένια, περιλαμβάνουν το αιθένιο, το προπένιο και το 1,3-βουταδιένιο. Το αιθένιο και το προπένιο είναι σημαντικές ενώσεις μονομερών από τις οποίες σε επόμενο στάδιο παράγονται τα πλαστικά<sup>10</sup>. Το βουταδιένιο χρησιμοποιείται στην παραγωγή συνθετικού καουτσούκ.

Το φυσικό αέριο είναι αέριο μίγμα υδρογονανθράκων με μικρό αριθμό ατόμων άνθρακα. Βασικό συστατικό του φυσικού αερίου είναι το μεθάνιο. Υπάρχουν και σημαντικές ποσότητες αιθανίου, προπανίου και βουτανίου, καθώς και διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), άζωτο (N), υδρογόνο (H), ήλιο (He) και υδρόθειο. Χημικές εγκαταστάσεις παράγουν αλκένια με ατμοπυρόλυση των υγρών φυσικού αερίου, όπως αιθάνιο και προπάνιο.

Τα αλκένια αιθένιο και προπένιο, όπως αναφέρθηκε προηγούμενα, είναι τα μονομερή που συμμετέχουν στις διαδικασίες πολυμερισμού για τη δημιουργία μιας πολυμερικής αλυσίδας. *Τα πολυμερή λαμβάνονται μέσω χημικών δια-μοριακών αντιδράσεων, μεταξύ των μορίων των μονομερών, όπου ανάλογα το είδος των αντιδρώντων των πολυμερών (ιδίου τύπου ή διαφορετικού τύπου μονομερών), το πολυμερές που προκύπτει είναι ομοπολυμερές ή συμπολυμερές και η αντίδραση αυτή ονομάζεται αντίστοιχα πολυμερισμός (polymerization) ή συμπολυμερισμός (copolymerization) (Παντελής, 2008).*

---

<sup>10</sup> Πετροχημικά  
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%BF%CF%87%CE%B7%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AC>



## 2.4.2. Διάκριση Πολυμερών

Τα περισσότερα πολυμερή είναι συνθετικά (synthetic polymers), καθώς τα μονομερή που τα συνθέτουν δεν υπάρχουν στην φύση. Υπάρχουν και φυσικά πολυμερή (natural polymers) όπως το καουτσούκ, το μετάξι και οι φυτικές ρητίνες, τα οποία χρησιμοποιούνται εδώ και χιλιάδες χρόνια. Ως προς την χρήση τους, τα πολυμερή διακρίνονται σε ευρείας, τεχνικά και προηγμένα πολυμερή. Ευρείας χρήσης (commodity polymers) είναι τα πολυμερή που παράγονται σε υψηλό ποσοστό και χρησιμοποιούνται σε πλήθος εφαρμογών, όπως είδη συσκευασίας και δοχεία. Παρουσιάζουν σχετικά ασθενείς μηχανικές ιδιότητες και έχουν χαμηλό κόστος. Παραδείγματα τέτοιων πολυμερών είναι το πολυαιθυλένιο (PE), το πολυπροπυλένιο (PP), το πολυστυρένιο (PS), το χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC) κ.ά.

Τα τεχνικά πολυμερή (engineering polymers) έχουν καλύτερες μηχανικές ή/και θερμικές ιδιότητες από τα ευρείας χρήσης. Είναι ακριβότερα και παράγονται συνήθως σε μικρότερες ποσότητες. Τέτοια είναι το ακρυλονιτρίλιο βουταδιένιο στυρένιο (ABS), το Νylon 6, το πολυφαινυλενοσουλφίδιο (PPS) το πολυφαινυλενοξείδιο (PPO) κ.ά. Τα προηγμένα πολυμερή (high performance polymers) παρουσιάζουν εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες και μεγάλη σταθερότητα σε υψηλές θερμοκρασίες, παράγονται σε μικρές ποσότητες και προορίζονται για ειδικές εφαρμογές. Παραδείγματα αυτών είναι η πολυσουλφόνη (PSU), η πολύ-(αιθεροσουλφόνη) (PES), η πολυαιθεριμίδη (PEI) κ.ά.

Η πιο σημαντική διάκριση των πολυμερών βασίζεται στις ιδιότητες τους, τόσο στη μοριακή δομή όσο και στις οδούς επεξεργασίας που μπορούν να εφαρμοστούν. Αναφέρεται επίσης και στην ανακύκλωσή τους, καθώς κάθε κατηγορία χρειάζεται διαφορετική προσέγγιση. Ειδικότερα:

- **Θερμοπλαστικά (Thermoplastics):** Αποτελούνται κυρίως από γραμμικά μακρομόρια, που με τη θέρμανση μαλακώνουν και ρέουν, λόγω χαλάρωσης των μοριακών δεσμών. Στερεοποιούνται όταν ψύχονται, και κατά την αναθέρμανσή τους, τήκονται και ανακτούν την ικανότητα ροής. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν, δηλαδή να ανακυκλωθούν με την επαναπλήρωσή τους με πληρωτικά (additives). Είναι είτε άμορφα είτε

μερικώς κρυσταλλικά. Θερμοπλαστικά είναι το πολυαιθυλένιο (PE), το χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC), το πολυπροπυλένιο (PP), το πολυστυρένιο (PS), τα πολυαμίδια (Nylon) κλπ.

- **Θερμοσκληρυνόμενα (Thermosets ή thermosetting plastics):** Αποτελούνται από μη γραμμικά και σχετικά μικρά μακρομόρια. Υφίστανται επεξεργασία με τήξη, συχνά με παρόμοιο τρόπο με τα θερμοπλαστικά. Με θέρμανση ή υπό πίεση αρχικά μαλακώνουν και μορφοποιούνται ωστόσο, μόλις σχηματιστούν και ψυχθούν, δεν μπορούν να επανεπεξεργασθούν. Γίνονται άκαμπτα και εύθραυστα με ένα πολύ πυκνό μοριακό δίκτυο. Συνήθως είναι άμορφα ως προς τη μικροδομή τους. Τα κυριότερα θερμοσκληρυνόμενα είναι τα φαινολικά πολυμερή (φαινοπλάστες ή βακελίτες), οι εποξειδικές ρητίνες, οι πολυεστέρες κ.λπ.
- **Ελαστομερή (Elastomers ή rubbers):** Είναι συνήθως γραμμικά πολυμερή με διακλαδισμένες αλυσίδες. Μπορούν να υποστούν μεγάλες παραμορφώσεις και να επανέλθουν στο αρχικό τους σχήμα, μετά την άρση του φορτίου. Η ιδιότητάς τους αυτή τους προσφέρει μεγάλη προσαρμοστικότητα και για αυτό χρησιμοποιούνται συχνά σε ελατήρια, κατασκευή αεροθάλαμων, υποδημάτων και ως στεγανωτικά μέσα. Τα ελαστομερή αφροποιούνται εύκολα. Χαρακτηριστικά ελαστομερή είναι το ελαστικό κόμμι, το συνθετικό και φυσικό καουτσούκ, οι σιλικόνες κ.ά.
- **Σύνθετα (Composite):** Τα σύνθετα αποτελούνται από δύο ή περισσότερα υλικά με διαφορετικές φυσικές και μηχανικές ιδιότητες και κατασκευάζονται με μηχανικό τρόπο. Αποτελούνται από δύο φάσεις, τη μήτρα και το συστατικό ενίσχυσης το οποίο προσδίδει βελτιωμένες ιδιότητες. Υπάρχουν σύνθετα υλικά με ενίσχυση ινών, με ενίσχυση σωματιδίων και στρωματικά σύνθετα υλικά.
- **Αφρώδη (cellular solids ή foams):** Μπορούν να θεωρηθούν ως σύνθετα υλικά στα οποία η ενισχυτική φάση βρίσκεται σε αέρια κατάσταση. Συνήθως πρόκειται για έναν κυψελοειδή σκελετό πολυμερούς, στον οποίο βρίσκονται εγκλωβισμένες φυσαλίδες αερίου, κυρίως CO<sub>2</sub>. Έχουν σπογγώδη μορφή και

συναντώνται άφθονα στην φύση όπως το ξύλο, ο φελλός και το κοράλλι (Παντελής, 2008).

- **Μείγματα πολυμερών (polymer blends):** Ένα μείγμα πολυμερούς είναι εκείνο όπου δύο τουλάχιστον πολυμερή αναμιγνύονται μαζί για να δημιουργήσουν ένα νέο υλικό με διαφορετικές φυσικές ιδιότητες. Υπάρχουν τα αναμίξιμα (miscible) και τα μη αναμίξιμα (immiscible). Τα αναμίξιμα μείγματα παρουσιάζουν καλές μηχανικές και άλλες φυσικές ιδιότητες και χαρακτηρίζονται από μια θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης. Το πιο γνωστό είναι το ακρυλονιτρίλιο-βουταδιένιο-στυρένιο (ABS). *Τα μη αναμίξιμα μίγματα έχουν κακές μηχανικές ιδιότητες, λόγω διαχωρισμού φάσεων, και απαιτούν κατάλληλα πληρωτικά ως παραγόντων σύζευξης* (Bruder, 2015).

### 2.4.3. Τα πλέον Χαρακτηριστικά Πολυμερή

#### 2.4.3.1. Πολυαιθυλένιο (PE)

Είναι ένα ημικρυσταλλικό θερμοπλαστικό πολυμερές και ανήκει στην οικογένεια των ολεφινών (olefins). Είναι αδρανές και εξαιρετικά ανθεκτικό στο γλυκό και αλμυρό νερό, στα τρόφιμα και στα περισσότερα υδατικά διαλύματα, ιδιότητες που του επιτρέπουν να χρησιμοποιείται ευρέως σε προϊόντα οικιακής χρήσης και δοχεία τροφίμων. Είναι το πλέον κοινό πολυμερές, είναι φθηνό και παράγεται σε πολύ μεγάλες ποσότητες (> από 60 εκ. τον. το χρόνο). Επιπλέον, είναι ανθεκτικό στη διάβρωση, έχει μεγάλη ελαστικότητα και είναι εύκολο στη μορφοποίηση. Δεν είναι ανθεκτικό στην υπεριώδη ακτινοβολία (UV), επιδέχεται πολλούς χρωματισμούς αλλά είναι δύσκολο να τυπωθεί στην επιφάνειά του. Παράγεται σε μορφή φιλμ, φύλλων, αφρώδους υλικού και σε ίνες και ανακυκλώνεται εύκολα εφόσον δεν έχει επικαλυφθεί με άλλα υλικά. Οι τυπικές εφαρμογές του περιλαμβάνουν δοχεία λαδιού, πακέτα τροφίμων, φιάλες γάλακτος και πλαστικά δοχεία όπως για παράδειγμα της Tupperware.

Όταν πολυμερίζεται το αιθυλένιο για τη δημιουργία του πολυαιθυλενίου υπάρχουν πολλές επεξεργασίες που έχουν ως αποτέλεσμα λιγότερες ή περισσότερες πλευρικές διακλαδώσεις στις μοριακές αλυσίδες. Ο αριθμός των πλευρικών διακλαδώσεων επηρεάζει την κρυσταλλικότητα, το μοριακό βάρος και την πυκνότητα του πολυαιθυλενίου. Το τελευταίο, σύμφωνα με την πυκνότητα και τις πλευρικές

διακλαδώσεις, ταξινομείται σε: υψηλής σχετικής μοριακής μάζας πολυαιθυλένιο (HMWPE), πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE), διασταυρωμένο πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDXLPE), διασταυρωμένο πολυαιθυλένιο (PEX), πολυαιθυλένιο μεσαίας πυκνότητας (MDPE), γραμμικό πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LLDPE) και πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LDPE).

#### **2.4.3.2. Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LDPE)**

Το LDPE, χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές φιλμ λόγω της σκληρότητας, της ευλυγισίας και της διαφάνειας που παρουσιάζει. Έχει χαμηλό σημείο τήξης και συναντάται σε είδη οικιακής χρήσης όπως πλαστικές συσκευασίες, σακούλες παντοπωλείων, κονσέρβες τροφίμων και φιάλες που μπορούν να συμπιεστούν. Το ανακυκλωμένο LDPE έχει εφαρμογές σε προϊόντα όπως είναι οι κάδοι σκουπιδιών, τα υλικά επένδυσης, τα έπιπλα, τα δάπεδα, το περιτύλιγμα με φυσαλίδες κ.λ.π.

Στις τυπικές του εφαρμογές περιλαμβάνονται: φύλλα και μεμβράνες όπως, συρρικνωμένα περιτυλίγματα, σωληνοειδή φιλμ, σάκοι και καλύμματα για ψωμί, λαχανικά και φρούτα, σακούλες και εξαιρετικά λεπτές μεμβράνες όπως ελαστικά φύλλα περιτυλίγματος ή ταινίες stretch κ.α.

#### **2.4.3.3. Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE)**

Το πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE), είναι τύπος πολυαιθυλενίου (PE) περισσότερο κρυσταλλικός και με πολύ μεγαλύτερη πυκνότητα από το πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LDPE) και χρησιμοποιείται συχνά σε εντελώς διαφορετικές συνθήκες και εφαρμογές. Χρησιμοποιείται για πολλές εφαρμογές συσκευασίας, επειδή παρέχει εξαιρετικές ιδιότητες φραγμού υγρασίας και χημική αντοχή. Επειδή το HDPE έχει καλή χημική αντοχή, χρησιμοποιείται για τη συσκευασία πολλών οικιακών και βιομηχανικών χημικών ουσιών όπως απορρυπαντικά, λευκαντικά και οξέα.

Στις τυπικές του εφαρμογές περιλαμβάνονται : εφαρμογές με παχύ τοίχωμα όπως φιάλες και δοχεία ποτών, βαρέλια, δοχεία, κιβώτια, φιλμ, σακούλες απορριμμάτων, συσκευασίες για χαλιά και εργαλεία κ.ά.

#### **2.4.3.4. Τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PETE ή PET)**

Το PETE ή PET, είναι το πλέον διαδεδομένο θερμοπλαστικό πολυμερές, γνωστό στην κλωστοϋφαντουργία με την εμπορική ονομασία «πολυεστέρας». Έχει καλές ιδιότητες φραγμού αερίων και υγρασίας καθιστώντας το ιδανικό για εφαρμογές ανθρακούχων αναψυκτικών και άλλων δοχείων τροφίμων. Το γεγονός ότι παρουσιάζει αντοχή στη θερμοκρασία, επιτρέπει τη χρήση του σε εφαρμογές όπως οι θερμαινόμενοι δίσκοι τροφίμων για προπαρασκευασμένα φαγητά. Πρόκειται για ένα φυσικό διαφανές και ημι-κρυσταλλικό πλαστικό που χρησιμοποιείται ευρέως ως ίνα για ρούχα, καθώς και ως ενισχυτικό μέσο, όταν συνδυάζεται με άλλα υλικά όπως ίνες γυαλιού ή νανοσωλήνες άνθρακα, για την ενίσχυση της αντοχής του υλικού. Μερικά από τα πλέον σημαντικά χαρακτηριστικά του PET είναι η αντοχή του στο νερό, η μεγάλη αντοχή ανά μονάδα βάρους, το γεγονός ότι δεν σπάει όπως οι γυάλινες συσκευασίες καθώς και η ευρεία διαθεσιμότητά του ως οικονομικό και ανακυκλώσιμο πλαστικό. Τα καθαρά πλαστικά PET θεωρούνται γενικά ασφαλή, αλλά μπορούν να απορροφήσουν οσμές και γεύσεις από τα τρόφιμα και τα υγρά που αποθηκεύονται σε αυτά.

Στις τυπικές εφαρμογές του PET περιλαμβάνονται: φιάλες και δοχεία ποτών, μεταλλικού νερού, απορρυπαντικών και φαρμακευτικών προϊόντων, συσκευασίες κυψέλης, είδη ένδυσης, συσκευασίες για έτοιμα γεύματα κ.ά..

#### **2.4.3.5. Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)**

Το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), είναι ένα από τα πλέον διαδεδομένα θερμοπλαστικά πολυμερή, όπως το PET και το PP. Σε ότι αφορά τα φυσικά του χαρακτηριστικά, είναι λευκό και πολύ εύθραυστο πλαστικό (πριν από την προσθήκη πλαστικοποιητών). Χρησιμοποιείται ευρέως στην κατασκευαστική βιομηχανία, για την κατασκευή πινακίδων, σε εφαρμογές του τομέα υγείας αλλά και ως ίνα για ρούχα. Το PVC παράγεται σε δύο γενικές μορφές: ως άκαμπτο ή μη πλαστικοποιημένο πολυμερές (RPVC ή uPVC), και ως εύκαμπτο πλαστικό. Το εύκαμπτο, πλαστικοποιημένο ή κανονικό PVC είναι περισσότερο μαλακό και ευπροσάρμοστο στην κάμψη από το uPVC λόγω της προσθήκης πλαστικοποιητών όπως οι φθαλικές ενώσεις (π.χ. φθαλικό διισορονύλιο ή DINP) (Ashby M., Johnson K.,

2006). Το εύκαμπτο PVC, χρησιμοποιείται συνήθως ως μονωτικό σε ηλεκτρικά καλώδια, σε δάπεδα σπιτιών, νοσοκομείων, σχολείων και σε άλλες εφαρμογές όπου το αποστειρωμένο περιβάλλον αποτελεί προτεραιότητα καθώς και σε ορισμένες περιπτώσεις ως υλικό υποκατάστασης του καουτσούκ. Το άκαμπτο PVC, χρησιμοποιείται ευρέως στην κατασκευή σωλήνων για υδραυλικές εγκαταστάσεις. Μερικά από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του πλαστικού PVC είναι η σχετικά χαμηλή τιμή του, η αντοχή του σε περιβαλλοντική υποβάθμιση (καθώς και σε χημικά και αλκάλια), η υψηλή σκληρότητα και εξαιρετική αντοχή σε εφελκυσμό, στην περίπτωση του άκαμπτου PVC.

Στις τυπικές εφαρμογές του περιλαμβάνονται: οδικά σήματα, συσκευασίες καλλυντικών, κούκλες, λάστιχα ποτίσματος, φιλμ, υφάσματα κ.ά..

#### **2.4.3.6. Πολυπροπυλένιο (PP)**

Το πολυπροπυλένιο χρησιμοποιείται σε πλήθος εφαρμογών όπως συσκευασίες για καταναλωτικά προϊόντα, πλαστικά μέρη για την αυτοκινητοβιομηχανία, ειδικές εφαρμογές όπως είναι τα εύκαμπτα στοιχεία (living hinges) συγκράτησης πλαστικών πωμάτων στα δοχεία, υφάσματα κ.ά.. Είναι ημιδιαφανές, έχει εξαιρετική αντοχή στο νερό και σε διαλύματα αλάτων και οξέων που είναι καταστροφικά για τα μέταλλα, είναι εύκολο να επισκευαστεί από ζημιές και έχει καλή ηλεκτρική αντίσταση (είναι καλός ηλεκτρικός μονωτής). Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του πολυπροπυλενίου είναι ότι μπορεί να προσαρμοστεί σε μια ποικιλία τεχνικών κατασκευής, γεγονός που το καθιστά ένα από τα πλαστικά υψηλής ζήτησης που παράγεται σε μεγάλες ποσότητες παγκοσμίως.

Στις τυπικές εφαρμογές του περιλαμβάνονται: κουβάδες, καφάσια, κουτιά, καπάκια για φιάλες, φιάλες, διαφανείς συσκευασίες για άνθη και φυτά, συσκευασίες για είδη ζαχαροπλαστικής, κύπελλα για γιαούρτι και άλλα γαλακτοκομικά προϊόντα κ.ά..

#### **2.4.3.7. Πολυστυρένιο (PS)**

Το πολυστυρένιο (PS) είναι ένα φυσικά διαφανές θερμοπλαστικό που είναι διαθέσιμο τόσο ως τυπικό στερεό πλαστικό όσο και ως άκαμπτο αφρώδες υλικό. Οι μηχανικές του ιδιότητες βελτιώνονται με ανάμιξή του με πολυβουταδιένιο αλλά

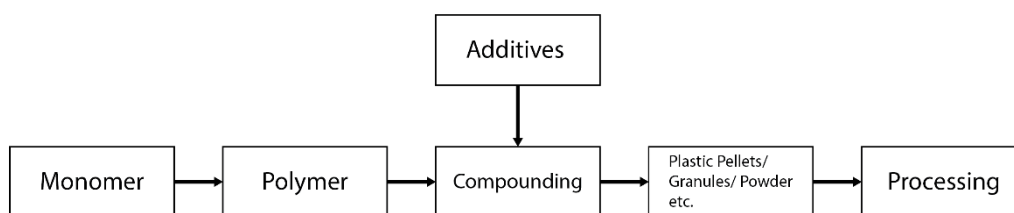
χάνει την διαφάνεια του. Παράγεται ως απλό πολυστυρένιο γενικής χρήσης (PS), ως πολυστυρένιο υψηλής αντοχής σε κρούσεις (HIPS), ως διογκωμένος αφρός πολυστυρενίου (EPS) και εξηλασμένη πολυστερίνη (XPS). Χρησιμοποιείται συνήθως σε πλήθος εφαρμογών καταναλωτικών προϊόντων και είναι επίσης ιδιαίτερα χρήσιμο για εμπορικές συσκευασίες.

Είναι ένα εύκολα αναγνωρίσιμο πλαστικό, που συναντάται σε κύπελλα ποτών, μονωτικά υλικά, υλικά συσκευασίας, θήκες αυτών και επιτραπέζια υλικά μιας χρήσης. Το PS ανακυκλώνεται σε διάφορα είδη, όπως είναι για παράδειγμα τα μονωτικά υλικά, τα σχολικά είδη κ.λπ..

## 2.4.4. Ανάμιξη (Compounding)

### 2.4.4.1. Διαδικασία και μέθοδοι ανάμιξης

Για την παραγωγή της πλαστικής ύλης, μετά τον πολυμερισμό, προστίθενται πρόσθετα (additives) στο πολυμερές (σχήμα 17), στο πλαίσιο μιας βιομηχανικής διαδικασίας που ονομάζεται ανάμιξη (compounding). Σε περίπτωση που στο πολυμερές προστίθενται πλαστικοποιητές, η διαδικασία μπορεί να ονομαστεί και πλαστικοποίηση (plastisization).

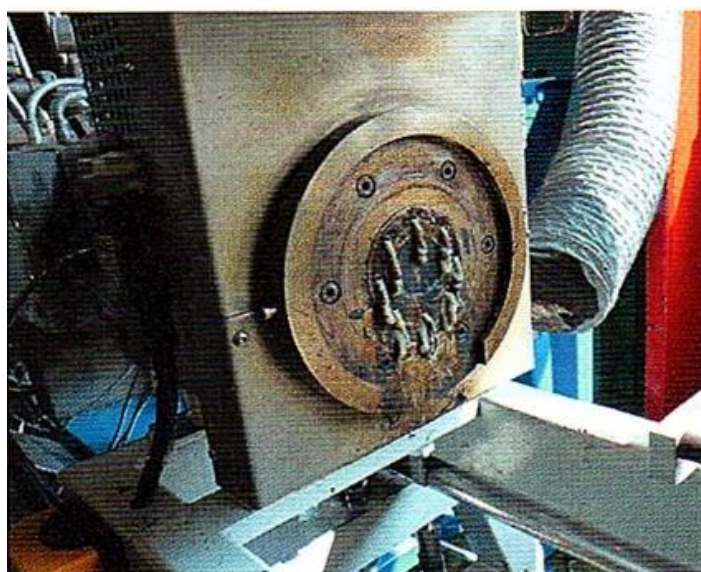


Σχήμα 17: Διαδικασία παραγωγής πλαστικής ύλης για μορφοποίηση προϊόντος

Το πολυμερές τήκεται, και μέσω θερμότητας, πίεσης ή χημικών αλληλεπιδράσεων, το τήγμα αναμιγνύεται με τα πρόσθετα για να διασφαλισθεί ομοιόμορφη διασπορά του μέσα στη πλαστική μήτρα. Για τη διαδικασία αυτή χρησιμοποιούνται εξωθητές σύνθεσης (composition extruders), κυλινδρόμυλοι (roller mills) και εσωτερικοί αναμείκτες (internal mixers). Ο μηχανολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται μπορεί να επεξεργαστεί την πλαστική ύλη σε μορφή σβόλων (pellets), κόκκων

(granules), σκόνης (powder), φολίδων (flakes) ή σε μορφή διαλυμάτων και η επιλογή του εξαρτάται από τις ιδιότητες των αναμιγνυόντων υλικών και τις απαιτήσεις των κατεργασιών μορφοποίησης.

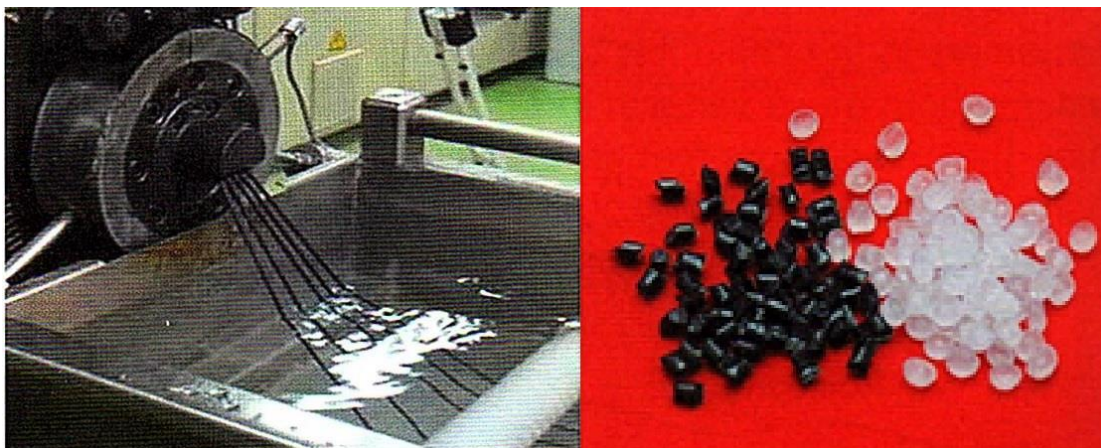
Για τη ανάμιξη τύπου κοκκοποίησης (granulation compounding) για παράδειγμα, υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι εξοπλισμού: εάν το υλικό έχει σχετικά χαμηλή θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης  $T_g$ , όπως το πολυπροπυλένιο (PP), χρησιμοποιείται ακροφύσιο περιστρεφόμενου μαχαιριού (rotating knife nozzle) και η μέθοδος ονομάζεται κοπή τήγματος (melt cut). Οι κόκκοι σε αυτή την περίπτωση έχουν φακοειδή σχηματισμό και ψύχονται με τον αέρα, μετά την έξοδο τους από το μηχάνημα, καθώς πέφτουν στο δοχείο συλλογής (σχήμα 18) .



Σχήμα 18: Μέθοδος Melt Cut, απεικόνιση εξόδου πλαστικής ύλης (Bruder, 2015).

Εάν το υλικό έχει υψηλή θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης  $T_g$ , όπως το πολυστυρένιο (PS), χρησιμοποιείται μια μέθοδος που ονομάζεται περικοπή στάσης (strand cut). Με την έξοδο τους τα υλικά από τον εξωθητήρα (extruder strands) ψύχονται σε νερό, για να κοπούν στη συνέχεια (σχήμα 19) σε κόκκους κυλινδρικού σχήματος (Bruder, 2015).





Σχήμα 19: Μέθοδος extruder strands, απεικόνιση εξόδου πλαστικής ύλης (Bruder, 2015)

Όπως φαίνεται από τα ανωτέρω παραδείγματα, για την διαδικασία της ανάμιξης απαιτείται γνώση των δυνατοτήτων και των αδυναμιών των μεμονωμένων πολυμερών, προκειμένου κατά τη μορφοποίηση τους σε τελικό προϊόν να βελτιωθούν οι επιθυμητές ιδιότητές τους. Ειδικότερα, είναι σημαντική η γνώση όλων των χημικών, μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των συστατικών που συμμετέχουν στην ανάμιξη, όπως είναι η πυκνότητα και το μοριακό τους βάρος, η ρεολογική συμπεριφορά και η διαφορά φάσεων του πολυμερούς και των πρόσθετων, η χημική δομή των συστατικών της ένωσης, η συμβατότητα μεταξύ των υλικών στην περίπτωση μιγμάτων πολυμερών, κ.ά. Ο τελικός στόχος είναι η ανάμιξη να έχει ως αποτέλεσμα ένα υλικό το οποίο θα είναι απαλλαγμένο από «μολύνσεις», θα έχει μοιόμορφη και σταθερή σύνθεση καθώς και τις επιθυμητές ιδιότητες.

Η διαδικασία της ανάμιξης γίνεται συνήθως από τους παραγωγούς πλαστικών προϊόντων, καθώς η πλαστική ύλη δεν χρειάζεται να μετακινηθεί σε άλλη εγκατάσταση και συνεχίζεται με τον τρόπο αυτό η γραμμή παραγωγής, με σημαντική εξοικονόμηση κόστους και περιβαλλοντικά οφέλη. Ωστόσο, διατίθενται και έτοιμα προ-παρασκευασμένα σκευάσματα ή "ενώσεις" για περαιτέρω επεξεργασία. Ορισμένα από αυτά, είναι διαθέσιμα ως «συμπυκνώματα» ή «masterbatches» με ενσωμάτωση πρόσθετων σε επίπεδα που είναι πολύ υψηλότερα από αυτά που χρησιμοποιούνται συνήθως στο τελικό προϊόν. Στην περίπτωση αυτή, ο παραγωγός αναμιγνύει ένα μέρος αυτού του υλικού με παρθένα πλαστικά σφαιρίδια της ίδιας πολυμερικής ένωσης και σφαιροποιεί (granulates, pelletizing κ.ά.) το καινούργιο μίγμα πριν από την μορφοποίηση του σε προϊόν.

#### 2.4.4.2. Πρόσθετα (additives)

Τα πρόσθετα αναμιγνύονται με το πολυμερές κατά τη διαδικασία της ανάμιξης προκειμένου να εξασφαλιστούν οι επιθυμητές ιδιότητες και για να διευκολυνθεί η επεξεργασία του υλικού. Ένα πρόσθετο μπορεί να είναι κύριο συστατικό, που αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της σύνθεσης του τελικού προϊόντος, όπως ως παράγοντες αντιδράσεως και συνδέονται με το πολυμερές με ομοιοπολικούς δεσμούς, ή ένα δευτερογενές συστατικό για τη βελτίωση της απόδοσης και της ανθεκτικότητας του υλικού. Ορισμένα από τα πρόσθετα χρησιμοποιούνται για σκοπούς πλήρωσης (πληρωτικά πρόσθετα ή ανακυκλωμένο πλαστικό) προκειμένου να μειωθεί το κόστος του τελικού παραγόμενου προϊόντος και άλλα χρησιμοποιούνται για να προσδώσουν συγκεκριμένες ιδιότητες στο πλαστικό όπως ακαμψία και αντοχή, ανθεκτικότητα, θερμική αντοχή, αντίσταση στην κρούση, αντίσταση στην κάμψη και τη φθορά κ.α.

Στο σχήμα 20 φαίνονται τα είδη των πρόσθετων ανάλογα με το σκοπό που εξυπηρετούν.

ΣΚΟΠΟΣ	ΕΙΔΗ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ
ΔΙΕΥΚΟΛΥΝΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	Θερμικοί σταθεροποιητές, Λιπαντικά, Διευκολυντικά ροής, Θιξοτροπικά μέσα
ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Πλαστικοποιητές, Μέσα ενίσχυσης
ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ	Πληρωτικά υλικά, Αραιωτικά
ΕΜΦΑΝΙΣΗ	Χρωστικές, Μέσα πυρηνοποίησης
ΠΑΡΑΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΓΗΡΑΝΣΗΣ	Αντιοξειδωτικά, Σταθεροποιητές υπεριώδους ακτινοβολίας, Μυκητοκτόνα
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	Αντιστατικά, Ολισθητικά, Αντικολλητικά, Αντιτριβικά, Μέσα αύξησης της πρόσφυσης
ΔΙΟΓΚΩΣΗ	Φυσικοί/ Χημικοί παράγοντες διογκώσεως
ΑΝΤΙΠΥΡΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ	Αλογονωμένα οργανικά, ενώσεις φωσφόρου, ενώσεις βορίου, κ.ά.

Σχήμα 20: κατηγορίες πρόσθετων ανάλογα με το σκοπό που εξυπηρετούν (Παντελής, 2008)

Ο τύπος του πρόσθετου που θα χρησιμοποιηθεί αλλά και η αναλογία του στο τελικό προϊόν εξαρτώνται από την αποδοτικότητα του πρόσθετου ανά μονάδα προσθήκης και από τη βέλτιστη αναλογία για την επίτευξη των επιθυμητών χαρακτηριστικών του πλαστικού, λαμβάνοντας υπόψη και το κόστος επίτευξής τους. Στο σχήμα 21, φαίνεται το ποσοστό συμμετοχής συγκεκριμένων πρόσθετων και παραδείγματα εφαρμογής τους.

Levels of Common Additives Used in Common Plastics			
Additive	Percentage by weight of resin typically used	Chemical nature	Examples of use
Plasticizers	10–70%	Phthalates and chlorinated paraffins	Plasticized PVC products
Flame retardants [F]	12–18%	Brominated or chlorinated compounds	Electronic equipment casing, insulating foam
UV stabilizer antioxidants	0.05–3	Hindered amines, alkylphenols, metal compounds	Plastics used outdoors such as greenhouse films or stadium furniture
Heat stabilizer	0.05–3	Cadmium and lead compounds	Compounds intended for extrusion or molding
Slip agents	0.1–3		
Lubricants	0.1–3		
Antistatics	0.1–1		
Curing agent	0.1–2		
Foaming agent	—		
Biocides	0.001–1		
Soluble dye	0.25–5		
Organic pigments	0.001–2.5		
Inorganic pigment	0.01–10	Zinc sulfide, zinc oxide, iron oxide, titanium dioxide	
Fillers (reinforcing and nonreinforcing)	Up to 50%	Calcium carbonate, talk, clay, zinc oxide, glimmer, wood powder	

Σχήμα 21: ποσοστό συμμετοχής συγκεκριμένων πρόσθετων και παραδείγματα εφαρμογής τους (Andrady, 2015)

## 2.4.5. Μορφοποίηση

Οι πλέον συνήθεις τεχνικές μορφοποίησης είναι η χύτευση με έγχυση (injection molding), η εξώθηση (extrusion), η κατασκευή λεπτών φύλλων (polymer foil manufacturing) και η υλοποίηση (fiber manufacturing ή spinning). Επιπλέον, γίνεται μορφοποίηση με εμφύσηση (blow forming), θερμομόρφωση (thermoforming), χύτευση με συμπίεση (compression molding), η χύτευση μεταφοράς (transfer

molding) κλπ. Κάθε μία από αυτές τις τεχνικές μορφοποίησης, απαιτεί ειδικό μηχανολογικό εξοπλισμό για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας. Γενικά, όλες οι τεχνικές μορφοποίησης θερμαίνουν την πλαστική ύλη, η οποία είναι προ-αναμιγμένη και την επεξεργάζονται περαιτέρω είτε μέσω ειδικά σχεδιασμένων μητρών (εξώθηση), είτε με έγχυση σε καλούπια (χύτευση με έγχυση και χύτευση με εμφύσηση).

Η μορφοποίηση είναι ενεργοβόρα διεργασία, καθώς το υλικό χρειάζεται πρώτα να θερμανθεί για να γίνει εύπλαστο και στη συνέχεια το ιξώδες τήγμα να επεξεργασθεί μηχανικά για να πλαστικοποιηθεί. Η μηχανική εξώθηση του τήγματος γίνεται συνήθως, μέσω ενός συστήματος περιστρεφόμενου κοχλίου και κατά την διάρκεια της διέλευσης, παράγεται ποσό θερμότητας λόγω της τριβής που θερμαίνει περαιτέρω το τήγμα. Για την ελαχιστοποίηση της αποικοδόμησης του πολυμερούς, που προκαλείται από τη θερμότητα κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, χρησιμοποιούνται πρόσθετα ως θερμικοί σταθεροποιητές. Για την στερεοποίηση του πλαστικού σχήματος που δημιουργείται, χρησιμοποιείται αέρας ή νερό για την ψύξη του εξοπλισμού.

Στα σχήματα 22 και 23 φαίνονται οι συνήθεις διεργασίες μορφοποίησης θερμοπλαστικών και θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών σε σχέση με το παραγόμενο προϊόν.

### Commonly Used Processing Techniques for thermoset Materials

Processing technique	Plastic resins (a variety of reinforcement is used in all these processing techniques including polyester, vinylester, epoxy, and phenolic and methyl methacrylates)	Typical products	Base technology
Pultrusion	Unsaturated polyester, polyurethane, vinylester, and epoxy (recently, some thermoplastics such as poly(ethylene terephthalate) (PET) has been successfully used in pultrusion)	Round rods, rectangles, squares, “I” sections, channels, dog bone profiles, corner profiles, hollow sections	The resin impregnation of roving and subsequent cure
Resin transfer molding	Unsaturated polyester, vinylester, epoxy,	Products with a complex shape where wall thickness is critical and yields a smooth finish on both sides	Thermoset resin impregnation of fiber mats and cure
Sheet molding compound (SMC)	Same as above	Sheets and laminates	Cut short fiber embedded in resin layer and cured
Hand lay-up and spray lay-up	Same as above	Used in molding large complicated shaped objects including boat hulls, large tanks, and hot tubs	Laying resin impregnated reinforcing fabric by hand on a mold and end up with a gel coat of resin
Compression molding	Same as above	Blower or fan blades, heat-resistant knobs, electrical boxes, and parts in industrial machinery	The blend placed in mold and heated under pressure within a steam-heated press
Filament winding			A continuous yarn or fiber that is impregnated with resin/catalyst mix is wound around a tool mandrel and cured

Σχήμα 22: Συνήθειες Διεργασίες μορφοποίησης για τα θερμοσκληρυνόμενα (Andrady, 2015)

### Commonly Used Processing Techniques for thermoplastics

Processing technique	Plastic resin	Typical products	Base technology
Film blowing (extrusion blowing)	HDPE, LDPE, and LLDPE	Shrink film, stretch film, bag film or container liners, greenhouse film, garment bags, and garbage can liners	Melt extrusion and air blowing
Blow molding	HDPE, LLDPE, PP, PET, PVC	Bottles and containers, fuel tanks, air ducts, garden supplies	Melt extrusion/molding
Profile extrusion	HDPE (rigid) PVC	Plastic pipes, window frames, drainage tubing, wastewater pipes, agricultural tubing, conduit/cable protector, guttering, plastic siding, fascia and soffit, garden fence posts and decking	Melt extrusion
Injection blow molding	LDPE, HDPE, LLDPE, PP, PET, PVC	Plastic bottles and containers	Melt injection/blowing
Injection molding	ABS, nylon (PA), PP, and PS Polycarbonate (PC)	Power-tool housing, telephone handsets, TV cabinets, computer housing, DVDs, automotive bumpers, dashboards, syringes, kitchenware, cutlery, crates, bottle lids/closures	Melt injection Variations include gas-assisted injection molding and stretch injection molding
Expansion/molding/extrusion	PS	Expanded polystyrene products, hot beverage cups, floats, insulating tiles. Meat trays, snack boxes for fast food	Steam expansion/molding Steam expansion/extrusion
Rotational molding	LDPE, LLDPE, PP, PVC	Rainwater tanks, slides and climbing frames, diesel fuel tanks, children’s playhouses, traffic cones, canoes and kayaks and pallets	Melting followed by forming at ambient pressure
Thermoforming and vacuum forming	PE, PS, PET,PVC, PC, ABS, PMMA, PVC, and EVOH	Meat trays, microwave trays, frozen food containers, ice cream tubs, delicatessen tubs, bakery packaging, vending beverage cups	

Source: From <http://www.bpf.co.uk/plastipedia/processes/default.aspx#blownfilm>

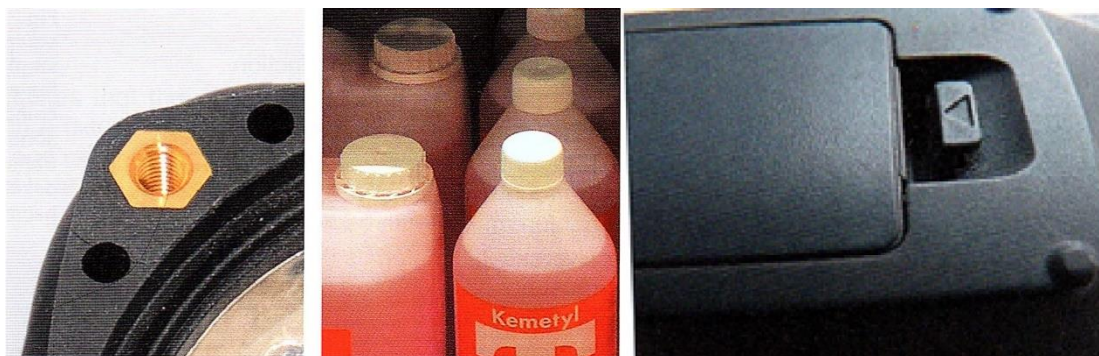
Σχήμα 23 : Συνήθειες Διεργασίες μορφοποίησης για τα θερμοπλαστικά (Andrady, 2015)

## 2.4.6. Διαδικασίες μετά τη μορφοποίηση

Μετά τη μορφοποίηση της πλαστικής ύλης, το προϊόν μπορεί να είναι είτε έτοιμο για διάθεση στην αγορά, είτε να χρειάζονται περαιτέρω διαδικασίες για την ολοκλήρωσή του, όπως είναι για παράδειγμα οι τεχνικές σύνδεσης και οι επεξεργασίες της επιφάνειας του προϊόντος. Ειδικότερα:

### 2.4.6.1. Τεχνικές σύνδεσης

Ως αποτέλεσμα της μορφοποίησης της πλαστική ύλης μπορεί να είναι ένα συμπαγές προϊόν ή εξαρτήματα ενός προϊόντος, που χρειάζεται στη συνέχεια να συνδεθούν μεταξύ τους. Οι τεχνικές σύνδεσης μπορούν να χωριστούν σε δύο επιμέρους κατηγορίες: στις τεχνικές που διευκολύνουν την αποσυναρμολόγηση του προϊόντος και σε εκείνες που τα εξαρτήματά του μπορούν να συναρμολογηθούν μόνο μία φορά. Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται οι τεχνικές συναρμολόγησης με βίδες (self-tapping screws) και κοχλίες γενικότερα, βιδωτά ένθετα (threaded inserts), βιδωτές συνδέσεις με ενσωματωμένο σπείρωμα, Snap-fits ειδικά σχεδιασμένα για την αποσυναρμολόγηση (σχήμα 24).



Σχήμα 24: Τεχνικές συναρμολόγησης: αριστερά βιδωτά ένθετα, στο κέντρο συγκεκριμένα πώματα ως βιδωτές συνδέσεις με ενσωματωμένο σπείρωμα και δεξιά Snap-fits (Bruder, 2015)

Σε ότι αφορά τη δεύτερη κατηγορία, στο σχήμα 25 απαριθμούνται οι τεχνικές σύνδεσης όπου τα εξαρτήματα του προϊόντος μπορούν να συναρμολογηθούν μόνο για μία φορά:

Συγκόλληση με υπέρηχους (Ultrasonic Welding),	Σύνδεση με τριβή (friction joining),
Συγκόλληση με δονήσεις (Vibration welding),	Συγκόλληση θερμού σύρματος (hot wire welding),

Περιστροφική συγκόλληση (Rotational welding),	Σύνδεση με διηλεκτρική θέρμανση (dielectric heating),
Υπέρυθρη (IR) συγκόλληση (Infrared (IR) welding),	Συγκόλληση με θερμαινόμενα εργαλεία ή ράουλα (heated tooling ή rollers),
Συγκόλληση με θερμή πλάκα (Hot plate welding),	Κόλλα (Gluing),
Συγκόλληση με λέιζερ (Laser welding),	Ηλεκτρομαγνητική ή μαγνητική σύνδεση (electromagnetic bonding ή magnetic heat sealing),
Συγκόλληση θερμού αερίου (hot-gas welding)	Σύνδεση με χρήση συνδετικού υλικού (Adhesive bonding)

Σχήμα 25: Τεχνικές μόνιμης συναρμολόγησης

Η πλέον διαδεδομένη μέθοδος σύνδεσης της δεύτερης κατηγορίας είναι η τελευταία, δηλαδή με χρήση συνδετικού υλικού (Adhesive bonding). Το συνδετικό υλικό μπορεί να είναι μονομερές ή ελαστομερές ή θερμοσκληρυνόμενο υλικό, μέσα σε ένα οργανικό πτητικό διαλύτη. Ο διαλύτης, χαλαρώνει τους δεσμούς συνάφειας των προς σύνδεση επιφανειών και έτσι τα μόρια μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους. Η σύνδεση των επιφανειών επιτυγχάνεται μετά την εξάτμιση του διαλύτη.

#### 2.4.6.2. Επεξεργασίες της επιφάνειας του προϊόντος

Οι επεξεργασίες της επιφάνειας των προϊόντων αφορούν είτε τη βελτίωση της γενικής εικόνας και αισθητικής τους, είτε για την κάλυψη συγκεκριμένων λειτουργικών αναγκών. Τα παραδείγματα επεξεργασίας που αφορά την επιφάνεια του προϊόντος δύναται να περιλαμβάνουν:

- **Εκτύπωση/ Τιτλοποίηση (printing/ labeling)** : Χρησιμοποιείται για εισαγωγή ετικέτας ή για πρόσθεση οδηγιών στην επιφάνεια του πλαστικού (hot stamp printing, tampon printing και screen printing).
- **Διακόσμηση εντός του καλούπιού (in-mold decoration)**: Είναι ο όρος που χρησιμοποιείται όταν ένα φύλλο ή ύφασμα τοποθετείται στο καλούπι στη διαδικασία χύτευσης με έγχυση.

- **Σήμανση με λέιζερ (laser marking):** Χρησιμοποιείται ακτίνα λέιζερ για να αλλάξει το χρώμα στο σημείο έκθεσης. Για να λειτουργήσει αυτή η μέθοδος, το πλαστικό υλικό πρέπει να περιλαμβάνει ειδική χρωστική ουσία που να αλλάζει το χρώμα όταν εκτίθεται.
- **Ζωγραφική (painting):** Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται όταν το πλαστικό υλικό έχει φυσικό χρώμα από το πολυμερές και δεν μπορεί να χρωματιστεί στο επιθυμητό χρώμα. Επίσης χρησιμοποιείται, όταν το προϊόν είναι εξάρτημα άλλου προϊόντος διαφορετικού χρώματος, για τη βελτίωση των ιδιοτήτων της επιφάνειας, για προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία ή για αντοχή σε επιφανειακές κακώσεις.
- **Επιχρωμίσωση ή μεταλλοποίηση (Chrome plating ή metalizing):** Χρησιμοποιείται για προστασία από την υπεριώδη ή τη θερμική ακτινοβολία για αντοχή στις επιφανειακές κακώσεις, καθώς και για αύξηση της αισθητικής αξίας του προϊόντος.

#### 2.4.7. Συμπεράσματα

Η χρήση των πολυμερών σε μεγάλο βαθμό οφείλεται στις μηχανικές και θερμικές ιδιότητες τους, ιδίως στην ανθεκτικότητα και την αντίστασή τους στη διάβρωση αλλά κυρίως στη χαμηλή τους τιμή. Ωστόσο, η διαδικασία παραγωγής πλαστικών προϊόντων απαιτεί μεγάλα ποσά ενέργειας και χρήση μη ανανεώσιμων πρώτων υλών. Τα πρόσθετα προσδίδουν χαρακτηριστικά και βοηθούν τα πολυμερή στην κατασκευή τους αποτελώντας αναπόσπαστο κομμάτι της παρασκευής προϊόντων, όμως τα περισσότερα είναι χημικής προελεύσεως. Επίσης, τα πρόσθετα που δεν είναι δεσμευμένα χημικά στο πολυμερές, υπάρχει κίνδυνος να διαφύγουν ανά πάσα στιγμή στο περιβάλλον σε οποιαδήποτε φάση του κύκλου ζωής του προϊόντος ακόμα και κατά τη διαδικασία της ανακύκλωσης.

#### 2.5. ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Γενικά ένα προϊόν μπορεί να χαρακτηριστεί και να ταξινομηθεί στη βάση πολλών παραγόντων όπως χρηστικών, καταναλωτικών, σύστασης από πλευράς υλικών, οικονομικών, περιβαλλοντικών, τοξικότητας ή μη, ανακυκλωσιμότητας ή μη κ.λπ. Το ίδιο ισχύει και για τα προϊόντα πλαστικού, τα οποία ταξινομούνται με βάση το είδος



του χρησιμοποιούμενου πολυμερούς, τη διάρκεια ζωής τους αλλά τον τομέα εφαρμογής τους.

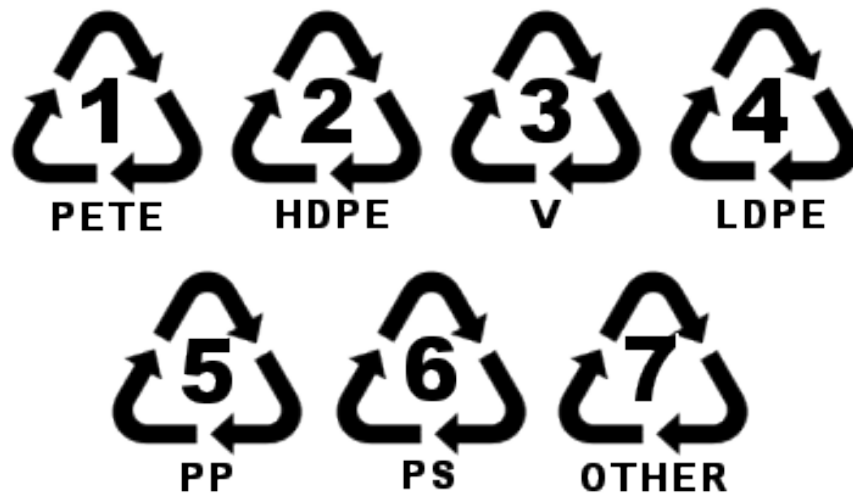
### **2.5.1. Ταξινόμηση ως προς την αναμενόμενη διάρκεια ζωής**

Τα πλαστικά προϊόντα ταξινομούνται με κριτήριο τη διάρκεια ζωής τους από τη βιομηχανία πλαστικών σε δύο κατηγορίες: στα διαρκή και στα μη διαρκή πλαστικά αγαθά (American Chemistry Council, n.d.). Τα προϊόντα με ωφέλιμη ζωή τριών ετών και άνω στα οποία περιλαμβάνονται συσκευές, έπιπλα, ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης, αυτοκίνητα και οικοδομικά υλικά ταξινομούνται ως διαρκή αγαθά, ενώ τα προϊόντα με ωφέλιμη ζωή κάτω των τριών ετών ή που καταναλώνονται αμέσως με μία χρήση, στα οποία περιλαμβάνονται συσκευασίες και δοχεία, σάκοι απορριμμάτων, κύπελλα, σκεύη διατροφής, αθλητικός και ψυχαγωγικός εξοπλισμός, παιχνίδια, ιατρικές συσκευές και πάνες μιας χρήσης κ.ά., ταξινομούνται γενικά ως μη διαρκή.

### **2.5.2. Ταξινόμηση με βάση το είδος του ανακυκλώσιμου πολυμερούς**

Το πλαστικό αποτελεί βασικό συστατικό πλήθους αντικειμένων και η γνώση των διαφορών που υπάρχουν από τύπο σε τύπο καθώς και των χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων τους είναι καθοριστικής σημασίας για τη λήψη ενημερωμένων αποφάσεων σε ότι αφορά τις δυνητικές χρήσεις του, τις πιθανές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την υγεία αλλά και τις προοπτικές ανακύκλωσής του.

Το 1988, η τότε Society of Plastics Industry (σήμερα Plastics Industry Association), ανέπτυξε το διεθνές σύστημα κωδικοποίησης για την αναγνώριση του τύπου του πολυμερούς, συχνά συντετμημένο ως RIC (Resin Identification Code). Είναι ένα σύνολο συμβόλων, που εμφανίζονται σε πλαστικά προϊόντα και που προσδιορίζουν το πολυμερές από το οποίο κατασκευάζονται, συμβάλλοντας με τον τρόπο αυτό στην αποτελεσματικότερη ταξινόμηση του πλαστικού για σκοπούς ανακύκλωσης. Σύμφωνα με τον κωδικό αναγνώρισης του τύπου του ανακυκλώσιμου πολυμερούς τα πλαστικά ταξινομούνται στις ακόλουθες επτά κατηγορίες:



Σχήμα 26: Τα σήματα ανακύκλωσης

Ο κωδικός RIC # 7 περιλαμβάνει ένα σύνολο από πλαστικά, μεταξύ των οποίων είναι τα πολυκαρβονικά (PC), τα ακρυλικά, το Νylon και το πολυγαλακτικό οξύ (PLA). Η χρήση αυτού του κωδικού υποδεικνύει ότι το πολυμερές που έχει χρησιμοποιηθεί είναι διαφορετικό από τα έξι που αναφέρονται παραπάνω ή έχουν χρησιμοποιηθεί περισσότερα του ενός πολυμερή σε συνδυασμό πολλαπλών στρωμάτων.

Παραδείγματα προϊόντων που χαρακτηρίζονται από τον κωδικό RIC # 7 είναι: γυαλιά ηλίου, το περίβλημα του υπολογιστή, το νάιλον, οι δίσκοι και τα μπιμπερό, πλαστικές εφαρμογές ξυλείας κ.ά.

Τα θερμοπλαστικά είναι μακράν τα πλέον συνηθισμένα είδη πλαστικών, που αποτελούν σχεδόν το 80% των πλαστικών που χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη και είναι επίσης τα πλαστικά που ανακυκλώνονται ευκολότερα.

Όταν σχεδιάζονται στρατηγικές συλλογής-ανακύκλωσης θα πρέπει να αποφεύγεται αυστηρά η ανάμειξη μεταξύ θερμοπλαστικών και θερμοσκληρυντικών (Themelis N. J., Boutsalas A. C., 2019).

### 2.5.3. Ταξινόμηση ως προς τον τομέα εφαρμογής.

Από την άποψη αυτή τα πλαστικά προϊόντα ταξινομούνται σε γενικές κατηγορίες όπως συσκευασίας, καταναλωτικά και οικιακής χρήσης, κτιρίων και κατασκευών, αυτοκινήτων και λεωφορείων, ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, γεωργικού τομέα κ.ά. Λόγω του μεγάλου εύρους των τομέων εφαρμογής των πλαστικών προϊόντων, η παρούσα μελέτη εστιάζει στα πλαστικά οικιακής χρήσης που

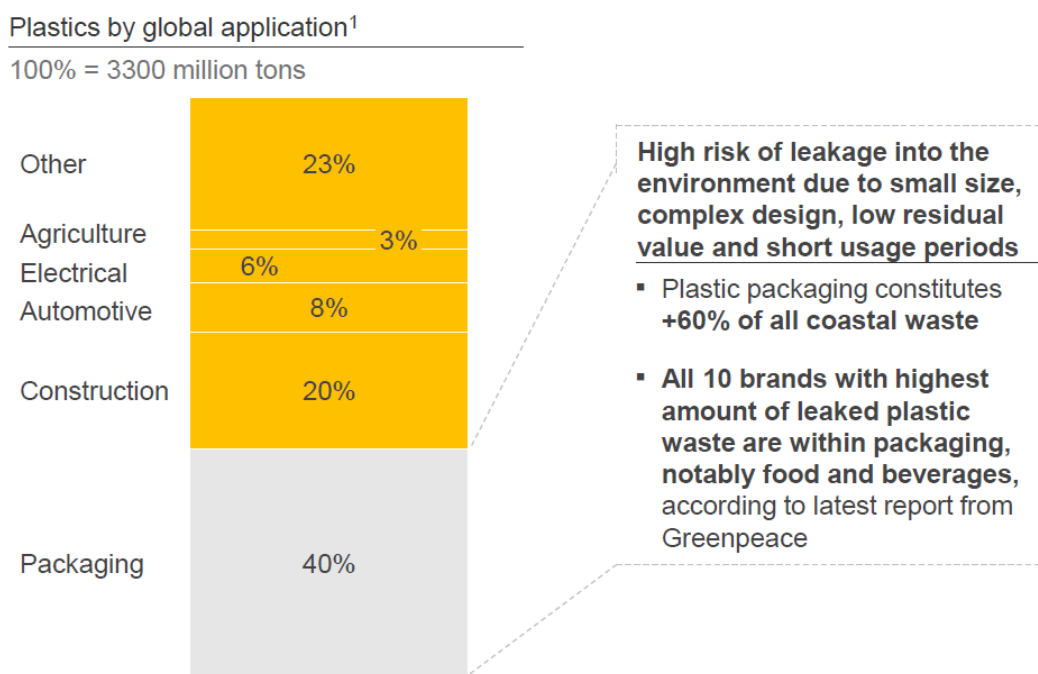
εξειδικεύονται περαιτέρω στις πλαστικές συσκευασίες και στα αμιγώς πλαστικά μικροαντικείμενα οικιακής χρήσης.

## 2.6. ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ

Για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης περιορίζονται στις πλαστικές συσκευασίες και στα αμιγώς πλαστικά μικροαντικείμενα οικιακής χρήσης

### 2.6.1. Πλαστικά συσκευασίας

Η βιομηχανία των πλαστικών συσκευασίας κατέχει το μεγαλύτερο μερίδιο της παραγωγής πλαστικού σε παγκόσμια κλίμακα. Με στοιχεία του 2017 ο τομέας αντιπροσώπευε το 40% της παγκόσμιας παραγωγής πλαστικού (σχήμα 27).

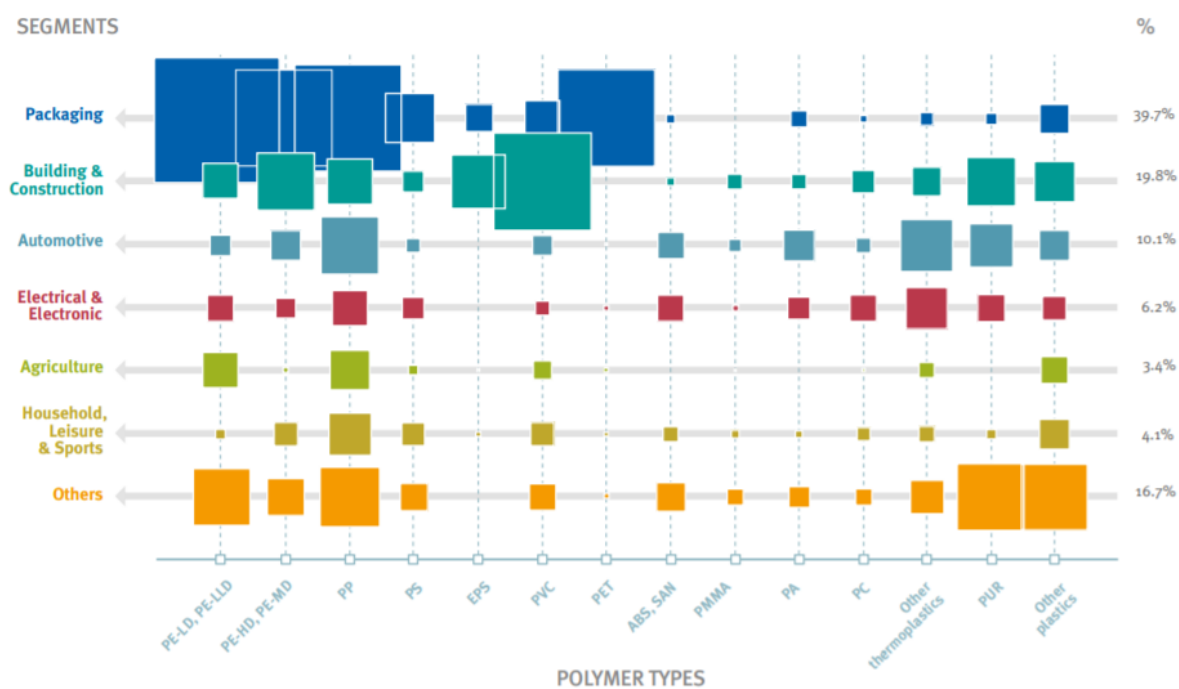


Σχήμα 27: Παγκόσμια παραγωγή πλαστικού ανά τομέα εφαρμογών (Πηγή: Geyer et al.)<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Πηγή: Geyer et al. "Production, use, and fate of all plastics ever made" (2017); Greenpeace "Branded" (2018))

Ανάλογη είναι δυστυχώς και η συμμετοχή του τομέα στη ρύπανση του περιβάλλοντος. Τα προϊόντα συσκευασίας έχουν υψηλό κίνδυνο διαρροής στο περιβάλλον, λόγω του μικρού μεγέθους, του πολύπλοκου σχεδιασμού και της μικρής αξίας τους μετά τη χρήση. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι πλαστικές συσκευασίες αποτελούν το 60% των απορριμμάτων που εντοπίζονται στις ακτές.

Σε αντίστοιχα επίπεδα κινείται και η ζήτηση του τομέα συσκευασιών της ΕΕ σε πολυμερή. Ειδικότερα με στοιχεία του 2017, η αντίστοιχη ζήτηση της ΕΕ-28 (συμπεριλαμβανομένης της Νορβηγίας και της Ελβετίας) αντιστοιχούσε, όπως φαίνεται στο σχήμα 28, στο 39,7% της συνολικής ζήτησης σε πολυμερή.



Σχήμα 28: Ζήτηση πολυμερών το 2017 της ΕΕ-28 (+ ΝΟ & CH) ανά τομέα εφαρμογών (PlasticsEurope, 2018)

Για τις συσκευασίες τροφίμων και ποτών συχνά χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι πλαστικού στους οποίους μπορούν να ενσωματώνονται επίσης πρόσθετα υλικά και κόλλες. Για παράδειγμα, οι πλαστικές φιάλες ποτών μπορεί να είναι από PET, τα πώματα συχνά είναι από PE και οι ετικέτες τους από άλλο τύπο πλαστικού φιλμ (PS, PVC, PP) ή από άλλο υλικό, όπως χαρτί για παράδειγμα. Το καθένα από αυτά τα υλικά έχει διαφορετικές ιδιότητες αλλά και απαιτεί διαφορετικές μεθόδους και διαδικασίες ανακύκλωσης.

Στο σχήμα 29 φαίνονται οι διάφορες εφαρμογές των πλαστικών στον τομέα της συσκευασίας, καθώς και τα κύρια πολυμερή που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές αυτές. Οι φιάλες κατασκευάζονται κυρίως από PET και HDPE, ενώ οι πλαστικές σακούλες και οι τσάντες κυρίως από HDPE και LDPE. Για την κατασκευή φιλμ χρησιμοποιούνται διαφορετικά πολυμερή (π.χ. LDPE, PP, PET, PVC), ενώ το PS χρησιμοποιείται κυρίως σε δίσκους και σε συσκευασίες προστασίας.

Διάφορες Εφαρμογές		Πιο κοινά χρησιμοποιούμενα πολυμερή
Φιάλες	Γαλακτοκομικά προϊόντα	HDPE
	Χυμοί, Σάλτσες	HDPE, barrier PET <sup>12</sup> , PP
	Νερό, Αναψυκτικά	PET, barrier PET
	Μπίρες, Αλκοολούχα Ποτά	Barrier PET
	Λάδι, Ξύδι	PET, PVC
	Μη εδώδιμα προϊόντα (προϊόντα καθαρισμού, προϊόντα περιποίησης, λιπαντικά κλπ.)	HDPE, PET, PVC
	Ιατρικά προϊόντα	PET
Πώματα	Πώματα μπουκαλιών, βάζων, κουτιών, κ.ά.	PP, LDPE, HDPE, PVC
Τσάντες και Σακούλες	Τσάντες μεταφοράς	LDPE, HDPE
	Σακούλες σκουπιδιών	HDPE, LDPE, LLDPE
	Άλλες τσάντες και σακούλες	LDPE, LLDPE, HDPE, PP, πλεγμένο PP
	Πουγκί (σάλτσες, αποξηραμένες σούπες, μαγειρεμένα γεύματα)	PP, PET
	Περιτύλιξη (δίσκοι τροφίμων και χαρτοκιβώτια)	OPP <sup>13</sup> , BOPS <sup>14</sup>
	Συσκευασία, πακέτα, σακουλάκια κ.ά.	PP, OPP

<sup>12</sup> Barrier PET: Οι επικαλύψεις φραγμού παρέχουν εμπόδια σε ορισμένα αέρια, υγρά, ακτινοβολία ή άλλες ουσίες. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν οξυγόνο, υδρατμούς, άρωμα, φως (συμπεριλαμβανομένης της υπεριώδους ακτινοβολίας) και, στην περίπτωση εφαρμογών συσκευασίας τροφίμων, προϊόντα όπως έλαια και λίπη κ.ά.'. Το φράγμα προορίζεται συνήθως για την αποτροπή τόσο της διείδυσης όσο και της απώλειας από τη συσκευασία, η οποία διαφορετικά θα μπορούσε να προκαλέσει προχωρημένη αλλοίωση του συσκευασμένου προϊόντος.

<sup>13</sup> OPP: προσανατολισμένο πολυπροπυλένιο (oriented polypropylene)

<sup>14</sup> BOPS: διαξονικά προσανατολισμένο πολυστυρένιο (biaxially oriented polystyrene)

<b>Φιλμ</b>	Περιτύλιγμα (κρέας, τυρί)	PVC
	Φιλμ συρρίκνωσης συσκευασίας (ομαδική συσκευασία ποτών / χαρτοκιβωτίων)	LLDPE, LDPE
	Κολλητική διαφανής εκτεινόμενη μεμβράνη τροφίμων	LLDPE, LDPE, PVC, PVC
	Καλύμματα (θερμοσυγκόλληση)	PET, OPA, OPP
	Επικάλυψη – Καλύμματα (ΣΤΑ <sup>15</sup> και ΕΣΑ <sup>16</sup> τρόφιμα)	Barrier PET, barrier layered PET/PE και OPP/PE
	Καλύμματα- Καπάκια (Γαλακτοκομικά)	PET
<b>Δίσκοι</b>	Φούρνο μικροκυμάτων για έτοιμα φαγητά	PP, CPET <sup>17</sup>
	Ψήσιμο στο φούρνο έτοιμων φαγητών	CPET
	Σαλάτες, γλυκά	APET <sup>18</sup> , PVC
	Φρέσκα λαχανικά	PP, EPS
	Ψάρι	PP, PVC, APET, EPS
	Είδη ζαχαροπλαστικής	PVC, PS
	Γαλακτοκομικά προϊόντα	PP, PS
	Κρέας, πουλερικά	APET, PVC, EPS
<b>Υπόλοιπα</b>	Σούπα	PP, APET
	Κυψέλες	PET, PVC
	Βάζα, κύπελλα και δοχεία	PP, PS
	Συσκευασία υπηρεσιών (ποτήρια πώλησης κ.λπ.)	PS
	Προστατευτική συσκευασία (δοχεία "αχιβάδας", κιβώτια ψαριών, γέμιση κ.λπ.)	EPS

Σχήμα 29: Εφαρμογές πλαστικών στον τομέα της συσκευασίας και χαρακτηριστικά πολυμερή που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές αυτές (European Commission, 2011).

<sup>15</sup> Το ΣΤΑ είναι συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) στην οποία αλλάζει η σύνθεση του αερίου σε δοχείο με σταθερό μείγμα αερίων.

<sup>16</sup> ΕΣΑ: Ελεγχόμενη Συσκευασία Ατμόσφαιρας (CAP) είναι η αεροστεγής συσκευασία. (Πηγή European Commission DG ENV 2011)

<sup>17</sup> CPET: Το κρυσταλλωμένο τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο είναι μια παραλλαγή του τυποποιημένου PET που έχει κρυσταλλωθεί για θερμική αντοχή, ακαμψία και ανθεκτικότητα και είναι ανακυκλώσιμο.

<sup>18</sup> APET: Αμορφο τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο

Οι πλαστικές σακούλες και τσάντες αποτελούν ένα μεγάλο μέρος του τομέα των συσκευασιών. Στην ΕΕ-28, σύμφωνα με τα στοιχεία του σχήματος 30, ο όγκος της συνολικής παραγωγής το έτος 2010 ανήλθε στα 3.37 εκ. τον.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
PE	2.94	3.07	3.05	3.06	3.06	2.91	2.78	2.86
Other	0.49	0.50	0.48	0.52	0.50	0.55	0.52	0.52
<b>Total</b>	<b>3.43</b>	<b>3.57</b>	<b>3.52</b>	<b>3.56</b>	<b>3.57</b>	<b>3.46</b>	<b>3.30</b>	<b>3.37</b>

Σχήμα 30: παραγωγή της ΕΕ σε πλαστικές τσάντες και σακούλες (European Commission, 2011)

Την ίδια χρονιά, όπως προκύπτει από τα στοιχεία σχήματος 31, ο μέσος Ευρωπαίος χρησιμοποίησε 198 σακούλες (Ευρωπαϊκή Ένωση 2018).

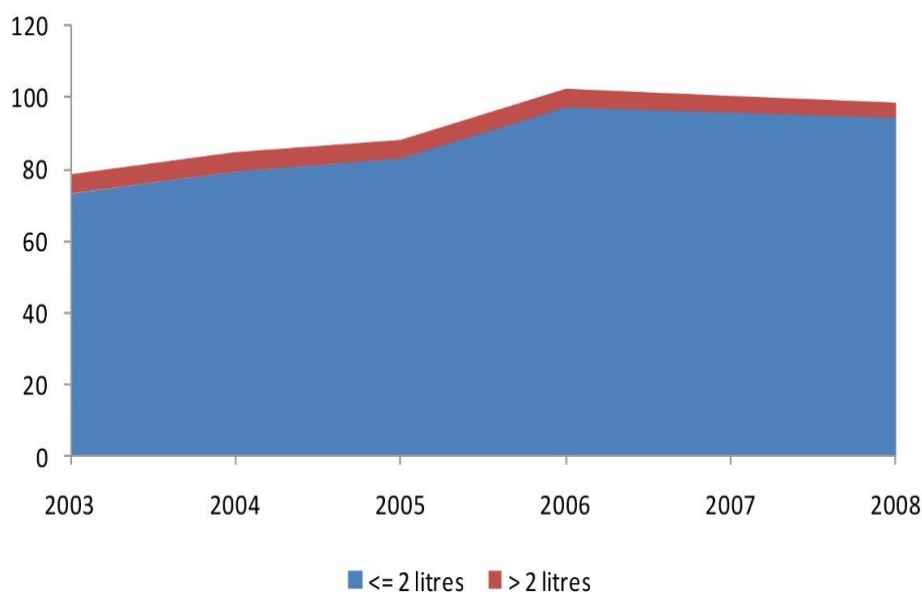
	billions	%	bags per person
<b>Total plastic carrier bags</b>	98.6	100	198
Single-use non-biodegradable	85.3	87	171
Single-use biodegradable	2.3	2	5
Multiple-use	11.0	11	22

Σχήμα 31: 2010, Μέση κατανάλωση πλαστικής σακούλας (European Commission, 2011)

Είναι ένας τύπος προϊόντος που έχει υποβληθεί σε σημαντικό έλεγχο παγκοσμίως τα τελευταία χρόνια, καθώς και από την ΕΕ με την οδηγία του Ιουνίου του 2019, σχετικά με τη μείωση των επιπτώσεων μερικών πλαστικών προϊόντων στο περιβάλλον.

Στην ΕΕ, η παραγωγή πλαστικών φιαλών, πωμάτων και παρόμοιων προϊόντων, αυξήθηκε σταδιακά μέχρι το 2006, όπου ξεπέρασε τους 100 δισ. μονάδες (Σχήμα 32). Μετέπειτα υπάρχει μια μείωση όπου το 2008 παράχθηκαν συνολικά 99 δισ. μονάδες (European Commission, 2011), με την παραγωγή πλαστικών φιαλών με χωρητικότητα μικρότερη από 2 λίτρα να κυριαρχεί στην αγορά.

### Plastic carboys, bottles, flasks and similar articles produced in EU-27, 2003-2008 (billion units)



Σχήμα 32: Η Παραγωγή φιαλών, ασκών και παρόμοιων ειδών στην ΕΕ-27 από το 2003-2008 (δισ. μονάδες) (European Commission, 2011)

#### 2.6.2. Αμιγώς πλαστικά μικροαντικείμενα οικιακής χρήσης

Εκτός από τα προϊόντα της βιομηχανίας της συσκευασίας, πλαστικά προϊόντα οικιακής χρήσης είναι επίσης τα προϊόντα που χρησιμοποιούνται για οργάνωση και αποθήκευση όπως κουτιά διαφόρων μεγεθών, πλαστικά είδη που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία του καθαρίσματος και επιτραπέζια είδη μιας χρήσης, μαχαιροπίρουνα, πιάτα κ.ά. Οι βιομηχανίες ειδών προσωπικής περιποίησης παράγουν πλαστικά προϊόντα όπως τα συνθετικά σφουγγάρια, μπατονέτες, οδοντόβουρτσες, είδη γυναικείας προσωπικής υγιεινής κ.ά. Κάποια παραδείγματα των πλαστικών προϊόντων και τα χρησιμοποιούμενα πολυμερή στα προϊόντα αυτά, δίνονται στον πίνακα παρακάτω.



Διάφορες Εφαρμογές		Πιο κοινά χρησιμοποιούμενα πολυμερή
Επιτραπέζια σκεύη μιας χρήσης	Μαχαιροπήρουνα	PP, PS
	Πιάτα	PET, HIPS, EPS
	Τραπεζομάντηλα	PVC
	Ποτήρια	PP, EPS
	Καλαμάκια	PP, PS
Είδη καθαρίσματος	Γάντια	Rubber
	Γάντια μιας χρήσης	PVC, Rubber, PC
	Συνθετικά σφουγγάρια	PET, PUR
	Λεκάνες πλυσίματος	PP
	Σφουγγαρίστρες	PP, PET fibres
	Κουβάδες	PP, PS
	Φαράσι	PET, PP
Μανταλάκια	PP	
Είδη κουζίνας	Πλάκες κοπής	PE, HDPE
	Δοχεία αποθήκευσης φαγητού για φούρνο μικροκυμάτων	PP, PE, PES,
	Δοχεία αποθήκευσης φαγητού για φούρνο μικροκυμάτων, ψύξη, μαγείρεμα	LCP, PES
	Δοχεία Σιλικόνης	S
	Σύστημα αποστράγγισης	PP
	Σκεύη μαγειρικής (κουτάλες, σπάτουλες κ.ά.)	PP, PS, S
Προσωπικής υγιεινής /περιποίησης	Συνθετικά σφουγγάρια	PET, PUR
	Οδοντόβουρτσα	PP, PE, Nylon
	Χτένα μαλλιών	ABS, POM, Nylon, Rubber
	Σερβιέτες, ταμπόν	LDPE, PP
Διάφορα άλλα άκαμπτα οικιακά πλαστικά	Καλάθια	PE, PP
	Κάδοι απορριμμάτων	PE, PP, HDPE
	Κρεμάστρες	PP, PS, PE, PC, mix
	Παιχνίδια (π.χ. παιδική χαρά)	HDPE
	Κουτιά αποθήκευσης	PP, HDPE

Σχήμα 33: Παραδείγματα οικιακών πλαστικών προϊόντων και χαρακτηριστικά πολυμερή που χρησιμοποιούνται σε αυτά)

### **2.6.3. Συμπεράσματα**

Τα πλαστικά προϊόντα οικιακής χρήσης αποτελούνται από πολλά είδη προϊόντων για διαφορετικές εφαρμογές. Η πλειονότητα από αυτά ανήκουν στα μη διαρκή αγαθά και τα περισσότερα είναι μιας χρήσης προϊόντα, ειδικά τα πλαστικά σε εφαρμογές συσκευασίας τα οποία δεν έχουν σχεδιαστεί για επαναχρησιμοποίηση ή για οικονομικά αποδοτική ανακύκλωση.

Οι καθημερινές οικιακές δραστηριότητες, διατροφή, καθαριότητα σπιτιού κ.ά., σχετίζονται άμεσα με αυτά τα προϊόντα, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη παραγωγή αποβλήτων από πλαστικά προϊόντα αναμειγμένα με άλλα απόβλητα. Αυτό δυσκολεύει την ανακύκλωση των πλαστικών καθώς η μόλυνση τους είναι συχνή είτε από ανάμειξή τους με άλλα απόβλητα είτε από το είδος της εφαρμογής τους που περιλαμβάνει επαφή με τρόφιμα και ποτά. Καθώς τα πολυμερή που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές αυτές ποικίλουν, η διαλογή των αποβλήτων αυτών καθίσταται δύσκολη σύμφωνα με τα υφιστάμενα συστήματα συλλογής.

### **2.7. ΑΠΟΣΥΝΘΕΣΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ (DEGRADATION)**

Ο όρος αποσύνθεση, στα πολυμερή είναι μια χημική αλλαγή που οδηγεί σε απώλειες των ιδιοτήτων του υλικού. Οι διαδικασίες αποσύνθεσης μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τους παράγοντες που προκαλούν τη χημική μεταβολή, οι οποίοι μπορεί να είναι φυσικοί, χημικοί, θερμικοί, μηχανικοί ή βιολογικοί. Οι διαδικασίες αποσύνθεσης παρατηρούνται κατά τη μορφοποίηση των πολυμερών ή με την έκθεσή τους στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα. Προς αποφυγή ή επιβράδυνση των διαδικασιών αποσύνθεσης, προστίθενται στα πολυμερή πρόσθετα (additives).

Η φυσική αποσύνθεση παρατηρείται κατά τη μορφοποίηση ή με παρουσία υγρασίας. Συνδέεται με μηχανισμούς μεταφοράς μάζας, όταν τα μόρια ενός διαλύτη ή νερού διεισδύσουν στο πολυμερές, αλλοιώνοντας τις φυσικές και μηχανικές του ιδιότητες. Το συγκεκριμένο φαινόμενο είναι αντιστρεπτό με ξήρανση του υλικού. Φυσική αποσύνθεση χωρίς μεταφορά μάζας μπορεί να παρατηρηθεί όταν οι διαστάσεις του αντικειμένου μεταβληθούν μετά τη μορφοποίηση.

Η ακτινοβολία, το οξυγόνο και το όζον προκαλούν χημική αποσύνθεση στα πολυμερή με την πάροδο του χρόνου. Η φωτοαποσύνθεση (photodegradation), υπό την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας (UV), προκαλεί τη καταστροφή της πολυμερικής αλυσίδας. Η υποβάθμιση που προκαλείται από την ακτινοβολία είναι άμεσα μετρήσιμη και για την προστασία των πολυμερών προστίθενται σταθεροποιητές, όπως αλκυλοφαινόλες ή μεταλλικές ενώσεις. Υπό την επίδραση του οξυγόνου και του όζοντος, τα πολυμερή αποσυντίθενται με ατμοσφαιρική οξείδωση. Η μικροδομή των πολυμερών επηρεάζει την ταχύτητα υποβάθμισης, καθώς τα κρυσταλλικά πολυμερή ή κρυσταλλικά τμήματα δεν είναι επιρρεπή.

Η θερμική αποσύνθεση περιγράφει τα φαινόμενα καταστροφής της δομής του πολυμερούς κατά τη μορφοποίηση ή τη λειτουργία του σε υψηλές θερμοκρασίες. *Υπάρχουν τρεις περιπτώσεις μηχανισμών θερμικής αποσύνδεσης, η τυχαία σχάση των πολυμερικών αλυσίδων (chain scission), ο αποπολυμερισμός (depolymerization) και αντιδράσεις που οδηγούν σε ανάπτυξη διακλαδώσεων ή σε μεταβολές ομάδων των μακρομορίων (side-group elimination). Τα παραγόμενα προϊόντα είναι μόρια σε διαστάσεις μονομερούς ή και μεγαλύτερα (Παντελής, 2008).*

Η μικροβιακή διάσπαση ή βιοδιάσπαση (biodegradation) , παρατηρείται σε φυσικά κυρίως πολυμερή και είναι η διάσπαση που πραγματοποιείται μέσω βιολογικών διεργασιών, κυρίως μέσω ζυμώσεων από μικροοργανισμούς όπως τα βακτήρια και οι μύκητες, και που έχει ως αποτέλεσμα συγκεκριμένες αλλαγές στη χημική δομή του υλικού καθώς και στις μηχανικές του ιδιότητες.

Σε πολλές περιπτώσεις, είναι κοινό πολλοί από αυτούς τους παράγοντες να λειτουργούν αθροιστικά ή διαδοχικά και να υποβαθμίζουν το πλαστικό σε ένα δεδομένο περιβάλλον. Ανεξάρτητα από τον εμπλεκόμενο μηχανισμό, η έκταση της αποικοδόμησης αυξάνεται με τη διάρκεια της έκθεσης του υλικού στον παράγοντα. Γενικά, όλα τα πολυμερή θα υποστούν κάποια υποβάθμιση κατά τη διάρκεια της ζωής τους όπως διάσπαση αλυσίδων, χρωματικές αλλαγές και ρωγμές. Το αποτέλεσμα θα είναι μια σταθερή υποβάθμιση των ιδιοτήτων τους που προκαλούνται από αλλαγές στο μοριακό βάρος και την κατανομή του μοριακού βάρους και τη σύνθεση του πολυμερούς.

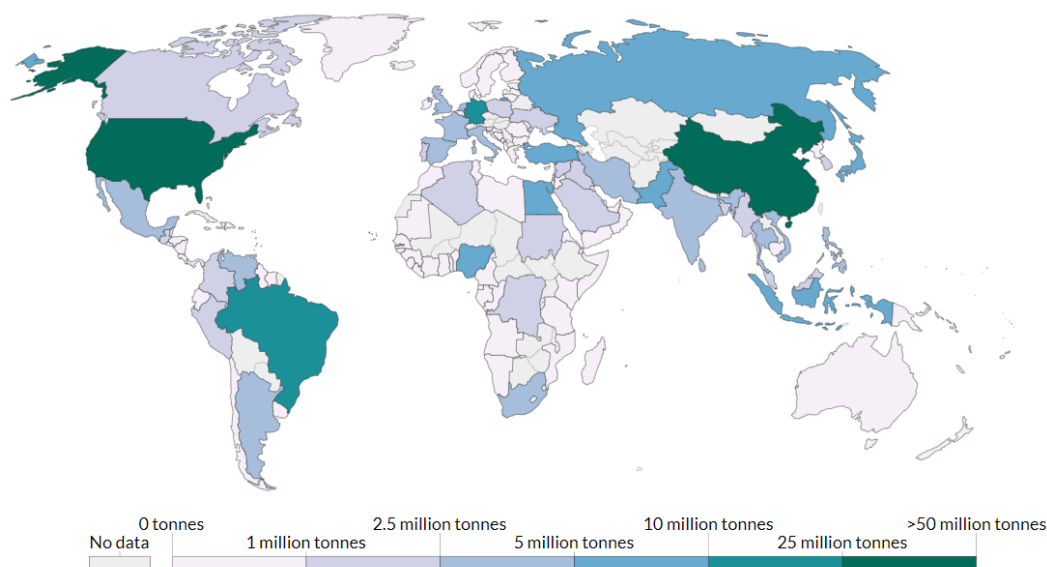
## **2.8. ΟΙ ΑΝΕΠΙΘΥΜΗΤΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΟΙΝΩΝΙΑ.**

### **2.8.1. Ρύπανση από πλαστικά απόβλητα**

Από την έναρξη της μαζικής παραγωγής των πλαστικών έως και σήμερα, περίπου 5 εκ. τον. πλαστικού έχουν καταλήξει σε χώρους υγειονομικής ταφής ή στο περιβάλλον. Το περιβαλλοντικό κόστος για την κοινωνία, μόνο από τα καταναλωτικά πλαστικά προϊόντα, ανέρχονταν το 2015 σε πάνω από 139 δισ. δολάρια, ποσό που ισοδυναμεί με σχεδόν το 20% των εσόδων του τομέα της βιομηχανίας πλαστικού και αναμένεται μέχρι το 2025 να αυξηθεί στα 209 δισ. δολάρια εάν συνεχιστούν οι σημερινές τάσεις (Trucost, 2016).

Η ρύπανση από τα πλαστικά είναι ένα παγκόσμιο πρόβλημα και εμφανίζεται ακόμα και στις πλέον απομακρυσμένες περιοχές του πλανήτη. Η παραγωγή πλαστικών αποβλήτων ανά χώρα φαίνεται στο σχήμα 34.

Η κατάσταση αυτή έχει ενεργοποιήσει πολλές πρωτοβουλίες διεθνώς και ευαισθητοποίησε το κοινό στην Ευρωπαϊκή Ένωση και αλλού, με την ευαισθητοποίηση αυτή να εστιάζεται περισσότερο στα πλαστικά μιας χρήσης και σε δράσεις καθαρισμού. Παραδείγματα διεθνών πρωτοβουλιών, επιπλέον αυτών που αναλαμβάνονται υπό την αιγίδα του ΟΗΕ, είναι η πρωτοβουλία των G20 γνωστή ως «G20 Implementation Framework for Actions on Marine Plastic Litter» (G20 , 2019) όπως και η «New plastics economy global commitment» (Ellen MacArthur Foundation, 2019) που περιλαμβάνει περισσότερους από 400 οργανισμούς (κυβερνήσεις, προμηθευτές, παραγωγούς πλαστικών και πρώτων υλών κλπ.).



Σχήμα 34: Παραγωγή αποβλήτων ανά χώρα σε εκ. τόνους (Πηγή: Our world in Data)<sup>19</sup>

Σε ότι αφορά τις πηγές ρύπανσης από πλαστικά, δεν υπάρχει ακριβής καταγραφή και η αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης βασίζεται περισσότερο σε εκτιμήσεις. Τα ποτάμια, έχει αναγνωριστεί σε ολόκληρο τον πλανήτη ότι αποτελούν τις κύριες υδάτινες οδούς για τη μεταφορά και απόθεση μεγάλων ποσοτήτων πλαστικού σε θάλασσες και ωκεανούς.

Η ακριβής καταγραφή των αιτιών της ρύπανσης αυτής, που θα οδηγούσε και στη λήψη της κατάλληλης δέσμης μέτρων, αποτελεί ένα εξαιρετικά πολύπλοκο πρόβλημα και μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν επαρκή επιστημονικά δεδομένα.

Είναι προφανές, ότι απαιτείται η έρευνα να ενταθεί στο πεδίο αυτό και να υποστηριχθεί κατάλληλα από τους φορείς άσκησης πολιτικής προκειμένου να αναλυθούν όλες οι παράμετροι του προβλήματος. Ωστόσο, το γεγονός ότι δεν υπάρχει συνολική εικόνα για το πρόβλημα δεν θα πρέπει να αποθαρρύνει την άμεση λήψη μέτρων και την αναζήτηση κατάλληλων λύσεων.

Η ρύπανση από τα πλαστικά είναι ένα σοβαρό μειονέκτημα του υφιστάμενου οικονομικού, παραγωγικού και καταναλωτικού μοντέλου του τύπου «παραγωγή – χρήση-απόρριψη». Οι πρωτοβουλίες καθαρισμού περιοχών από πλαστικά,

<sup>19</sup> Πηγή: Our world in Data / <https://ourworldindata.org/grapher/plastic-waste-generation-total>

αποτελούν μόνο βραχυπρόθεσμη λύση και οι μακροπρόθεσμες λύσεις θα πρέπει να ακολουθήσουν μια περισσότερο ολιστική προσέγγιση, λαμβάνοντας υπόψη ολόκληρη την αλυσίδα αξίας <sup>20</sup>(value chain) των πλαστικών.

Η αναζήτηση καινοτομιών στο τομέα, θα πρέπει να στοχεύει στην αντιμετώπιση του προβλήματος στη ρίζα του, λαμβάνοντας υπόψη και τα σχετικά επιστημονικά πορίσματα.

Σε ότι αφορά τις προτεραιότητες για την αντιμετώπιση αυτού του παγκόσμιου προβλήματος, δεν μπορεί να είναι ίδιες για αναπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες και θα πρέπει να καλύπτουν ολόκληρο το φάσμα των διαθέσιμων επιλογών, από καινοτόμες λύσεις έως και την εγκατάσταση συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων.

## **2.8.2. Θαλάσσια ρύπανση από πλαστικά απόβλητα**

### **2.8.2.1. Το πρόβλημα σε παγκόσμια κλίμακα**

Κάθε χρόνο, 5 έως 13 εκ. τόνοι πλαστικών υλών παγκοσμίως, συμπεριλαμβανομένου το 1,5 έως 4 % της παγκόσμιας παραγωγής πλαστικών, καταλήγουν στους ωκεανούς. Εκτιμάται, ότι τα πλαστικά απόβλητα αντιστοιχούν σε ποσοστό άνω του 80 % των θαλάσσιων απορριμμάτων. Τα πλαστικά απόβλητα αφού καταλήξουν στη θάλασσα μεταφέρονται στη συνέχεια από θαλάσσια ρεύματα, μερικές φορές σε πολύ μεγάλες αποστάσεις. Σε ότι αφορά την κατάληξή τους, ένα μέρος τους καταλήγει στις ακτές, ένα άλλο αποδομείται και μετατρέπεται σε μικροπλαστικά, και ένα τρίτο σχηματίζει συγκεντρώσεις πυκνών θαλάσσιων απορριμμάτων που παγιδεύονται σε κυκλικά συστήματα ωκεάνιων ρευμάτων.

Στο σχήμα 35 φαίνονται οι περιοχές συσσώρευσης των αποβλήτων λόγω των θαλάσσιων ρευμάτων. Η περιοχή στον Ειρηνικό υπολογίζεται ότι καλύπτει μια

---

<sup>20</sup> Επιχειρηματικό μοντέλο που περιγράφει το πλήρες φάσμα των δραστηριοτήτων που απαιτούνται για τη δημιουργία ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας (Πηγή: Investopedia/<https://www.investopedia.com/terms/v/valuechain.asp>).

εκτιμώμενη επιφάνεια 1.6 εκ. τετρ. Χιλ., περιοχή διπλάσια από το μέγεθος του Τέξας και τριπλάσια του μεγέθους της Γαλλίας (TheOceanCleanUp, n.d.). Η UNEP εκτιμά ότι η ζημία στο θαλάσσιο περιβάλλον παγκοσμίως ανέρχεται ετησίως τουλάχιστον σε 8 δισ. δολ. ΗΠΑ.



Σχήμα 35: Θαλάσσιες περιοχές συσσώρευσης απορριμμάτων (TheOceanCleanUp, n.d.)

#### **2.8.2.2. Η Διάσταση του προβλήματος σε επίπεδο ΕΕ**

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, το 80-85 % των θαλάσσιων απορριμμάτων που καταλήγουν στις παραλίες είναι πλαστικά, ενώ τα πλαστικά αντικείμενα μίας χρήσης αντιστοιχούν στο 50 % και τα είδη αλιείας στο 27 % του συνόλου (Οδηγία (ΕΕ) 2019/904, 2019).

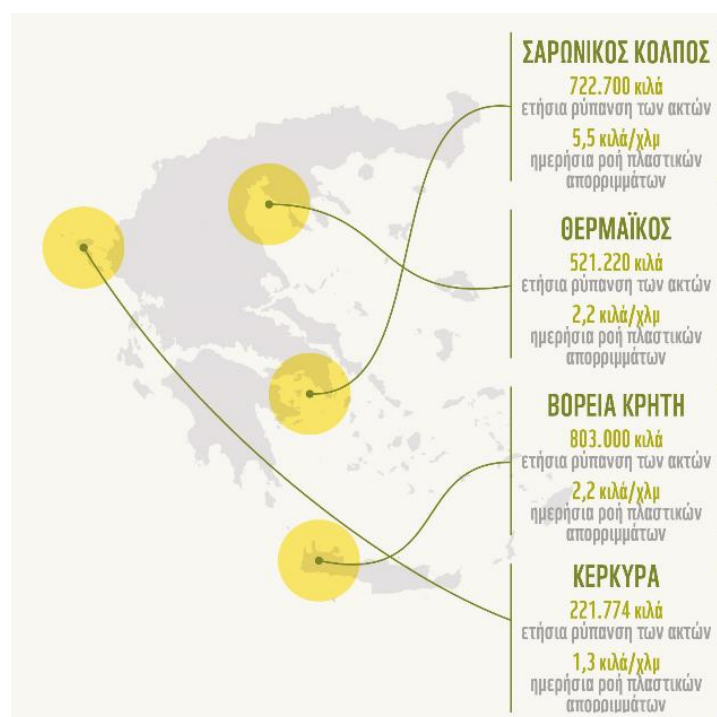
Τα πλαστικά προϊόντα μίας χρήσης περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα κοινών καταναλωτικών προϊόντων ταχείας κατανάλωσης που απορρίπτονται αφού έχουν χρησιμοποιηθεί μία φορά σύμφωνα με τον προορισμό τους, ανακυκλώνονται σπανίως και συχνά καταλήγουν στα απορρίμματα. Σημαντικό ποσοστό των αλιευτικών εργαλείων που διατίθενται στην αγορά δεν συλλέγεται για επεξεργασία. Επιγραμματικά, τα πλαστικά προϊόντα μίας χρήσης και τα αλιευτικά εργαλεία που περιέχουν πλαστική ύλη αποτελούν ένα ιδιαίτερα σοβαρό πρόβλημα στο πλαίσιο των θαλάσσιων απορριμμάτων, ενέχουν σοβαρό κίνδυνο για τα θαλάσσια

οικοσυστήματα, τη βιοποικιλότητα και την ανθρώπινη υγεία και βλάπτουν δραστηριότητες όπως ο τουρισμός, η αλιεία και η ναυτιλία.

### 2.8.2.3. Η Διάσταση του προβλήματος στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα παράγονται περίπου 700.000 τόν. πλαστικών απορριμμάτων ετησίως, ενώ εκτιμάται ότι σχεδόν 11.500 τόν. καταλήγουν κάθε χρόνο στις ελληνικές θάλασσες (σχήμα 36). Το μεγαλύτερο ποσοστό αποβλήτων που καταλήγουν στη θάλασσα το δημιουργούν οι παράκτιες δραστηριότητες σε ποσοστό 68% (7.800 τόν.), οι ανεπαρκείς πρακτικές διαχείρισης των αποβλήτων των πόλεων, οι τουριστικές δραστηριότητες και οι δραστηριότητες αναψυχής (WWF, 2019).

Σε ότι αφορά τη χωρική διάσταση του προβλήματος, η Αττική, αν και εμφανίζει το υψηλότερο ποσοστό συλλογής απορριμμάτων από μπλε κάδους, παράγει σχεδόν τα μισά απορρίμματα ολόκληρης της χώρας. Πάνω από 1,8 εκ. τόν. δημοτικών στερεών αποβλήτων παράγονται κάθε χρόνο κυρίως από τον πληθυσμό της Αθήνας. Ο Σαρωνικός έχει περιορισμένα θαλάσσια ρεύματα, γεγονός που οδηγεί σε υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης πλαστικών.



Σχήμα 36: Συγκεντρώσεις πλαστικών στις ελληνικές θάλασσες (WWF, 2019)



Η ρύπανση του Θερμαϊκού, οφείλεται κατά κύριο λόγο στα απορρίμματα της Θεσσαλονίκης με το λιμάνι της πόλης να παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συγκέντρωση πλαστικών απορριμμάτων. Η περιοχή επιβαρύνεται επίσης από το ρυπαντικό φορτίο που διοχετεύεται στη θάλασσα από τον Αξιό, ένα από τα μεγαλύτερα ποτάμια της Ελλάδας που πηγάζει από τη Βόρεια Μακεδονία (WWF, 2019).

### **2.8.3. Το ειδικότερο πρόβλημα των μικροπλαστικών**

Οι πηγές διαρροής πλαστικών στο περιβάλλον αυξάνονται διαρκώς, δημιουργώντας πρόσθετες δυνητικές απειλές τόσο για το περιβάλλον όσο και για την ανθρώπινη υγεία. Ειδικότερο πρόβλημα συνιστούν τα μικροπλαστικά - μικροσκοπικά τεμάχια πλαστικού μεγέθους < 5 mm- τα οποία συσσωρεύονται στις θάλασσες και λόγω μεγέθους καθίσταται εύκολη η πρόσληψή τους από τη θαλάσσια πανίδα και χλωρίδα. Επίσης, λόγω μεγέθους μπορούν να περάσουν στην τροφική αλυσίδα. Πρόσφατες έρευνες εντόπισαν επίσης μικροπλαστικά στον αέρα, στο πόσιμο νερό και σε τρόφιμα όπως το αλάτι ή το μέλι, με άγνωστες επιπτώσεις για υγεία του ανθρώπου. Συνολικά, εκτιμάται ότι μόνο στην ΕΕ κάθε χρόνο απελευθερώνονται στο περιβάλλον 75.000 έως 300.000 τόν. μικροπλαστικών . Ένα μεγάλο μέρος των μικροπλαστικών προέρχεται από τη διάσπαση μεγαλύτερων τεμαχίων πλαστικών αποβλήτων, όμως σημαντικές ποσότητες καταλήγουν επίσης απευθείας στο περιβάλλον, γεγονός που δυσχεραίνει την παρακολούθηση και την παρεμπόδιση τους.

Η ΕΕ, σύμφωνα με την (Οδηγία (ΕΕ) 2019/904, 2019), απαγόρευσε τη διάθεση στην αγορά προϊόντων από οξοδιασπώμενη ύλη, καθώς ο εν λόγω τύπος πλαστικής ύλης δεν βιοαποδομείται κατά τρόπο κατάλληλο και συμβάλλει στη ρύπανση του περιβάλλοντος από μικροπλαστικά.

### **2.8.4. Ουσίες των πλαστικών που ενδεχόμενα εγκυμονούν κινδύνους για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία.**

Γενικά, τα πλαστικά είναι σύνθετα χημικά μίγματα και περιέχουν σειρά χημικών ουσιών, που προσδίδουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά και ιδιότητες ανάλογα με τη χρήση τους. Ωστόσο, στα πλαστικά απαντώνται και άγνωστες ουσίες, που δεν έχουν συμπεριληφθεί στη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας από πρόθεση, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η εκτίμηση του χημικού κινδύνου.

Διάφορα είδη πλαστικών που χρησιμοποιούνται για τη συσκευασία τροφίμων, μεταφέρουν επικίνδυνες τοξικές χημικές ουσίες, όπως την Διφαινόλη Α (Bisphenol A.-BPA). Έρευνες έχουν αποδείξει ότι κάτω από ειδικές συνθήκες (θερμοκρασία), η Διφαινόλη Α μπορεί να εισχωρήσει στις τροφές και εν συνεχεία στον ανθρώπινο οργανισμό. Την συναντούμε συχνά σε πολλά προϊόντα από πλαστικό, όπως στα γυαλιά ηλίου, σε δοχεία για νερό και τρόφιμα, σε προθήκες δοντιών, σε αθλητικούς εξοπλισμούς, σε ιατρικές συσκευές, σε φακούς επαφής, στα CD, σε οικιακά ηλεκτρικά σκεύη, σε παιδικά παιχνίδια, και στα θήλαστρα (μπιμπερό) των βρεφών.

*Στον κάθε Έλληνα αναλογούν πέντε κιλά συντηρητικών και 73 σταθερές χημικές ουσίες που εντοπίστηκαν στο αίμα των Ευρωπαίων πολιτών, μεταξύ αυτών και η Διφαινόλη Α (WWF, 2019).*

Οι επιπτώσεις των χημικών ουσιών στον άνθρωπο και το περιβάλλον αξιολογούνται χρησιμοποιώντας εκτιμήσεις της επικινδυνότητάς τους και ρυθμίζονται από την εθνική και κοινοτική νομοθεσία, όπως το REACH<sup>21</sup>. Για να υπάρξει εκτίμηση της επικινδυνότητας απαιτούνται πληροφορίες σχετικά με τα επίπεδα της έκθεσης και την τοξικότητα των ουσιών. Ωστόσο, υπάρχει αβεβαιότητα σχετικά με τις πιθανές συνέπειες της μακροχρόνιας έκθεσης σε ουσίες που βρίσκονται στα σημερινά πλαστικά, για τη συνδυαστική επίδρασή τους καθώς και για τις συνέπειες της διαρροής τους στην βιόσφαιρα.

Τα 150 εκ. τόν. πλαστικών που βρίσκονται σήμερα στους ωκεανούς, περιλαμβάνουν περίπου 23 εκ. τόν. πρόσθετα, από τα οποία ορισμένα προκαλούν ανησυχία. Ενώ η ταχύτητα με τη οποία αυτά απελευθερώνονται από το πλαστικό, εξακολουθεί να υπόκειται σε συζήτηση, σύμφωνα με εκτιμήσεις περίπου 225.000 τόν. πρόσθετων θα μπορούσαν να απελευθερωθούν στους ωκεανούς ετησίως και αυτή η ποσότητα μπορεί να αυξηθεί στο 1,2 εκατ. τόνους ετησίως έως το 2050 (Project MainStream, 2016).

---

<sup>21</sup> REACH είναι ο κανονισμός της ΕΕ που θεσπίστηκε με σκοπό την προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος από τους κινδύνους που μπορεί να ενέχουν τα χημικά προϊόντα και, παράλληλα, την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας της βιομηχανίας χημικών προϊόντων της ΕΕ (<https://osha.europa.eu/el/themes/dangerous-substances/reach>).

Είναι προφανές, ότι και στο πεδίο αυτό απαιτείται να ενταθεί η έρευνα προκειμένου να λάβει υπόψη τη συνολική έκθεση (ταυτόχρονη έκθεση σε περισσότερες από μία ουσίες) όπως επίσης και το γεγονός ότι υποστηρίζοντας τη μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία για τα πλαστικά, κατά τη διάρκεια της ανακύκλωσης θα μπορούσαν να προκύψουν χημικές ουσίες επιβλαβείς για τα οικοσυστήματα ή να εμφανιστούν στα νέα προϊόντα.

Σημαντικό είναι επίσης, το συνολικό πλαίσιο να θωρακιστεί με την εναρμόνιση των υφιστάμενων νομοθεσιών (π.χ. σε όλες τις κατηγορίες προϊόντων), με επέκταση της εκτίμηση της επικινδυνότητας σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής των πλαστικών προϊόντων.

## **2.9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Η βιομηχανία πλαστικών στο σύνολό της εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τα πεπερασμένα αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου, τα οποία αποτελούν περισσότερο από το 90% των απαιτούμενων πρώτων υλών για την παραγωγή τους. Για τις πλαστικές συσκευασίες, το ποσοστό αυτό είναι ακόμη μεγαλύτερο για το λόγο ότι η ανακύκλωση πλαστικού για σκοπούς συσκευασίας είναι περιορισμένη. Σε ότι αφορά τη συνολική ποσότητα του πετρελαίου που αναλώνεται για την παραγωγή πλαστικών οι πηγές διαφέρουν, αλλά εκτιμάται ότι αυτή κυμαίνεται μεταξύ 4-8% της παγκόσμιας παραγωγής. Αυτό το ποσοστό αντιστοιχεί με την κατανάλωση του παγκόσμιου κλάδου των αερομεταφορών χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το φυσικό αέριο που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη και ως καύσιμο.

Εάν η σημερινή ισχυρή τάση ανάπτυξης του τομέα των πλαστικών συνεχιστεί, το 2050 η κατανάλωση πετρελαίου από τον κλάδο των πλαστικών θα αντιστοιχεί στο 20% της παγκόσμιας κατανάλωσης (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Τα πλαστικά προϊόντα οικιακής χρήσης αποτελούνται από πολλά είδη προϊόντων για διαφορετικές εφαρμογές. Τα περισσότερα από αυτά ανήκουν στα μη διαρκή αγαθά και τα περισσότερα είναι μιας χρήσης προϊόντα, ειδικά τα πλαστικά σε εφαρμογές συσκευασίας τα οποία δεν έχουν σχεδιαστεί για επαναχρησιμοποίηση ή οικονομικά αποδοτική ανακύκλωση.

Οι καθημερινές οικιακές δραστηριότητες, διατροφή, καθάρισμα σπιτιού κ.ά., σχετίζονται άμεσα με αυτά τα προϊόντα, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη παραγωγή αποβλήτων από πλαστικά προϊόντα αναμειγμένα με άλλα απόβλητα. Η μη σωστή διαχείριση των πλαστικών αποβλήτων σε υγειονομικούς χώρους και η άτακτη ρίψη αποβλήτων έχει οδηγήσει σε ρύπανση του περιβάλλοντος.

Τα θαλάσσια απορρίμματα έχουν διασυννοριακό χαρακτήρα και αναγνωρίζονται ως παγκόσμιο πρόβλημα που οξύνεται διαρκώς. Η μείωσή τους αποτελεί βασική δράση για την επίτευξη του στόχου της βιώσιμης ανάπτυξης του ΟΗΕ, σύμφωνα με τον οποίο επιδιώκεται η διατήρηση και η βιώσιμη χρήση των ωκεανών, των θαλασσών και των θαλάσσιων πόρων.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναπτύχθηκαν τα βασικά στοιχεία των αποβλήτων και ενός Συστήματος Διαχείρισης Αποβλήτων (ΣΔΑ) και η σημασία ένταξής τους στην κυκλική οικονομία και βιώσιμη ανάπτυξη, μέσω της ιεράρχησης των αποβλήτων, ώστε το απόβλητο να θεωρείται πρώτη ύλη και να εισάγεται στη διαδικασία παραγωγής. Τα οικιακά πλαστικά προϊόντα θα πρέπει να έχουν την ίδια συμπεριφορά ως απόβλητα και να εισάγονται στην κυκλική οικονομία. Η πολυπλοκότητα τους ως προς την παραγωγή, την πρώτη ύλη, τα πρόσθετα, την πληθώρα προϊόντων, τη διάρκεια ζωής τους, ουσιαστικά η συνολική φάση της παραγωγής και χρήσης τους, θα πρέπει να εξετάζετε μαζί με το τέλος ζωής τους. Καθώς, όπως αναλύθηκε παραπάνω τα αρνητικά που έχουν προκληθεί από τη μη σωστή διαχείριση τους, έχουν οδηγήσει σε ρύπανση του περιβάλλοντος, σε κινδύνους στην ανθρώπινη υγεία και στη πανίδα. Η ανάγκη για σωστή διαχείριση των οικιακών πλαστικών αποβλήτων και η επιστροφής της αξίας τους, με απώτερο σκοπό την αποϋλοποίηση, μπορεί να γίνει μέσω της εισαγωγής τους στην ιεράρχηση των αποβλήτων, με πρόληψη, επανασχεδιασμό και ανακύκλωση.

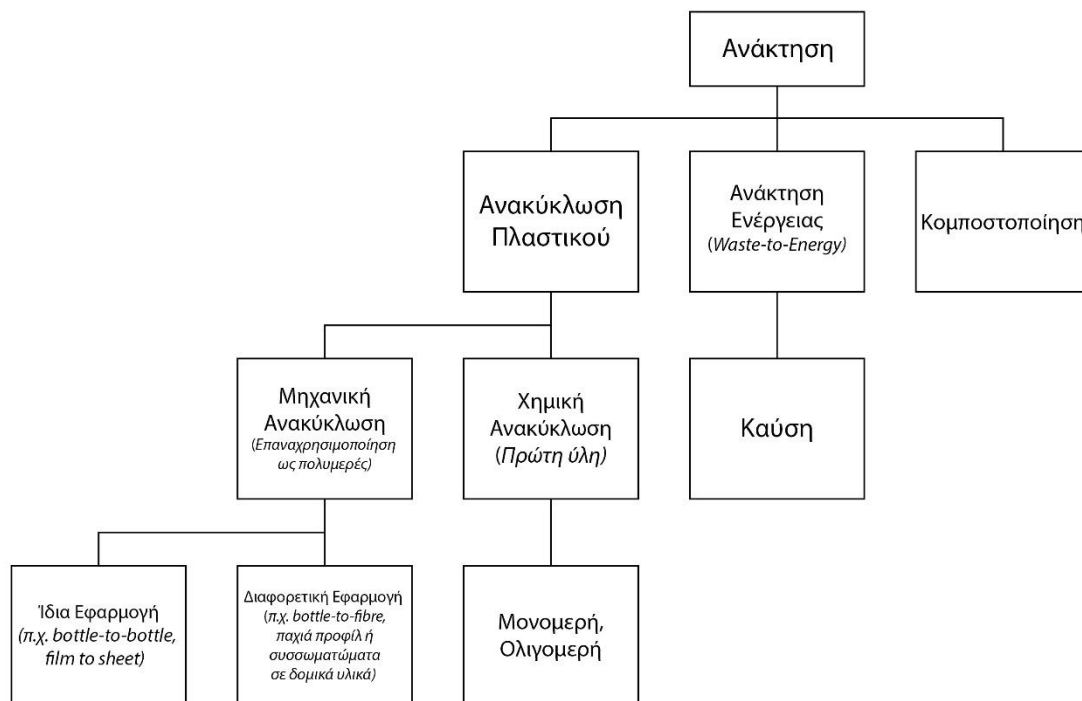
### **3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΟΙΚΙΑΚΑ ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ**

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναπτύχθηκαν η παραγωγή των πλαστικών προϊόντων, οι χρήσεις τους καθώς και οι αρνητικές επιπτώσεις τους στον άνθρωπο και στο περιβάλλον εξαιτίας της αναποτελεσματικής διαχείρισης των πλαστικών αποβλήτων. Τα οικιακά πλαστικά, σύμφωνα με το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας για βιώσιμη ανάπτυξη, μετά τη χρήση τους θα πρέπει να αποτελούν πηγές πρώτης ύλης μέσω της ανάκτησής τους από το ρεύμα των αποβλήτων και ανακύκλωσής τους.

#### **3.1. ΑΝΑΚΤΗΣΗ (RECOVERY) ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ**

Ο σκοπός ενός αποτελεσματικού συστήματος διαχείρισης αποβλήτων (ΣΔΑ) είναι η ανάκτηση και ανακύκλωση των υλικών που εισέρχονται μέσα στο σύστημα. Ως ανάκτηση (Recovery), ορίζεται η ποσότητα ενός συγκεκριμένου υλικού στη ροή εισόδου των αποβλήτων που είναι διαθέσιμη για επεξεργασία, ενώ ως ανακύκλωση (recycling) ο πραγματικός όγκος του υλικού που ανακυκλώνεται τελικά σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας. Η μέτρηση του όγκου του ανακυκλώσιμου υλικού γίνεται στην είσοδο και στην έξοδο του υλικού από την εγκατάσταση.

Τα οικιακά πλαστικά απόβλητα που απορρίπτονται στο ΣΔΑ, ανάλογα με τις ιδιότητές τους, μπορούν, όπως φαίνεται στο σχήμα 37 που ακολουθεί, να ανακυκλωθούν - μηχανικά ή χημικά - να ανακτηθούν ενεργειακά ή να κομποστοποιηθούν (η κομποστοποίηση που αφορά την προετοιμασία των αποβλήτων προκειμένου αυτά να οδηγηθούν στην υγειονομική ταφή, δεν αποτελεί αντικείμενο εστίασης του παρόντος κεφαλαίου).



Σχήμα 37: Διαθέσιμες επιλογές μετά την ανάκτηση του πλαστικού από το ρεύμα των αποβλήτων

Η ανακύκλωση, όπως φαίνεται στο σχήμα 38, εναλλακτικά δύναται να χαρακτηρίζεται ως πρωτογενής, δευτερογενής, τριτογενής ή τεταρτογενής

<b>Εσωτερική ανακύκλωση ή πριν την κατανάλωση (Primary Home ή Pre-consumer Recycling )</b>	<b>Πρωτογενής ανακύκλωση</b>
<b>Φυσική μηχανική ή μετά την χρήση ανακύκλωση</b>	<b>Δευτερογενής ανακύκλωση</b>
<b>Χημική ανακύκλωση με ανάκτηση πρώτων υλών</b>	<b>Τριτογενής ανακύκλωση</b>
<b>Ανάκτηση ενέργειας</b>	<b>Τεταρτογενής ανακύκλωση</b>

Σχήμα 38: Εναλλακτική ορολογία ανακύκλωσης

Επιπλέον, σύμφωνα με την ΕΕ - (European Parliament and Council, 2008) και (European Commission, 2019)- η ανακύκλωση πλαστικών περιλαμβάνει και την εκ νέου επεξεργασία οργανικών υλικών, αλλά δεν θεωρείται ως τέτοια αν πρόκειται να γίνει χρήση του τελικού προϊόντος ως καυσίμου ή ως υλικού επίχωσης. Συνεπώς, η ανάκτηση ενέργειας (ή τεταρτογενής ανακύκλωση) από τα πλαστικά απόβλητα δεν πρέπει να θεωρείται ανακύκλωση, όπως επίσης, και η επεξεργασία μεικτών πλαστικών με σκοπό τη χρήση τους ως υλικών επίχωσης.

## **3.2. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ**

### **3.2.1. Μηχανική Ανακύκλωση**

Η μηχανική ανακύκλωση είναι η μέθοδος επεξεργασίας με την οποία τα πλαστικά απόβλητα ανακυκλώνονται σε "νέες" πρώτες ύλες χωρίς να αλλάζει η βασική δομή του υλικού. Ως μέθοδος αλλά και ως τεχνολογία χρησιμοποιείται για την επεξεργασία υλικού συμβατικών πλαστικών, όπως πολυαιθυλένιο (PE), πολυαιθυλένιο τереφθαλικό (PET), πολυπροπυλένιο (PP) και πολυστυρένιο (PS). Το κύριο πλεονέκτημά της μηχανικής ανακύκλωσης, είναι ότι μέρος των πόρων που καταναλώνονται για την παραγωγή των πλαστικών υλικών δεν σπαταλούνται, αλλά διατηρούνται για χρήση για την ίδια, παρόμοια ή διαφορετική εφαρμογή.

Όταν τα ανακυκλωμένα υλικά χρησιμοποιούνται για την κατασκευή παρόμοιων προϊόντων αντί των πρωτογενών, θεωρείται ανακύκλωση κλειστού βρόγχου (closed-loop recycling), η οποία θεωρητικά μπορεί να είναι αυτοδύναμη για ένα χρονικό διάστημα (Vezzoli, 2018) .

Στην πραγματικότητα, δεν μπορεί να υπάρχει ένας τελείως κλειστός βρόχος εξαιτίας της ενέργειας που απαιτείται κατά τη διαδικασία της ανακύκλωσης αλλά και από το γεγονός ότι η διαδικασία εντέλει υποβαθμίζεται: σε κάθε κύκλο ανακύκλωσης του πλαστικού προκύπτουν απορρίψεις και επιπλέον τα χαρακτηριστικά των πολυμερών υποβαθμίζονται με την πάροδο του χρόνου.

Η ανακύκλωση κλειστού βρόγχου είναι δυνατή για πλαστικά που ανακυκλώνονται πριν την κατανάλωσή τους (pre-consumer) και που προέρχονται από τα διάφορα στάδια της παραγωγής. Αυτά είναι απορριφθέντα υλικά, παραπροϊόντα, απόβλητα ή και πλεονάσματα, τα οποία συνήθως ανακυκλώνονται στο πλαίσιο της ίδιας της

διαδικασίας παραγωγής. Τα υλικά αυτά είναι γενικά καθαρά, εύκολα αναγνωρίσιμα και προσαρμόσιμα για ανακύκλωση υψηλής ποιότητας. Σε αντίθεση, τα υλικά μετά την κατανάλωση (post-consumer), όπως είναι τα οικιακά πλαστικά απόβλητα, που προέρχονται από προϊόντα και συσκευασίες μετά την απόρριψή τους από τον καταναλωτή, είναι ιδιαίτερα δύσκολο να συμπεριληφθούν σε ανακύκλωση τύπου κλειστού βρόχου. Οι βασικοί λόγοι είναι η ποιότητα των υλικών που ανακτώνται τελικά μέσα από τη ροή αποβλήτων και η ύπαρξη αυστηρών απαιτήσεων για πλαστικά προϊόντα που έχουν σχέση με τρόφιμα. Η ποιότητα των υλικών εξαρτάται από την αποτελεσματικότητα του ΣΔΑ, τις διαθέσιμες τεχνολογίες, τον τρόπο συλλογής των ανακυκλώσιμων κ.ά. Ένα παράδειγμα κλειστού βρόχου ανακύκλωσης οικιακών πλαστικών είναι το bottle-to bottle, όπου γίνεται μηχανική ανακύκλωση πλαστικών φιαλών, και η ανακυκλώσιμη ύλη, μαζί με παρθένα πρώτη ύλη, χρησιμοποιείται για την παραγωγή νέων φιαλών.

Στην περίπτωση που το υλικό που ανακυκλώνεται μηχανικά μέσα από τη ροή αποβλήτων, δεν έχει ποιότητα συγκρίσιμη με την παρθένα ύλη και χρησιμοποιείται για εφαρμογές που απαιτούν χαμηλότερη ποιότητα, τότε χρησιμοποιείται ο όρος υποβαθμιστική ανακύκλωση (downcycling<sup>22</sup>) ή ανακύκλωση ανοιχτού βρόχου (open-loop). Παράδειγμα τέτοιας ανακύκλωσης είναι η bottle-to fiber, όπου η ανακυκλώσιμη ύλη δεν έχει ίδια ποιότητα με την παρθένα πρώτη ύλη για να χρησιμοποιηθεί στη παραγωγή φιαλών και μετατρέπεται σε ίνες για άλλη χρήση.

### 3.2.2. Χημική Ανακύκλωση

Η χημική ανακύκλωση είναι ένας γενικός όρος για την περιγραφή καινοτόμων τεχνολογιών, όπου τα πλαστικά απόβλητα μετά την κατανάλωση μετατρέπονται σε πολύτιμα χημικά προϊόντα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη από τη

---

<sup>22</sup> Οι όροι *downcycle* και *downcycling* χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά το 1993 από τους Reiner Pilz, της Pilz GmbH., και Thornton Kay, της Salvo Llp., μαζί με τους όρους *upcycle* και *upcycling*. Ο όρος έγινε δημοφιλής από τους William McDonough και Michael Braungart, στο βιβλίο του 2002, *Cradle to Cradle: Remaking the way we make things* (Downcycling, n.d.). Το *Upcycling* είναι μια συνιστώσα της βιωσιμότητας στην οποία τα απόβλητα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή νέων προϊόντων. Είναι η πρακτική να παίρνει κανείς κάτι που είναι διαθέσιμο και να το μετατρέπει σε κάτι με μεγαλύτερη χρησιμότητα και αξία. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει τη μείωση των αποβλήτων και τη χρήση παρθένων υλικών.



χημική βιομηχανία. Η χημική ανακύκλωση, χρησιμοποιώντας μια διαδικασία αποπολυμερισμού με χρήση θερμότητας ή θερμότητας και καταλύτη, μετατρέπει τα πλαστικά απόβλητα σε μικρότερα μόρια. Αυτές οι τεχνολογίες περιλαμβάνουν την πυρόλυση, την αεριοποίηση, τον χημικό από-πολυμερισμό, την καταλυτική πυρόλυση & αναμόρφωση και την υδρογόνωση. Μέσω της χημικής ανακύκλωσης, τα πλαστικά απόβλητα μετατρέπονται σε πρώτη ύλη, δηλαδή σε μονομερή, ολιγομερή και υψηλούς υδρογονάνθρακες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή παρθένων πολυμερών για τη δημιουργία νέων πλαστικών προϊόντων. Για παράδειγμα, το PET, το Nylon 6/Nylon 6.6, και οι πολυουρεθάνες (PURs) μπορούν να αποπολυμεριστούν αποτελεσματικά. Οι προκύπτουσες χημικές ουσίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη κατασκευή νέων πλαστικών που δεν μπορούν να διακριθούν από το αρχικό παρθένο πολυμερές (Themelis N. J., Boutsalas A. C., 2019).

Η χημική ανακύκλωση αποτελεί πρόσφατη τεχνολογία και έχει πολύ ακριβό κόστος λειτουργιών, με αποτέλεσμα να υπάρχουν πιλοτικές μονάδες και να μην χρησιμοποιείται ευρέως στην ανακύκλωση.

### **3.2.3. Αποδοτικότητα ανακύκλωσης**

Η συνολική ποσότητα του πλαστικού υλικού που διατίθεται τελικά για επαναχρησιμοποίηση, περιορίζεται κατά τη διάρκεια της ίδιας της διαδικασίας ανακύκλωσης λόγω ποιότητας, χρώματος ή μεθόδου επεξεργασίας. Η ποσότητα του επαναχρησιμοποιήσιμου πλαστικού ως προς την ποσότητα του πλαστικού του ρεύματος εισόδου ορίζει και την αποδοτικότητα της ανακύκλωσης (recycling efficiency).

Ο ρυθμός ανάκτησης αναφέρεται στον όγκο του υλικού που ανακτάται από τη ροή αποβλήτων, διαιρούμενο με την ποσότητα του υλικού στα παραγόμενα απόβλητα. Το ποσοστό ανακύκλωσης σε ένα σύστημα είναι ο ρυθμός ανάκτησης επί την αποδοτικότητα της ανακύκλωσης, και ορίζει το βαθμό επιτυχίας ενός συστήματος ανακύκλωσης (Worrel E., Reuter M. A., 2014).

### **3.3. ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (WASTE-TO-ENERGY)**

Τα πλαστικά παράγονται από πετρέλαιο ή φυσικό αέριο και έχουν μια αποθηκευμένη ενεργειακή αξία υψηλότερη από οποιοδήποτε άλλο υλικό που

βρίσκεται συνήθως στο ρεύμα αποβλήτων. Η αποτέφρωση επιστρέφει μέρος της ενέργειας που αναλώθηκε κατά τη διαδικασία της παραγωγής. Στην πραγματικότητα, μία μονάδα βάρους πλαστικού μπορεί να παράγει ενέργεια όσο και ο άνθρακας και σχεδόν ίση ενέργεια με το πετρέλαιο. Στο σχήμα 39 φαίνεται η θερμιδική αξία διάφορων υλικών που απελευθερώνεται κατά την καύση, συμπεριλαμβανομένου του πλαστικού

Fuel	Calorific value (MJ/kg)
Methane	53
Gasoline	46
Fuel oil	43
Coal	30
Polyethylene	43
Mixed plastics	30–40
Municipal solid waste	10

Σχήμα 39: Θερμιδική αξία υλικών που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα

Ωστόσο, η αποτέφρωση του πλαστικού ενέχει τον κίνδυνο σοβαρών επιπτώσεων για το περιβάλλον και την υγεία καθώς οι επικίνδυνες ουσίες μπορούν να απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα κατά τη διαδικασία της καύσης. Για παράδειγμα, τα PVC και τα αλογονωμένα πρόσθετα αναμειγνύονται σε πλαστικά απόβλητα και η καύση τους οδηγεί στην απελευθέρωση διοξινών και πολυχλωριωμένων διφαινυλίων στο περιβάλλον.

## 4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

### 4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανακύκλωση συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση των πλαστικών αποβλήτων και μπορεί να ενισχύσει τη διατήρηση των φυσικών πόρων, τη διατήρηση υγιέστερου περιβάλλοντος και τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα που περιλαμβάνει οντότητες και διαδικασίες, μέσω των οποίων τα απόβλητα συλλέγονται, διαχωρίζονται, επεξεργάζονται και εισέρχονται εκ νέου στη διαδικασία παραγωγής. Η κατανόηση των διαδικασιών της ανακύκλωσης, καθώς και της βιομηχανίας και των οντοτήτων που την αποτελούν, είναι σημαντική για τη σχεδίαση ενός αποδοτικού συστήματος.

Η αλυσίδα της ανακύκλωσης οικιακών πλαστικών διακρίνεται στα ακόλουθα τρία στάδια: (α) Συλλογή, (β) Προ-Διαλογή (Ταξινόμηση) – Ανάκτηση, (γ) Προ-επεξεργασία. Το πρώτο στάδιο είναι η συλλογή των πλαστικών αποβλήτων, που έχουν απορρίψει οι καταναλωτές, μέσω των προγραμμάτων συλλογής ενός ΣΔΑ και η μεταφορά τους σε μια εγκατάσταση ανάκτησης υλικών (MRFs). Στην εγκατάσταση ανάκτησης υλικών, στάδιο διαλογής και ανάκτησης, γίνεται η διαλογή των αποβλήτων και η ταξινόμηση των ανακτημένων πλαστικών. Το τρίτο στάδιο είναι αυτό της ανακύκλωσης, όπου γίνεται η επεξεργασία του υλικού από εγκαταστάσεις ανακύκλωσης (RFs).

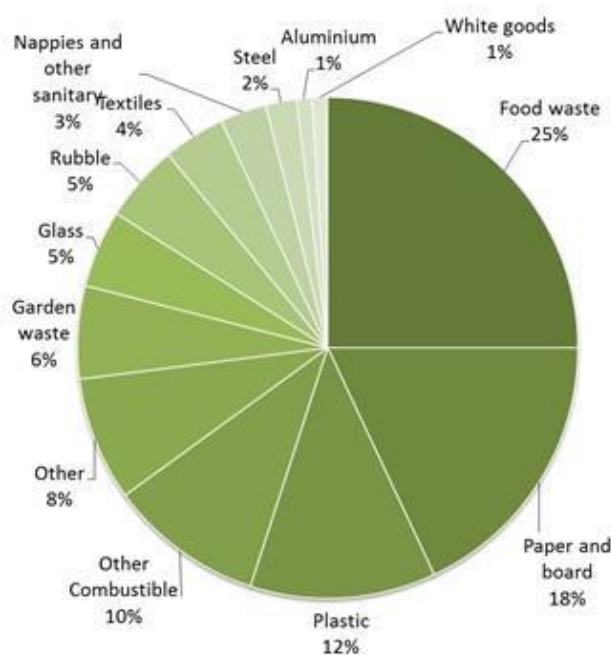
*Οι διαφορετικοί ρόλοι που διαδραματίζουν οι εγκαταστάσεις ανάκτησης υλικών, οι ενοποιητές (consolidators) και οι μεσίτες υλικών σε όλη τη διαδικασία, είναι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη για τη σχεδίαση του συστήματος (Themelis N. J., Boutsalas A. C., 2019).*

Η συλλογή για ανακύκλωση και ο διαχωρισμός των υλικών, επηρεάζονται από την υπάρχουσα υποδομή, τους πόρους και τις διαδικασίες συλλογής, μεταφοράς, διαχωρισμού και ενοποίησης υλικών. Ο σημαντικότερος παράγοντας της ανακύκλωσης είναι η ποιότητα των υλικών στην εισερχόμενη ροή αποβλήτων, που καθορίζει τα μετέπειτα στάδια και την ανακύκλωση ή όχι των πλαστικών.

## 4.2. ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Τα οικιακά πλαστικά απόβλητα κατά την απόρριψη τους από τον καταναλωτή εισάγονται στα προγράμματα συλλογής πλαστικών. Υπάρχουν προγράμματα συλλογής που εφαρμόζονται από τοπικές αρχές και εντάσσονται στα αντίστοιχα εθνικά σχέδια διαχείρισης των εκάστοτε χωρών αλλά και προγράμματα συλλογής πλαστικών από ιδιωτικούς φορείς.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα οικιακά πλαστικά που συλλέγονται για ανακύκλωση, είτε από τοπικούς είτε από ιδιωτικούς φορείς, διαφέρουν από χώρα σε χώρα και εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες. Ο σημαντικότερος παράγοντας για την επιλογή της συλλογής συγκεκριμένων πλαστικών προϊόντων είναι οι τάσεις της αγοράς, καθώς δεν υπάρχει ζήτηση για όλα τα πολυμερή από ανακυκλωμένα προϊόντα. Ένα ακόμη παράγοντας είναι η συγκέντρωση ενός είδους πλαστικού προϊόντος μέσα σε μια ροή αποβλήτων καθώς και η συχνότητα συγκέντρωσης αυτού μέσα στη ροή. Το ποσοστό συμμετοχής των πλαστικών αποβλήτων, μέσα στη εισερχόμενες ροές αποβλήτων, στο σύνολο όλων των αποβλήτων είναι επίσης καθοριστικός παράγοντας. Ειδικότερα, σε ότι αφορά τα κράτη-μέλη της ΕΕ, όπως προκύπτει από σχήμα 40 που ακολουθεί, το 2015 τα πλαστικά απόβλητα αποτελούσαν το 12% των αστικών αποβλήτων.



Σχήμα 40: Σύσταση των αστικών στερεών αποβλήτων στην ΕΕ, 2015 (Πηγή: Best Environmental Management Practice for the Waste Management Sector)

Τα οικιακά πλαστικά που εισέρχονται σε ένα ρεύμα αποβλήτων για ανακύκλωση, είναι κυρίως πλαστικά προϊόντα συσκευασίας, όπως φιάλες νερού, αναψυκτικών ή γάλακτος, συσκευασίες και δοχεία τροφίμων και απορρυπαντικών. Αυτό γίνεται διότι τα μεγαλύτερα ποσοστά παραγωγής πλαστικών ανήκουν στη βιομηχανία συσκευασίας και ο χρόνος ζωής των προϊόντων αυτών είναι μιας χρήσης, οπότε η συμμετοχή τους στα κλάσματα των οικιακών πλαστικών είναι μεγάλη. Τα αμιγώς πλαστικά μικροαντικείμενα συναντώνται σε μικρότερες ποσότητες μέσα στην ροή των αποβλήτων.

Για το σχεδιασμό ενός αποδοτικού συστήματος συλλογής θα πρέπει να γίνονται συνεχείς δειγματολογικοί έλεγχοι στην είσοδο της ροής αποβλήτων σε μια εγκατάσταση ανάκτησης υλικών, για την εξέταση επιλογής πλαστικών προϊόντων από τα προγράμματα συλλογής.

#### **4.2.1. Προγράμματα Συλλογής Οικιακών Πλαστικών**

Τα εφαρμοζόμενα συστήματα συλλογής οικιακών πλαστικών διακρίνονται σε προγράμματα συλλογής «από πόρτα σε πόρτα» υπολειμματικών αποβλήτων, διαλογής στη πηγή, Drop-off / Bring Points καθώς και σε προγράμματα παροχής κινήτρων ή επιστροφής χρημάτων.

##### **4.2.1.1. Προγράμματα συλλογής «Από πόρτα-σε-πόρτα» υπολειμματικών αποβλήτων**

Τα προγράμματα συλλογής «από πόρτα-σε-πόρτα» ( door-to-door/curbside) υπολειμματικών αποβλήτων (residual waste/ wet waste), αποτελούν το κύριο μοντέλο διαχείρισης αποβλήτων των δήμων. Η συλλογή γίνεται έξω από τις κατοικίες και δεν συμπεριλαμβάνεται διαλογή των ανακυκλώσιμων από την πηγή (καταναλωτές). Όλα τα οικιακά απόβλητα (βιοαπόβλητα, ανακυκλώσιμα και μη) αποθηκεύονται σε σάκο απορριμμάτων και τοποθετούνται στη συνέχεια σε κάδο αποβλήτων. Η συλλογή αυτών των προγραμμάτων είναι συχνή, τα οχήματα έχουν ένα διαμέρισμα/ θάλαμο (compartment) και είναι εφοδιασμένα με μηχανισμό εκκένωσης των κάδων και ειδικά containers που συνοδεύονται από αντίστοιχα γερανοφόρα οχήματα για την μεταφορά των αποβλήτων. Η μεταφορά των

αποβλήτων αυτών γίνεται προς «βρώμικες» εγκαταστάσεις ανάκτησης υλικών (dirty MRFs).

#### **4.2.1.2. Προγράμματα συλλογής «Από πόρτα-σε-πόρτα» με διαλογή στη Πηγή**

Τα προγράμματα συλλογής «από πόρτα-σε-πόρτα» ( door-to-door/curbside) με διαλογή στη Πηγή (dry recyclables) είναι μικτών ή πολλαπλής ροής ανακυκλώσιμων και μπορούν να υλοποιηθούν με τέσσερις τρόπους:

- Συλλογή ενιαίας/ μικτής ροής ανακυκλώσιμων (door-to-door co-mingled), όπου όλα τα ανακυκλώσιμα μαζεύονται μαζί σε μία σακούλα (γυαλί, πλαστικό, χαρτί, αλουμίνιο) και αποθηκεύονται σε ένα κάδο.
- Συλλογή ξεχωριστών δύο ανακυκλώσιμων κλασμάτων (two-bin system), τα ανακυκλώσιμα συλλέγονται σε δύο κλάσματα, συνήθως το χαρτί συλλέγεται μόνο του σε ένα κάδο και σε τα υπόλοιπα ανακυκλώσιμα ως ένα κλάσμα.
- Συλλογή ξεχωριστών τριών ανακυκλώσιμων κλασμάτων (three-bin system), το χαρτί συλλέγεται μόνο του σε ένα κάδο, συνήθως και το γυαλί, και τα υπόλοιπα ανακυκλώσιμα ως ένα κλάσμα.
- Συλλογή ξεχωριστών ανακυκλώσιμων κλασμάτων (four-bin system) όπου όλα τα ανακυκλώσιμα συλλέγονται ως ξεχωριστά κλάσματα σε διαφορετικούς κάδους. Για το συγκεκριμένο πρόγραμμα, η συλλογή των ανακυκλώσιμων κλασμάτων συνήθως γίνεται διαφορετικές μέρες,

Τα οικιακά πλαστικά απόβλητα που συλλέγονται για ανακύκλωση σε αυτά τα προγράμματα συνήθως είναι φιάλες αναψυκτικών, νερού, σαμπουάν, γάλακτος ή πλαστικά ποτήρια/πιάτα, σακούλες πλαστικές, σωληνάρια οδοντόκρεμας, τετραπάκ από γάλα, πλαστικά ταψάκια, φίλμ περιτυλίγματος, πλαστικές θήκες cd/dvd, κεσεδάκια από γιαούρτι και βούτυρο κ.α.

Στις περισσότερες χώρες της ΕΕ, δεν θεωρούνται ανακυκλώσιμα τα προϊόντα από PVC και EPS, παρότι φέρουν το σήμα ανακύκλωσης. Όπως επίσης και τα πολυστρωματικά φιλμ, οι πολυστρωματικές συσκευασίες, τα κεσεδάκια από γιαούρτι και τα σωληνάρια οδοντόκρεμας.

Στα προγράμματα αυτά, συνήθως οι σακουλές συλλογής και οι κάδοι είναι διαφορετικού χρώματος ανάλογα με το εφαρμοζόμενο σύστημα. Η συχνότητα συλλογής εξαρτάται από τον εκάστοτε δήμο. Τα διαμερίσματα των οχημάτων μπορεί να έχουν ένα διαμέρισμα για τη συλλογή της ενιαίας ροής ή και δύο για τις υπόλοιπες. Ως προς τη συλλογή που τα ανακυκλώσιμα κλάσματα συλλέγονται όλα ξεχωριστά, τα οχήματα ποικίλουν ανάλογα τις υποδομές και τον τρόπο συλλογής, δηλαδή μπορεί να έχουν δύο διαμερίσματα και να γίνεται συλλογή μόνο των δύο κλασμάτων την μία φορά ή μπορεί συλλογή όλων μαζί σε όχημα με τέσσερα διαφορετικά διαμερίσματα.

Η μεταφορά των κλασμάτων ανακυκλώσιμων από όλα τα διαφορετικά συστήματα γίνεται προς καθαρές εγκαταστάσεις ανάκτησης υλικών (clean MRFs).

#### **4.2.1.3. Προγράμματα Απόθεσης( Drop-off/ Bring Points)**

Τα προγράμματα απόθεσης (Drop-off/ Bring Points) θεωρούνται περισσότερο εύκολα για οργάνωση καθώς τα σημεία είναι στατικά και έχουν χαμηλότερο κόστος σε σχέση με τα door-to-door ιδιαίτερα ως προς τα καύσιμα των οχημάτων και το απαιτούμενο εργατικό δυναμικό. Υλοποιούνται από τοπικές αρχές, ιδιωτικούς φορείς ή από μη κυβερνητικές οργανώσεις και αποτελούν μονής ροής κλάσμα πλαστικών αποβλήτων.

Ο ίδιος ο παραγωγός αποβλήτων, έχοντας κάνει διαλογή, μεταφέρει και αποθηκεύει το απόβλητο στο αντίστοιχο μέσο αποθήκευσης. Τα συστήματα drop-off/ bring points θεωρούνται κυρίως ως συμπληρωματικά της συλλογής door-to-door και μπορεί να στοχεύουν σε συγκεκριμένα υλικά που δεν καλύπτονται από τη συλλογή door-to-door. Τυπικά μέσα αποθήκευσης ενός drop-off κέντρου είναι τα ingloos ή οι κάδοι αποβλήτων με ροδάκια. Η συχνότητα συλλογής εξαρτάται από το πρόγραμμα, όπως και επίσης τα υπόλοιπα κλάσματα ανακυκλώσιμων που συγκεντρώνονται σε αυτό το σημείο.

Το πρόγραμμα αυτό όταν υλοποιείται από τοπικές αρχές περιλαμβάνει πολλά σημεία συλλογής και τα κλάσματα μεταφέρονται σε καθαρές εγκαταστάσεις ανάκτησης υλικών (clean MRFs) για διαλογή. Η συχνότητα συλλογής από τις τοπικές αρχές εξαρτάται από το πρόγραμμα, όπως επίσης και από τα υπόλοιπα κλάσματα ανακυκλώσιμων που συγκεντρώνονται στα ίδια σημεία.

Όταν υλοποιείται από ιδιωτικούς φορείς, συνήθως μεγάλα καταστήματα ή μη κυβερνητικές οργανώσεις, τα σημεία συγκέντρωσης είναι λιγότερα και τα πλαστικά απόβλητα που είναι δεκτά για ανακύκλωση είναι περιορισμένα. Συνήθως ανήκουν σε μια οικογένεια προϊόντων, για παράδειγμα όλες οι φιάλες και συσκευασίες που περιέχουν υγρά ή μόνο σακούλες και φίλμ. Το κλάσμα των ανακυκλώσιμων πλαστικών μεταφέρεται σε εγκαταστάσεις ανακύκλωσης (RFs) για περαιτέρω επεξεργασία.




#### **4.2.1.4. Προγράμματα επιστροφής χρημάτων ή παροχής κινήτρων**

Τα προγράμματα αυτά υλοποιούνται σε χώρες που έχουν νομοθετήσει το κατάλληλο υποστηρικτικό θεσμικό πλαίσιο. Προβλέπεται, για πλαστικές φιάλες ποτών, νερού κ.λπ. που ξαναγεμίζουν ή όχι, στα σημεία της πώλησης να παρακρατείται ένα τίμημα το οποίο επιστρέφεται στον καταναλωτή όταν επιστρέφεται η φιάλη. Τα προγράμματα αυτά, υλοποιούνται από ιδιωτικούς φορείς και μεγάλα καταστήματα. Ο καταναλωτής μεταφέρει και επιστρέφει το απόβλητο συνήθως σε αυτόματα μηχανήματα ή σημεία πώλησης, και του παρέχεται το αντίτιμο. Τα πιο κοινά είναι τα προγράμματα συλλογής φιαλών νερού και αναψυκτικών τύπου PET.

#### **4.2.2. Επιλογή Προγραμμάτων συλλογής**

Συνήθως σε μία κατοικημένη περιοχή εφαρμόζονται περισσότερα από ένα προγράμματα, άλλα σε κύριο και άλλα σε συμπληρωματικό ρόλο. Στο σχήμα 41 που ακολουθεί, φαίνονται τα προγράμματα συλλογής που εφαρμόζονται το 2015 σε συγκεκριμένες πρωτεύουσες της ΕΕ. Τα κενά κελιά υποδηλώνουν την απουσία του αντίστοιχου συστήματος στην πόλη.



Capital city	Door-to-door separate collection 	Door-to-door co-mingled 	Bring points 
Amsterdam	Paper/Cardboard: biweekly (pilot) Bio-waste: weekly		Paper/Cardboard, Plastic, Packaging, Glass
Athens	Bio-waste: biweekly	Paper/Cardboard, glass, plastic, metal: daily	Paper, glass
Berlin	Paper/Cardboard: varies Glass: 3/4-weekly Bio-waste: biweekly	Plastic, metal: weekly/biweekly	Glass
Bratislava			Paper, glass, plastic
Brussels	Paper/Cardboard: biweekly Glass: on demand Bio-waste: weekly	Plastic, metal, composites: biweekly	Glass
Bucharest			Paper, glass, plastic, metal
Budapest	Paper/Cardboard: weekly/4-weekly Bio-waste: weekly	Plastic, metal: 4-weekly	Paper, glass, plastic, metal
Copenhagen	Paper/Cardboard: biweekly/4-weekly Glass, metal, plastic, bio-waste: on demand		Glass
Dublin	Glass: weekly/bi-weekly Bio-waste: monthly	Paper/Cardboard plastic, glass, metal: weekly/biweekly	Paper, glass, metal
Helsinki	Paper/Cardboard: on demand Glass, metal: 4/8-weekly Bio-waste: varies		Paper/Cardboard, glass, metal
Lisbon	Paper/Cardboard: weekly Glass: 1-3 days per week		Paper/Cardboard, glass, plastic, metal

Σχήμα 41: Προγράμματα συλλογής σε συγκεκριμένες πρωτεύουσες της ΕΕ-28 (European Commission, 2015)

Όπως φαίνεται παραπάνω τα προγράμματα συλλογής πλαστικού από τις τοπικές αρχές διαφέρουν μεταξύ των χωρών της ΕΕ. Η υιοθέτηση συγκεκριμένων προγραμμάτων συλλογής από χώρα σε χώρα, εξαρτάται από το υφιστάμενο κάθε φορά θεσμικό πλαίσιο, από το κατά πόσο η ανακύκλωση πλαστικού είναι υποχρεωτική ή όχι, από τις υπάρχουσες υποδομές, τις τάσεις της αγοράς, τα κόστη, την ύπαρξη συμβάσεων με ιδιωτικούς φορείς, από δημογραφικούς καθώς και από πολιτιστικούς παράγοντες.

Τα προγράμματα συλλογής και μεταφοράς έχουν υψηλές απαιτήσεις σχεδιασμού και υλικοτεχνικής υποστήριξης (logistics) και επιπλέον απαιτείται ιδιαίτερη μέριμνα

προκειμένου να περιορίζονται στο ελάχιστο οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η οργάνωση της φάσης αυτής με τις προϋποθέσεις που προαναφέρθηκαν, είναι αυτή που κρίνει τελικά εάν η ανακύκλωση είναι οικονομικά ή περιβαλλοντικά εφικτή (Vezzoli, 2018).

Τα προγράμματα συλλογής πλαστικών προϊόντων από ιδιωτικούς φορείς, είναι σχετικά καινούργια και αναπτύχθηκαν από τις τάσεις της αγοράς, στο πλαίσιο της αρχής «ο ρυπαίνων πληρώνει» αλλά στη βάση των ρυθμίσεων περί Διευρυμένης Ευθύνης του Παραγωγού, ως προς τα πλαστικά προϊόντα μίας χρήσης (Οδηγία (ΕΕ) 2019/904, 2019). Σύμφωνα με την ίδια οδηγία, οι παραγωγοί<sup>23</sup> υποχρεούνται να καλύπτουν το κόστος ευαισθητοποίησης του κοινού, συλλογής δεδομένων καθώς και το κόστος περισυλλογής και διαχείρισης των πλαστικών αποβλήτων στα οποία περιλαμβάνονται:

- δοχεία τροφίμων,
- πλαστικές φιάλες (στόχος περισυλλογής πλαστικών φιαλών 77% έως το 2025 και 90% έως το 2029),
- κυπελάκια / φιάλες ποτών μαζί με τα καπάκια και καλύμματά τους,
- πακέτα και περιτυλίγματα,
- λεπτές σακούλες μεταφοράς καθώς και
- προϊόντα καπνού με φίλτρο.

Κατά τον (WRAP, 2009), η επιλογή του συστήματος συλλογής πρέπει να βασίζεται στην ποιότητα του υλικού και στην δυνητική του επεξεργασία με κλειστού βρόχου μηχανική ανακύκλωση, στην αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα καθώς και στην αποδοχή του από τους κατοίκους.

---

<sup>23</sup> Παραγωγός είναι κάθε φυσικό ή νομικό πρόσωπο, εγκατεστημένο σε κ- μ το οποίο κατασκευάζει, γεμίζει, πωλεί ή εισάγει επαγγελματικά, ανεξάρτητα από τη χρησιμοποιούμενη τεχνική πώλησης, και διαθέτει στην αγορά, του εν λόγω κ- μ, πλαστικά προϊόντα μίας χρήσης, ή γεμισμένα πλαστικά προϊόντα μίας χρήσης. Επίσης είναι κάθε φυσικό ή νομικό πρόσωπο εγκατεστημένο σε κ- μ ή σε τρίτη χώρα το οποίο πωλεί επαγγελματικά σε άλλο κ- μ, απευθείας σε νοικοκυριά ή χρήστες πλην των νοικοκυριών

### **4.2.3. Αποδοτικότητα συστημάτων συλλογής**

#### **4.2.3.1. Διαλογή Στη Πηγή**

Τα απορριφθέντα οικιακά πλαστικά προϊόντα πρέπει πρώτα να συλλεχθούν, και στη συνέχεια να μεταφερθούν σε χώρους ανάκτησης ή ανακύκλωσης. Το στάδιο της συλλογής μπορεί να περιλαμβάνει πολλές διαφορετικές οντότητες, συμπεριλαμβανομένων των τελικών χρηστών. Οι καταναλωτές είναι αυτοί που αποφασίζουν για το τέλος της ζωής των πλαστικών προϊόντων και που ενεργοποιούν την αλυσίδα ανακύκλωσης.

Ο βαθμός συμμετοχής των καταναλωτών στα προγράμματα συλλογής – και ουσιαστικά στο σύστημα ανακύκλωσης των οικιακών πλαστικών- εξαρτάται από πλήθος παραγόντων όπως είναι η περιβαλλοντική συνείδηση, ο βαθμός ενημέρωσης γύρω από τα ζητήματα του πλαστικού, η ύπαρξη κινήτρων ή υποχρεωτικών ρυθμίσεων, οι πολιτισμικές ιδιαιτερότητες καθώς επίσης και από δημογραφικά στοιχεία.

#### **4.2.3.2. Μέτρηση της αποδοτικότητας**

Σύμφωνα με (PLastic ZERO, 2012), η αποδοτικότητα ενός συστήματος συλλογής, προσδιορίζεται από την ποσότητα των υλικών-στόχος που συλλέγονται, είτε ως συνολική ποσότητα συλλεχθέντος υλικού ( Kg / νοικοκυριό / έτος) είτε ως ποσοστό σύλληψης (ποσοστό της δυνητικής ποσότητας του υλικού που έχει συλληφθεί από το σύστημα συλλογής).

### **4.3. ΑΝΑΚΤΗΣΗ - ΠΡΟ-ΔΙΑΛΟΓΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΩΝ**

Μετά τη συλλογή των οικιακών πλαστικών αποβλήτων, μέσω των αντίστοιχων προγραμμάτων, γίνεται η μεταφορά τους στις εγκαταστάσεις ανάκτησης υλικών (MRFs). Οι εγκαταστάσεις αυτές είναι εξειδικευμένα εργοστάσια που λαμβάνουν, διαχωρίζουν και προετοιμάζουν ανακυκλώσιμα υλικά για το εμπόριο (Themelis N. J., Boutsalas A. C., 2019) και, ανάλογα με το είδος των αποβλήτων που λαμβάνουν για διαλογή, χωρίζονται σε δύο γενικές κατηγορίες: σε καθαρές εγκαταστάσεις ανάκτησης υλικών (Clean MRF) και σε βρώμικες εγκαταστάσεις ανάκτησης υλικών (Dirty MRF). Οι βρώμικες MRF δέχονται μίκτες ροές αποβλήτων (ανακυκλώσιμων και

μη ανακυκλώσιμων) ενώ οι καθαρές δέχονται μόνο ανακυκλώσιμα υλικά, μικτά ή μεμονωμένα, που έχουν συλλεχθεί από προγράμματα door-to-door ή drop-off.

Στο στάδιο αυτό, που ορίζεται και ως προ-διαλογή, κρίνεται και η «ανακυκλωσιμότητα» ή όχι των εισερχόμενων πλαστικών κλασμάτων.

#### **4.3.1. Τεχνικές και τεχνολογίες ανάκτησης των MRFs**

Οι ροές αποβλήτων εισέρχονται στις MRFs όπου με συγκεκριμένες τεχνολογίες και τεχνικές επιτυγχάνεται διαχωρισμός των κλασμάτων των υλικών. Η λειτουργία των MRFs βασίζεται στη χειρωνακτική και στη μηχανική διαλογή. Η μηχανική διαλογή, που εφαρμόζεται στις εγκαταστάσεις MRF, ανήκει στην κατηγορία της μακρο-διαλογής (macro-sorting), βασίζεται στο μέγεθος των πλαστικών αντικειμένων, δεν προϋποθέτει συγκεκριμένη προετοιμασία των κλασμάτων αποβλήτων και επιτυγχάνει τον διαχωρισμό φιαλών, δοχείων, φιλμ, κ.λπ., συνήθως με αέρα υψηλής ταχύτητας (air blow –based).

Στο στάδιο αυτό, ο διαχωρισμός και η διαλογή γίνεται συνήθως με βάση το σχήμα, την πυκνότητα, το μέγεθος, το χρώμα ή τη χημική σύνθεση του υλικού (Ragaert K., 2017). Σε ότι αφορά τα προβλήματα που παρουσιάζει το στάδιο αυτό, συμπεριλαμβάνεται και η αδυναμία επεξεργασίας μεγάλων πλαστικών αντικειμένων καθώς και δυσκίνητων αποθεμάτων (Themelis N. J., Boutsalas A. C., 2019).

Το αποτέλεσμα της εξόδου από μια MRF εξαρτάται από το πρόγραμμα συλλογής και από την εστίαση ή όχι σε ένα είδος προϊόντος, όπως για παράδειγμα φιάλες ή δοχεία. Τα κλάσματα που εξέρχονται της MRFs, είτε είναι έτοιμα για ανακύκλωση στις αντίστοιχες εγκαταστάσεις, είτε κατευθύνονται για περαιτέρω διαλογή σε ειδικές εγκαταστάσεις ανάκτησης πλαστικού PRFs

##### **4.3.1.1. Χειρωνακτική διαλογή**

Η χειρωνακτική διαλογή (manual sorting) είναι η πιο κοινή τεχνική διαλογής και από τη στιγμή που είναι υψηλής εντάσεως εργασία είναι επίσης και δαπανηρή. Η χειροκίνητη διαλογή είναι ιδιαίτερα δύσκολη για τα πλαστικά, καθόσον οι τύποι των πολυμερών πρέπει να διαχωριστούν με βάση της σήμανσή τους. Τα πλαστικά όμως αντικείμενα, μπορεί να έχουν συνθλιβεί, τεμαχιστεί ή καλυφθεί, γεγονός που

συνήθως αχρηστεύει τη σήμανσή τους. Στις περιπτώσεις που τα αντικείμενα είναι ακέραια και ευδιάκριτα, όπως για παράδειγμα μια φιάλη νερού ή αναψυκτικού, τότε η διαλογή είναι πιο εύκολη.

#### **4.3.1.2. Τεχνικές μακρο-διαλογής**

##### **α. *Near- Infrared Spectroscopy (NIR) Φασματοσκοπία εγγύς υπέρυθρου.***

Θεωρείται από τις πλέον διαδεδομένες και προτιμώμενες μεθόδους διαλογής από την βιομηχανία ανακύκλωσης. Με τη μέθοδο αυτή, ένας κοντινός αισθητήρας υπέρυθρων διαχωρίζει τα πλαστικά με βάση τον τρόπο που αντανακλούν το φως, καθώς κάθε πολυμερές παρουσιάζει διαφορετικές ζώνες υπέρυθρης απορρόφησης. Μετά την αναγνώριση, τα πλαστικά απόβλητα διαχωρίζονται με πεπιεσμένο αέρα.

Πλεονεκτήματα της μεθόδου:

- Δεν είναι απαραίτητη η άμεση ή στενή επαφή μεταξύ ανιχνευτή και δείγματος (Themelis N. J., Boutsalas A. C., 2019).
- Επιτυγχάνονται υψηλές ταχύτητες σάρωσης, με δυνατότητα διαλογής αυξημένου όγκου πλαστικού σε μικρές χρονικές περιόδους. Επίσης, υπάρχει και η δυνατότητα πολλαπλού ελέγχου του ίδιου αντικειμένου σε σύντομο χρόνο.
- Οι ετικέτες και η βρωμιά δεν αποτελούν σημαντικά εμπόδια για το λόγο ότι το χρώμα δεν παίζει ρόλο στην κατάλληλη αναγνώριση.

Μειονεκτήματα:

- Τα πλαστικά μαύρου χρώματος δεν αναγνωρίζονται καθώς το μαύρο δεν παράγει χαρακτηριστικό φάσμα.

##### **β. *Ανάλυση ακτίνων Χ (Xray analysis)***

Βασίζεται στην ανάλυση των ανακλώμενων μηκών κύματος στην περιοχή των Ακτίνων Χ. Στα πλαστικά εφαρμόζεται κυρίως για διαλογή του PVC. Τα άτομα χλωρίου δίνουν μια μοναδική κορυφή στο φάσμα των Ακτίνων Χ που είναι άμεσα ανιχνεύσιμη (Themelis N. J., Boutsalas A. C., 2019) .

#### **γ. Αναγνώριση με τη βοήθεια λέιζερ(Laser aid identification).**

Με τη μέθοδο αυτή γίνεται ανάλυση της απόκρισης του υλικού, μετά από φωτισμό της επιφάνειάς του με λέιζερ. Μέσω θερμογραφικού συστήματος, είναι δυνατός ο υπολογισμός του συντελεστή απορρόφησης, της θερμικής αγωγιμότητας καθώς και η κατανομή της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του υλικού. Η ανάλυση των ιδιοτήτων αυτών οδηγεί στην αναγνώριση του τύπου του πολυμερούς.

Πλεονεκτήματα της μεθόδου:

- Η ταυτοποίηση δεν επηρεάζεται από το πάχος, το σχήμα και την επιφανειακή δομή των πλαστικών δοχείων.
- Οι εκτυπώσεις πάνω στα πλαστικά προϊόντα και τα πρόσθετα που περιέχουν δεν επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της μεθόδου.

Μειονεκτήματα:

- Χαμηλή ταχύτητα αναγνώρισης.
- Η παρουσία πληρωτικών (fillers) επηρεάζει την αναγνώριση.
- Δυσκολία αναγνώρισης με κριτήριο τη μέγιστη θερμοκρασία και λόγω όλων των παραπάνω μαζί.

#### **δ. Διαχωριστές μαγνητικοί και δινορεύματος (Magnetic and Eddy current separations).**

Οι συγκεκριμένες μέθοδοι χρησιμοποιούνται τόσο στο στάδιο της προ-διαλογής/ανάκτησης των ανακυκλώσιμων, όσο και στο στάδιο της ανακύκλωσης. Ο διαχωρισμός των σιδηρούχων κλασμάτων γίνεται με την χρήση μαγνητών και των μη σιδηρούχων με τη χρήση τεχνολογίας δινορεύματος. Ένα δινόρευμα (Eddy current), είναι ένα ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται όταν αλλάζει το μαγνητικό πεδίο εντός ενός αγωγού.

##### **4.3.1.3. Τεχνικές micro-sorting**

Η μικρο-διαλογή περιλαμβάνει ένα σύνολο διεργασιών που διευκολύνουν τον διαχωρισμό των ανακυκλώσιμων πλαστικών, όπως με θρυμματισμό για απομάκρυνση των μολυσματικών, τεχνολογίες διαλογής βάσει της πυκνότητας των πολυμερών, μείωση των απαιτήσεων αποθήκευσης κ.λπ.

Στο σχήμα 42 απεικονίζονται διάφορες τεχνολογίες και τεχνικές θρυμματισμού.

**Recycling Technologies, Table 13** Characteristics of the comminution units mainly utilized to perform waste plastic shredding

Comminution units	Characteristics
<i>Hammer mills (HM)</i>	Movable hammers mounted on a rotating shaft hit and/or throw plastic against the mill chamber or the other waste-fed material. As a result comminution is realized. Particles are recycled inside the hammer until they do not reach a size lower than the aperture of a grid installed at the exit of the mill chamber. HM can handle without problems metal contaminants; high energy is required, milled particles are not uniform and the process produces a lot of noise
<i>Ring mills (RMs)</i>	A RM is usually constituted by a steel rolling blade. This blade chops and grinds the plastic that is placed inside the roller. After it has been ground up to the desired size, it falls through the small holes located beneath the rolling blade
<i>Shear shredders (SS)</i>	This machine uses one or more rotating shafts, each with a set of cutting disks or knives mounted closely together on the shaft(s) that sits in a chamber at the bottom of a feed hopper. As the shaft rotates, the cutting devices pull the material down through the small spaces between the cutting disks/knives and the surrounding chamber
<i>Two- or four-shaft shear shredders (TSSS or FSSS)</i>	The equipment can be composed by two- or four-shaft shredder with rotary blades (e.g., sharp-corner disks provided with hooks) and spacer combs, which keep the tools clean and make material unloading easy. Once the material goes into the hopper, the shredder catches the material and begins to cut it grossly. Thanks to the high cutting torque and the different conformation of the cutter's group, it is possible to shred pieces made of different materials. FSSS can handle metal contaminants; relatively low energy is required, particles are well liberated, good size control, throughput rate is lower in comparison with conventional shredding machine without screen, and high maintenance cost
<i>Granulators (Gn)</i>	The main feature of Gn is represented by the rotor conformation provided with short blades with staggered arrangement. During rotation every tool scratches the material and makes the final shredding. Gn are particularly efficient when material characterized by high thickness and resistance has to be cut. They realize a good liberation of the materials and a high throughput; they cannot handle metals (e.g., contaminants) and are characterized by high maintenance costs
<i>Cryogenic comminution units (CCU)</i>	CCU realize a fine grinding by using liquid nitrogen; usually the material is blended with liquid nitrogen to provide sub-zero temperature level up to $-150^{\circ}\text{C}$ , to cool the material in a grinding mill. The cryogenic process produces fairly smooth fracture surfaces. Little or no heat is generated in the process. This results in less degradation of the rubber. Even if the price of liquid nitrogen has come down significantly, recently the process is always characterized by high operative costs. CCU are thus ideal for fine pulverizing of thermoplastic and heat-sensitive materials; they also allow to reach an excellent liberation of the materials

Σχήμα 42: Τεχνικές και τεχνολογίες θρυμματισμού

#### 4.3.1.4. Ταξινόμηση των MRFs με βάση τις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες διαλογής

Με βάση την τεχνολογία διαλογής που χρησιμοποιείται, οι MRFs μπορούν να χαρακτηριστούν ως «μικρές» με χειρωνακτική διαλογή, «μεσαίες» με περισσότερο μηχανική και αυτοματοποιημένη διαλογή ή «μεγάλες» με βαριά μηχανική και αυτοματοποιημένη διαλογή. Οι κατηγορίες αυτές των MRF είναι ενδεικτικές και υπάρχουν πολλές εξαιρέσεις ειδικότερα σε ότι αφορά το βαθμό αυτοματοποίησής τους. Συνήθως, οι αυτοματοποιημένες μονάδες που απαιτούν και υψηλές

επενδύσεις σε μηχανολογικό εξοπλισμό, είναι μεγάλες εγκαταστάσεις με δυνατότητα ταξινόμησης του πλαστικού σε μεγαλύτερο αριθμό κλασμάτων πολυμερών με υψηλή απόδοση, καθιστώντας οικονομικά βιώσιμη την περαιτέρω επένδυση σε περισσότερο εξελιγμένες τεχνολογίες οπτικής διαλογής για τον εντοπισμό διαφορετικών τύπων πολυμερών (WRAP, 2012).

#### **4.3.2. Ανάκτηση υλικών από βρώμικη MRF μέσω προγράμματος συλλογής χωρίς Διαλογή στη Πηγή**

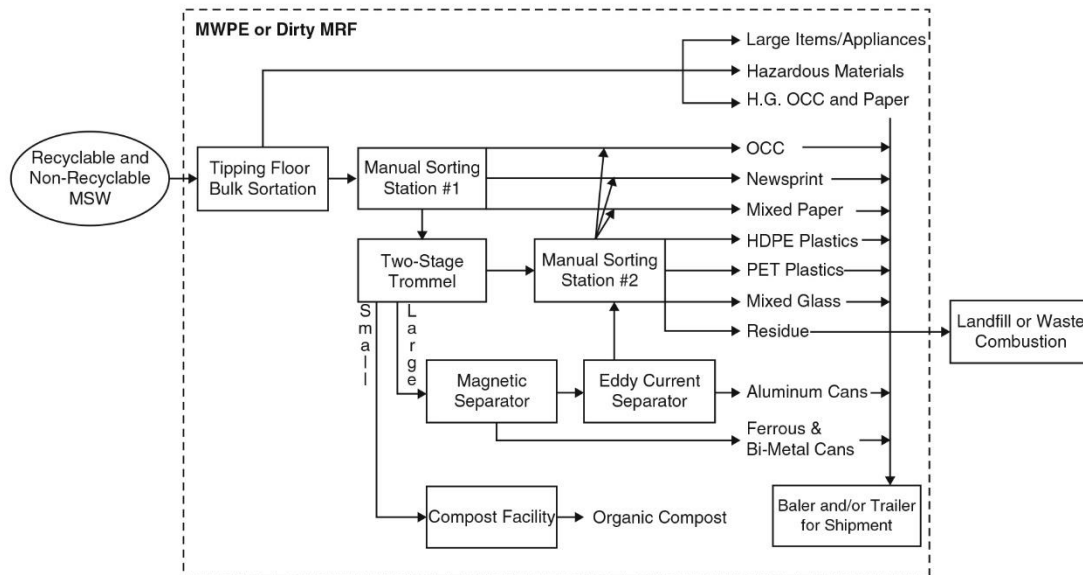
Ενώ γενικά η ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών στις βρώμικες εγκαταστάσεις MRF παρουσιάζει υψηλά ποσοστά, για τα πλαστικά απόβλητα αυτό δυστυχώς δεν ισχύει με μόνη εξαίρεση τις φιάλες PET ή HDPE, καθώς η διαλογή τους είναι περισσότερο εύκολη. Τα ταξινομημένα ανακυκλώσιμα υλικά μπορούν να υποβληθούν σε περαιτέρω επεξεργασία, που είναι αναγκαία για την κάλυψη των τεχνικών προδιαγραφών που καθορίζονται από τις τελικές αγορές, αλλά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές σε σχέση με τρόφιμα. Οι απαιτήσεις για τα ανακυκλωμένα υλικά, ως προς την ποιότητα και τα επίπεδα μόλυνσης, είναι πολύ υψηλές για να έχουν εκ νέου εφαρμογή σε σχέση με τρόφιμα.

Η ποιότητα των κλασμάτων των πλαστικών αποβλήτων μέσα στο ρεύμα είναι πολύ χαμηλή λόγω των μολύνσεων και της ανάμιξης τους με πλαστικά που δεν ανακυκλώνονται. Η διαλογή για την περίπτωση αυτών των ρευμάτων είναι πολύ δαπανηρή. Το μικτό αυτό κλάσμα πλαστικού έχει χαμηλές μηχανικές ιδιότητες και τα πολυμερή μπορεί να είναι μη συμβατά μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται τελικά για καύση, ως Refused Derived Fuel (RFS) για τη παραγωγή ενέργειας ή θερμότητας, ή να οδηγείται για υγειονομική ταφή.

Στο σχήμα 43 που ακολουθεί, αποτυπώνεται η ροή του υλικού σε μια βρώμικη εγκατάσταση ανάκτησης υλικών. Το εισερχόμενο ρεύμα μικτών αποβλήτων πρώτα ταξινομείται βάσει όγκου, όπου διαχωρίζονται τα μεγάλα απόβλητα, και μετά περνά στο πρώτο στάδιο χειρωνακτικής διαλογής, με το χαρτί, τα χαρτόνια και τις εφημερίδες να δημιουργούν ξεχωριστά κλάσματα αποβλήτων. Τα απόβλητα περνούν από ένα μηχάνημα διαλογής, το two-stage trommel, το οποίο αποτελεί σύστημα διαχωρισμού μέσω διαφορετικού μεγέθους οπών, και διαχωρίζονται σε ξεχωριστά κλάσματα. Στη συνέχεια, μέσω χειρωνακτικής διαλογής, τα πλαστικά απόβλητα



διαχωρίζονται βάσει του σήματος ανακύκλωσης (όπου αυτό είναι εφικτό), σε HDPE και PET κλάσματα, τα οποία στη συνέχεια δεματοποιούνται με συμπίεση (baler) ή αποθηκεύονται σε trailer, και ετοιμάζονται για μεταφορά. Τα υπολειμματικά πλαστικά οδηγούνται για καύση ή υγειονομική ταφή.



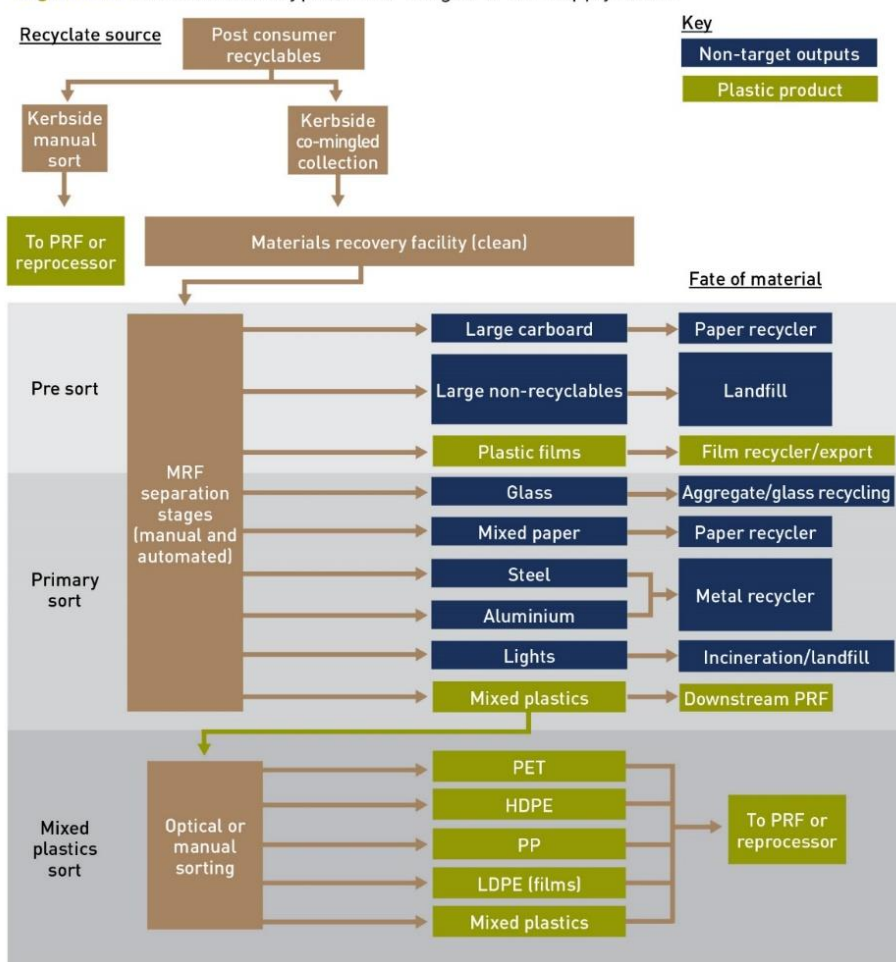
Σχήμα 43: Διάγραμμα ροής υλικών σε μια βρώμηκη MRF (themelis)

### 4.3.3. Ανάκτηση υλικών σε Καθαρή MRF, μέσω προγραμμάτων συλλογής με Διαλογή στη Πηγή

#### 4.3.3.1. Οι διαφορετικές διαδρομές των ανακυκλώσιμων ρευμάτων καθαρού πλαστικού και μικτών ανακυκλώσιμων υλικών.

Με δεδομένο ότι υπάρχει ξεχωριστή συλλογή ανακυκλώσιμων υλικών υπάρχουν δύο δυνατότητες για τα πλαστικά: συλλογή αποκλειστικά κλασμάτων πλαστικού μέσω προγραμμάτων door-to-door με σύστημα τεσσάρων κάδων ή drop – off points μόνο για πλαστικά και συλλογή μικτών ανακυκλώσιμων στα οποία συγκαταλέγονται και τα πλαστικά. Αυτά τα δύο ξεχωριστά ρεύματα, όπως φαίνεται στο σχήμα 44 ακολουθούν διαφορετικές διαδρομές σε ότι αφορά τις δυνητικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας τους. Το κλάσμα που αποτελείται μόνο από πλαστικά οδηγείται σε εγκαταστάσεις ανάκτησης πλαστικών υλικών ή κατευθείαν σε εγκαταστάσεις ανακύκλωσης. Το δεύτερο κλάσμα, δηλαδή τα μικτά ανακυκλώσιμα υλικά, οδηγείται σε καθαρές εγκαταστάσεις ανάκτησης υλικών.

**Figure 3.1** Collection and typical MRF stages of the supply chain



Σχήμα 44: Διαδρομές του πλαστικού ανάλογα με τη μέθοδο συλλογής

Πολλά απόβλητα πλαστικών δεν ταξινομούνται επί του παρόντος και αποστέλλονται στον χώρο υγειονομικής ταφής λόγω του κόστους και της δυσκολίας διαχωρισμού των διαφόρων τύπων πλαστικών σε ξεχωριστά ρεύματα. Τα ανακτημένα πλαστικά στις MRFs, αποθηκεύονται έως ότου πωληθούν για περαιτέρω επεξεργασία σε εγκαταστάσεις ανακύκλωσης ή PRFs. Η δυνατότητα αποθήκευσης των εγκαταστάσεων επηρεάζει περαιτέρω την ποιότητα των ανακτημένων πλαστικών, αν βρίσκονται σε εξωτερικούς χώρους, υγρασία, ήλιο, βροχή ή εσωτερικούς χώρους.

Γενικότερα, η έξοδος από τις διαδικασίες χωριστής συλλογής ή MRF μπορεί να είναι:

- Πολυμερή δεματοποιημένα που αποστέλλονται σε εγκαταστάσεις ανακύκλωσης (RFs).

- Δεματοποιημένα ή κοντέινερ πολυμερών που εξάγονται.
- Πολυμερή που τροφοδοτούνται σε εγκαταστάσεις ανάκτησης πλαστικών υλικών PRF για περαιτέρω ταξινόμηση.

#### **4.3.3.2. Καθαρές εγκαταστάσεις ανάκτησης πλαστικών και λοιπών υλικών**

Τα οικιακά πλαστικά απόβλητα που συλλέγονται με Διαλογή στην Πηγή, μεταφέρονται σε καθαρές MRF. Τα κλάσματα των αποβλήτων αποτελούνται από μικτά πλαστικά, άγνωστης σύνθεσης, τα οποία είναι μολυσμένα από υπολείμματα τροφών ή από μη-πολυμερή ανόργανα κλάσματα άλλων υλικών. Μια γενική εκτίμηση της σύστασης των πλαστικών αποβλήτων μπορεί να γίνει βάσει της ζήτησης που έχουν τα διαφορετικά είδη πολυμερών για την παραγωγή προϊόντων. Ωστόσο, η ακριβής εκτίμηση των ποσοτήτων και της σύστασης των πλαστικών αποβλήτων είναι εφικτή μόνο μέσω των προγραμμάτων συλλογής των πλαστικών ανακυκλώσιμων.

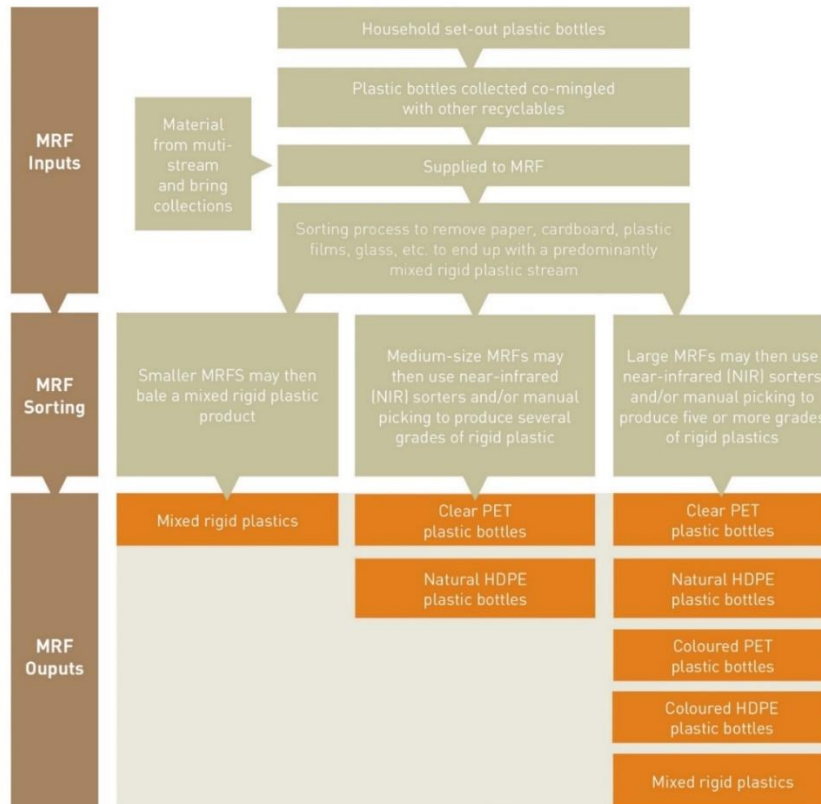
Όταν τα αναμεμιγμένα υλικά εισάγονται στη MRF, τα μεγαλύτερα και ογκώδη αντικείμενα όπως πλαστικές μεμβράνες και χαρτόνι αφαιρούνται χειροκίνητα στο στάδιο πριν τη διαλογή, και είτε πωλούνται απευθείας είτε προστίθενται στα εναπομένοντα απόβλητα προς απόρριψη. Το ρεύμα αποβλήτων στη συνέχεια περνά από μια σειρά χειροκίνητων και αυτοματοποιημένων διαδικασιών διαλογής για την αφαίρεση άλλων ανακυκλώσιμων υλικών υψηλότερης αξίας.

Οι άκαμπτες πλαστικές συσκευασίες και οι πλαστικές φιάλες, είτε θα διαχωριστούν με το χέρι, είτε με αυτοματοποιημένη διαδικασία οπτικής διαλογής, που θα στοχεύει τους τύπους πλαστικών που προτιμούν οι ανακυκλωτές. Οι υπεύθυνοι της εγκατάστασης, μπορούν να αποφασίσουν να συμπεριλάβουν ειδικά στάδια διαλογής για δοχεία PET και HDPE (τα πιο κοινά και κερδοφόρα πλαστικά στο ρεύμα ανακύκλωσης οικιακής χρήσης), τα οποία είναι εύκολο να πωληθούν με καλές αποδόσεις.

Η άκαμπτες πλαστικές συσκευασίες περιλαμβάνουν υψηλή αναλογία πολυμερούς PP και ορισμένων PS. Όταν στην ροή εισόδου εισέρχονται σημαντικές αναλογίες αυτών, η στόχευση του HDPE και του PET ως ξεχωριστών ροών μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλες απώλειες υλικών.

Οι διαθέσιμες τεχνολογίες και οι τεχνικές ανάκτησης που εφαρμόζονται στην εγκατάσταση και τα πρόγραμμα συλλογής των πλαστικών αποβλήτων, είναι οι βασικοί συντελεστές που καθορίζουν τελικά την έξοδο των εγκαταστάσεων ανάκτησης, και κατ' επέκταση την έξοδο της αλυσίδας ανακύκλωσης του πλαστικού.

Στο σχήμα 45 που ακολουθεί, φαίνεται η εξάρτηση που έχουν τα προγράμματα συλλογής με τις τεχνικές δυνατότητες των εγκαταστάσεων, προκειμένου να υπάρχουν στην έξοδο οι κατάλληλοι τύποι πλαστικών κλασμάτων. Τα προγράμματα συλλογής πλαστικών door-to-door και drop-off, περιλαμβάνουν πλαστικές φιάλες και δοχεία σε συνδυασμό με άλλα κλάσματα ανακυκλώσιμων. Οι ροές των αποβλήτων εισέρχονται στις εγκαταστάσεις ανάκτησης υλικών και ανάλογα με το μέγεθος και τον διαθέσιμο τεχνολογικό εξοπλισμό των MRFs, υπάρχει και διαφορετική έξοδος υλικών. Στις μικρές MRF, η έξοδος συνήθως είναι ένα μικτό κλάσμα άκαμπτων πλαστικών, στις μεσαίες μονάδες φιάλες καθαρού PET και φυσικού HDPE και τέλος στις μεγάλες MRF η έξοδος περιλαμβάνει όλα τα προηγούμενα είδη και επιπλέον φιάλες έγχρωμου PET.

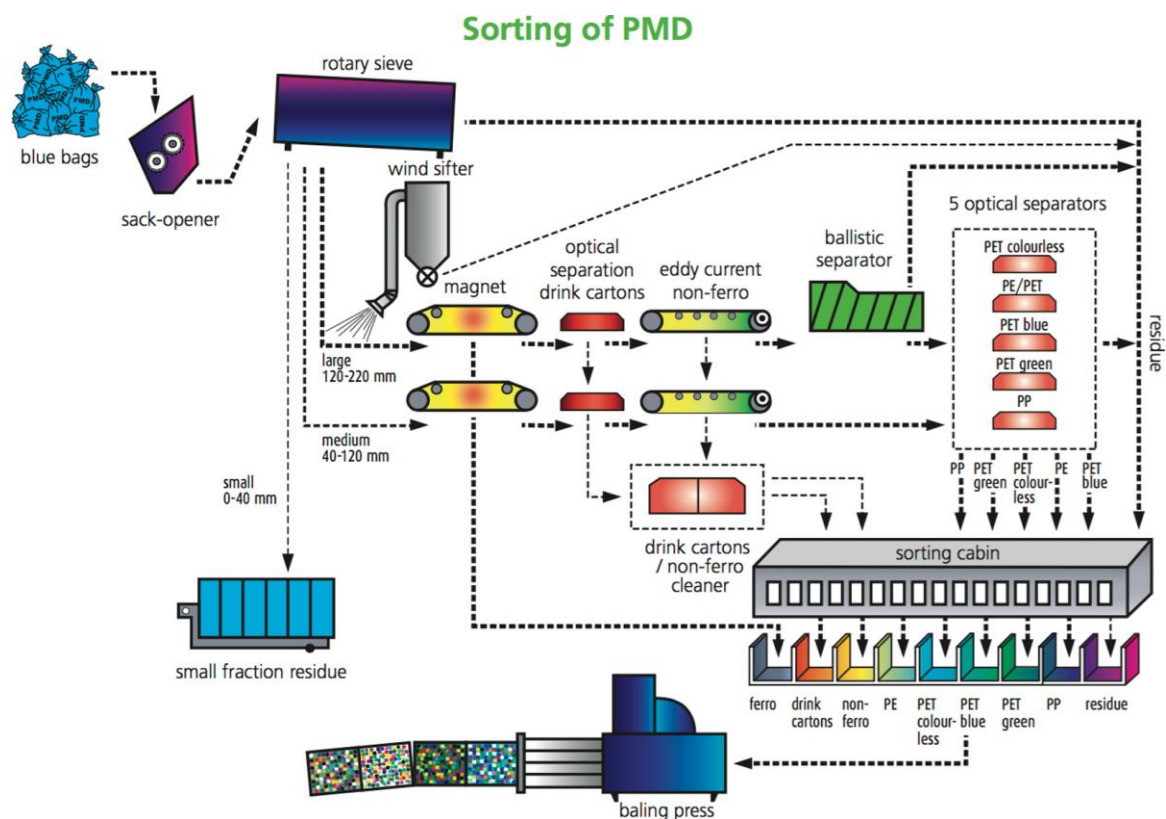


Σχήμα 45: Διαλογή στη Πηγή φιαλών – ροή κλασμάτων βάση μεγέθους της MRF (WRAP, 2012)

### 4.3.3.3. Παραδείγματα ανάκτησης πλαστικού από μικτά ανακυκλώσιμα σε καθαρές εγκαταστάσεις ανάκτησης υλικού

#### 4.3.3.3.1. Με τεχνική και τεχνολογία macro-sorting

Στο σχήμα 46 φαίνεται το σύνολο των επεξεργασιών που λαμβάνουν χώρα στις εγκαταστάσεις της εταιρείας Indaver του Βελγίου για την ανάκτηση του πλαστικού. Η εισερχόμενη ροή αποβλήτων προέρχεται από το πρόγραμμα δημοτικής συλλογής που ονομάζεται PMD (Πλαστικά, Μέταλλα και συσκευασίες ποτών από χαρτόνι). Τα απόβλητα τοποθετούνται στους κάδους από τους καταναλωτές, μέσα σε σακούλες μπλε χρώματος. Τα πλαστικά που οδηγούνται προς ανακύκλωση βάσει του προγράμματος αυτού, είναι φιάλες νερού, γάλακτος, αναψυκτικών καθώς επίσης σαπουνιών και απορρυπαντικών.



Σχήμα 46: Διαλογή των απορριμμάτων PMD, πηγή (Ragaert K., 2017)

Όταν τα πλαστικά φθάσουν στην εγκατάσταση, οι μπλε σακούλες κόβονται και τα απόβλητα εισέρχονται σε ένα περιστρεφόμενο σύστημα ταξινόμησης μέσω

διαφορετικού μεγέθους οπών (rotary sieve). Τα μικρά αντικείμενα, από 0-40mm, καταλήγουν στο κλάσμα των υπολειμματικών αποβλήτων ενώ τα μεσαίου (40-120 mm) και μεγάλου μεγέθους (120-220 mm) χωρίζονται σε διαφορετικά κλάσματα. Με τη βοήθεια αέρα υπό πίεση, αφαιρούνται οι χαλαρές ετικέτες και οι πλαστικές σακούλες οι οποίες βρίσκονται στο κλάσμα γιατί κατά λάθος απορρίφθηκαν από τον καταναλωτή μαζί με τα πλαστικά-στόχος. Στη συνέχεια, τα κλάσματα περνούν αρχικά από έναν μαγνητικό διαχωριστή, για την ανάκτηση των σιδηρούχων μετάλλων, στη συνέχεια από έναν οπτικό διαχωριστή για την ανάκτηση των τετραπάκ και από διατάξεις τεχνολογίας δινορέυματος για την ανάκτηση των μη σιδηρούχων μετάλλων, κυρίως αλουμινίου. Τα ανακτημένα κλάσματα αποθηκεύονται και τα εναπομείναντα πλαστικά απόβλητα συνεχίζουν τη διαδρομή τους στις εγκαταστάσεις της εταιρείας προκειμένου να ολοκληρωθεί η διαλογή τους.

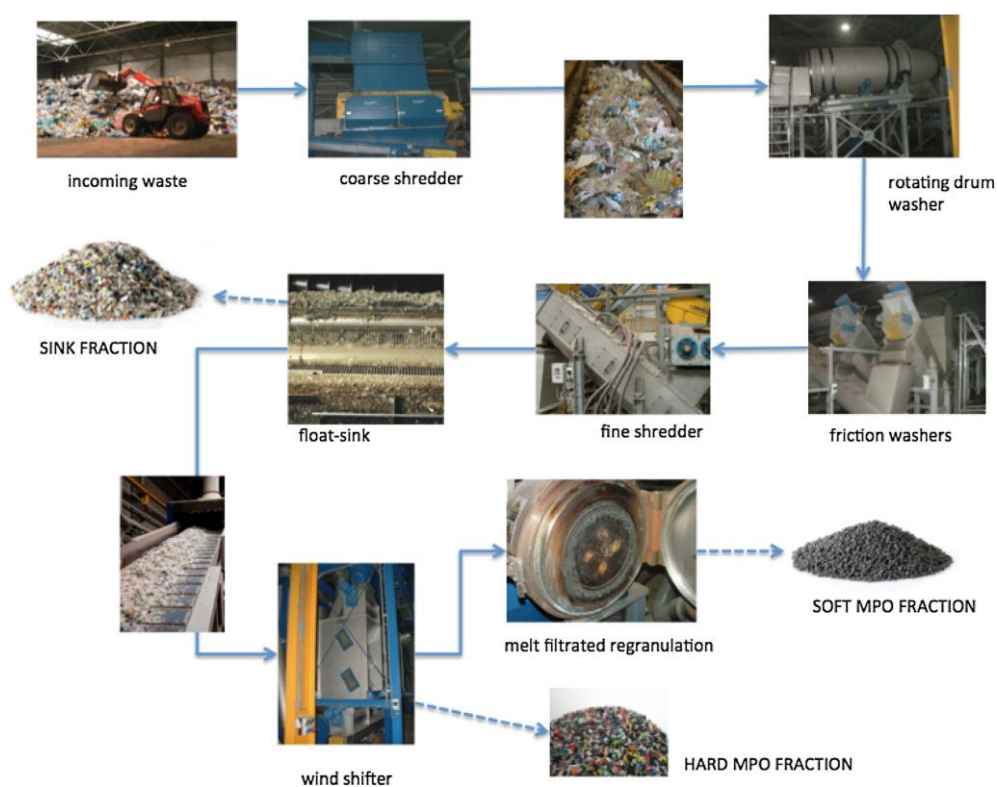
Με την βοήθεια του βαλλιστικού διαχωριστή (εκτόξευση πεπιεσμένου αέρα) αφαιρούνται όλες τις σακούλες και τα φιλμ, τα οποία καταλήγουν στο κλάσμα των υπολειμμάτων. Στη συνέχεια, μέσω τεχνολογίας NIR και άλλων οπτικών διαχωριστών, τα πλαστικά διαχωρίζονται σε διαυγή PET, μπλε PET, πράσινα PET, PP και PE. Στο τελικό στάδιο, τα ταξινομημένα ρεύματα περνούν μέσα από μια καμπίνα διαλογής - ταξινόμησης, όπου εκπαιδευμένοι χειριστές με χειρωνακτική διαλογή, διορθώνουν τα πιθανά λάθη των αυτοματοποιημένων διαδικασιών.

Από την ανάλυση των στοιχείων εξόδου της εταιρείας, προκύπτει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του πλαστικού που ανακτάται αντιστοιχεί στο PET, ακολουθούμενο από το HDPE, ενώ το PP (κυρίως καπάκια) αντιστοιχεί στο μικρότερο ποσοστό. Το PET στη συνέχεια δεματοποιείται ανάλογα με το χρώμα (διαυγές, μπλε και πράσινο) όπως επίσης δεματοποιούνται το HDPE και το κλάσμα των υπολειμματικών με σκοπό την αποθήκευση ή τη μεταφορά τους.

#### **4.3.3.3.2. Με τεχνική και τεχνολογία *micro-sorting***

Η εταιρία Eco-oh! διαθέτει μια μεσαίου μεγέθους εγκατάσταση ανάκτησης πλαστικών, η οποία δέχεται μικτές ροές ανακυκλώσιμων αποβλήτων και για την ανάκτηση των πλαστικών χρησιμοποιεί τεχνικές *micro-sorting*.

Στις εγκαταστάσεις της εταιρείας, σχήμα 47, το κλάσμα των αποβλήτων φορτώνεται σε ένα σύστημα μάντα που το περνά από τα διαδοχικά στάδια επεξεργασίας προς διαλογή. Το κλάσμα, πρώτα περνά από έναν τεμαχιστή (crude shredder) ο οποίος μειώνει τα αντικείμενα σε μέγεθος γροθιάς. Στη συνέχεια, μεταφέρονται σε σιλό το οποίο τροφοδοτεί μια περιστρεφόμενη διάταξη (rotating drum washer) η οποία τα διαχωρίζει σε μέταλλο, γυαλί, πλαστικό με τη βοήθεια της βαρύτητας ενώ ταυτόχρονα αυτά πλένονται με νερό. Το μέταλλο και το γυαλί αποθηκεύονται ως ξεχωριστά κλάσματα ενώ τα πλαστικά απόβλητα συνεχίζουν την πορεία τους στο σύστημα: διοχετεύονται στη συνέχεια σε ένα σύστημα πλύσης με βάση την τριβή (friction washer) για την απομάκρυνση των οργανικών αποβλήτων, τεμαχίζονται περαιτέρω σε νιφάδες μεγέθους περίπου 1-12 mm, υπόκεινται εκ νέου σε διαδικασία πλύσης με τριβή για να οδηγηθούν στο πρώτο στάδιο του διαχωρισμού των πολυμερών με βάση την πυκνότητα, χρησιμοποιώντας την τεχνική επίπλευσης-βύθισης. Σε δεξαμενή νερού, τα πολυμερή PP και PE επιπλέουν, ενώ τα άλλα πολυμερή όπως το PET, PS, και PVC βυθίζονται.



Σχήμα 47: Ανάκτηση πλαστικών της εταιρείας Eco-oh!

Το κλάσμα που επιπλέει, PP και PE, είναι επίσης γνωστό ως μικτές πολυολεφίνες ή MPO. Το κλάσμα που βυθίζεται, περνά από έναν ισχυρό μαγνήτη για την απομάκρυνση των σιδηρούχων υπολειμμάτων και από μηχανικό στεγνωτήριο και είναι έτοιμο ως δευτερογενής πρώτη ύλη, που είναι ένα μίγμα τεχνικών πλαστικών (Ragaert K., 2017).

Το κλάσμα που επιπλέει, στεγνώνεται και συνεχίζει σε ένα διαχωριστή αέρα, που διαχωρίζει τα σωματίδια ανάλογα με τη μάζα τους. Με την ταχύτητα του αέρα διαχωρίζονται τα «ελαφριά» σωματίδια, δηλαδή φύλλα και φιλμ τα οποία αποτελούνται συνήθως από LDPE και PP, από τα «βαριά», δηλαδή το κλάσμα MPO (υπόλοιπο PP και HDPE) που είναι τώρα έτοιμο ως δευτερογενής πρώτη ύλη. Το μαλακό κλάσμα MPO (LDPE και ορισμένα PP) έχει πολύ χαμηλή πυκνότητα για να χρησιμοποιηθεί απευθείας από τους μετατροπείς, οπότε υποβάλλεται σε επεξεργασία επαναδιάλυσης (με διήθηση τήγματος) με εξώθηση προκειμένου να διατεθεί ως δευτερογενής πρώτη ύλη (Ragaert K., 2017).

#### **4.3.3.4. Εγκαταστάσεις ανάκτησης αποκλειστικά πλαστικών υλικών (*plastic recovery facilities-PRFs*)**

Οι εγκαταστάσεις ανάκτησης πλαστικών υλικών (*plastic recovery facilities-PRFs*) αποτελούν ένα είδος ειδικής καθαρής εγκατάστασης ανάκτησης υλικών, που ειδικεύεται στην ανάκτηση και εξειδικευμένη διαλογή πλαστικών, καθώς δέχεται μόνο ροές πλαστικών αποβλήτων. Σε πολλές περιπτώσεις, οι μονάδες αυτές έχουν επενδύσει σε τεχνολογίες ώστε οι επεξεργασίες του πλαστικού να καλύπτει και το στάδιο της εξώθησης και σφαιροποίησης (*pelletizing*) των ανακυκλωμένων πολυμερών, προκειμένου το αποτέλεσμα της παραγωγής να είναι υψηλής ποιότητας ανακυκλωμένα πολυμερή.

Οι εγκαταστάσεις ανάκτησης πλαστικών, όπως και οι εγκαταστάσεις ανακύκλωσης υλικών (RFs), χρησιμοποιούν συνδυασμό τεχνικών *macro-sorting* και *micro-sorting*.

#### **4.3.3.5. Σύνθεση κλασμάτων πλαστικών**

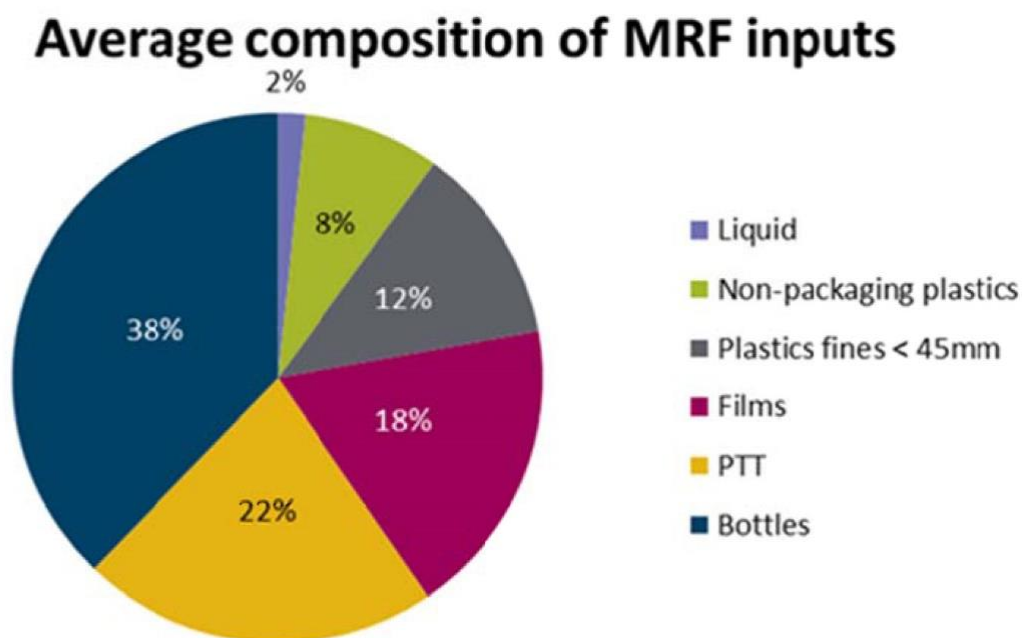
Τα οικιακά πλαστικά απόβλητα είναι ένα εξαιρετικά ετερογενές ρεύμα αποβλήτων, καθώς περιλαμβάνει μια ποικιλία διαφορετικών τύπων και σχεδίων προϊόντων. Οι τεχνικές διαδικασιών ανάκτησης και διαλογής πλαστικών εξαρτώνται



από το εισερχόμενο ρεύμα αποβλήτων ανακυκλώσιμων, δηλαδή σε ποια πλαστικά προϊόντα γίνεται εστίαση, από τα προγράμματα συλλογής και από τις εγκαταστάσεις, για ανακύκλωση.

Το 2015, βάση δειγματοληψιών της σύνθεσης των εισερχόμενων αποβλήτων στις MRFs<sup>24</sup> ως προς τα προϊόντα (WRAP, 2015), έδειξε ότι οι φιάλες συνθέτουν το 38% των πλαστικών ανακυκλώσιμων, τα ΡΤΤ (δοχεία, κουτιά και δίσκοι) το 22% και τα φιλμ να αποτελούν το 18% (γράφημα χ)<sup>25</sup>.

Στο σχήμα 47β, τα «non-packaging plastics» είναι τα αμιγώς πλαστικά μικροαντικείμενα οικιακής χρήσης (επιτραπέζια σκεύη μίας χρήσης είδη θήκες CD, είδη καθαριότητας κ.ά.). Επειδή το κλάσμα αυτό αποτελείται από διάφορα προϊόντα και μεγέθη, και λόγω του ποσοστού συμμετοχής του μέσα στο ρεύμα των ανακυκλώσιμων (8%), καταλήγει στα υπολειμματικά απόβλητα.



Σχήμα 47β: Μέση σύνθεση των εισερχόμενων ραών πλαστικών των MRFs (WRAP, 2015)

<sup>24</sup> Οι MRFs είναι 12 σε αριθμό και όλες δέχονται μικτό κλάσμα ανακυκλώσιμων

<sup>25</sup> Plastic fines: Τα υλικά που έπεσαν μέσω συρμάτινου πλέγματος 45mm x 45mm και καταλήγουν στα υπολειμματικά.

Liquid: Τα υγρά που περιέχονται μέσα στην πλαστική συσκευασία που υποβλήθηκε σε δειγματοληψία.

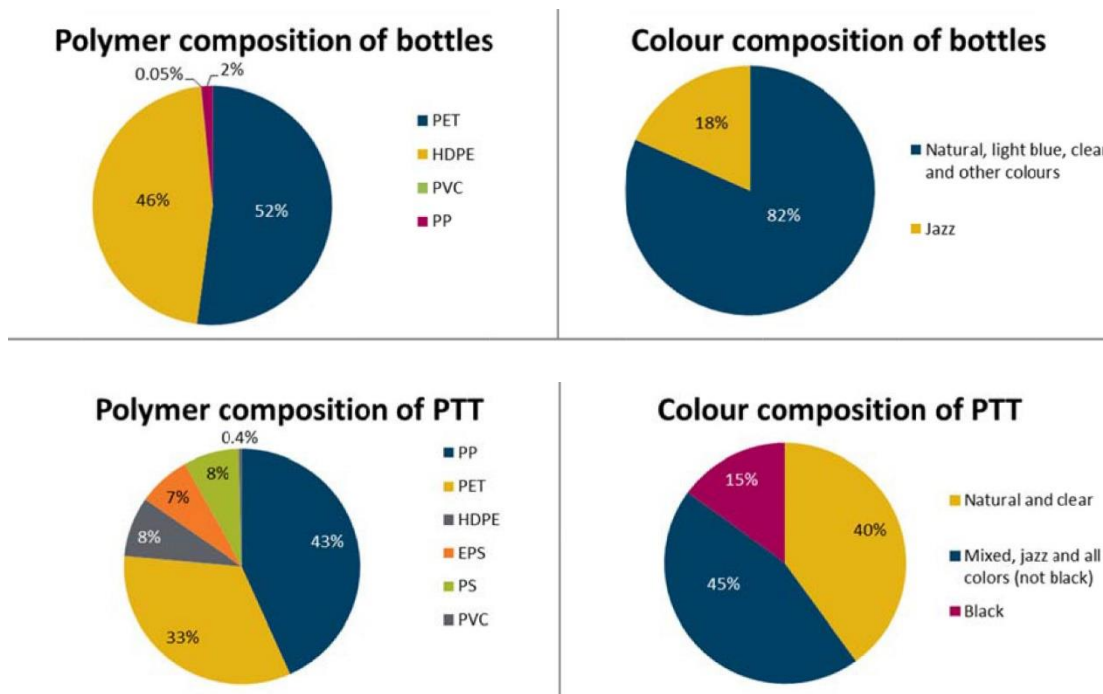
Ως προς την μέση συγκέντρωση των πολυμερών κατά βάρος μέσα στα κλάσματα αποβλήτων, η δειγματοληψία έδειξε ότι το κλάσμα από PET έχει τη μεγαλύτερη (36%), και ότι το δεύτερο σε συγκέντρωση είναι το HDPE (23%). Επίσης, έδειξε ότι ένα μεγάλο ποσοστό πολυμερών είναι μη αναγνωρίσιμο λόγω της εφαρμογής τους σε φιλμ.

Παρότι, τα φιλμ αποτελούν το τρίτο σε μέγεθος προϊόν μέσα στα κλάσματα των αποβλήτων (σχήμα 47γ) επειδή θεωρείται δύσκολη η αναγνώριση των πολυμερών τους και προκαλούν προβλήματα στις τεχνολογίες διαλογής, οι περισσότερες MRF προσπαθούν να ανακτήσουν τα φιλμ, στην αρχή των διαδικασιών. Οι συνήθεις πρακτικές είναι ανάκτηση σε ξεχωριστό κλάσμα, χωρίς περαιτέρω διαλογή, αποθήκευση και μεταφορά σε εγκαταστάσεις ανακύκλωσης που εξειδικεύονται στην ανακύκλωση φιλμ.

<b>Polymer type</b>	<b>Weight</b>
PET	36%
Unidentifiable polymers (mainly mixed film)	24%
HDPE	23%
PP	15%
PS	1%
EPS	1%
PVC	0.05%

*Σχήμα 47γ Μέση συγκέντρωση τύπων πολυμερών μέσα στο κλάσμα πλαστικών αποβλήτων στις MRFs (WRAP, 2015).*

Στην παρακάτω σχήμα 48α φαίνεται η σύνθεση των πολυμερών και των χρωμάτων, των φιαλών και των ΡΤΤ, που αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των πλαστικών ανακυκλώσιμων αποβλήτων (60%). Οι φιάλες αποτελούνται από PET (52%) και HDPE (46%), και είναι είτε φυσικού, ανοιχτού μπλε, λευκού χρώματος είτε διαυγή. Οι χρωματιστές φιάλες αποτελούν ένα μικρό ποσοστό (18%).



Σχήμα 48α: Σύνθεση πολυμερών και χρωμάτων των φιαλών και των PTT (WRAP, 2015)

Τα PTT αποτελούνται από πολλά είδη πολυμερών και τα κύρια είναι το PP (43%) και το PET (33%). Το PVC έχει συμμετοχή 0,4%. Στο μεγαλύτερο μέρος τους είναι πολύχρωμα (45%) ή φυσικά και διαυγή (40%). Τα μαύρα PTT αποτελούν το 15%.

Η ανάκτηση του PP είναι πολύπλοκη και δεν θεωρείται υλικό «στόχος», με αποτέλεσμα μεγάλο μέρος των προϊόντων του να μην ανακτώνται, παρότι σύμφωνα με τα στοιχεία του (PlasticsEurope, 2018) χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στην παραγωγή συσκευασιών. Τις περισσότερες φορές η έξοδος του είναι είτε ως μίγμα πολυολεφίνων (παράδειγμα Eco oh!) είτε μόνο πώματα PP. Αυτό συμβαίνει διότι, όπως αποδεικνύεται και στα δεδομένα της δειγματοληψίας, τα προϊόντα από PP είναι πολλών εφαρμογών, με διαφορετικά τεχνικά και αισθητικά χαρακτηριστικά (σχήμα, όγκος, χρώμα, ετικέτες).

Σε αντίθεση, το PET αποτελεί το κύριο στόχο ανακύκλωσης από τα προγράμματα συλλογής και τις εγκαταστάσεις. Η παραγωγή των φιαλών από PET είναι μεγάλη και κατά συνέπεια και τα απόβλητα όπου χαρακτηρίζονται από παρόμοια μεγέθη και συγκεκριμένες εφαρμογές σε χρώμα.

Συνεπώς, το παραπάνω αποδεικνύει ότι ο σχεδιασμός του προϊόντος είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ανάκτηση, διότι χάνετε ένα 62% πλαστικής ύλης (σχήμα 47β), λόγω μη ομογένειας των προϊόντων σε χρώμα και υλικά.

Από την άλλη πλευρά, τίθενται και διάφοροι προβληματισμοί :

- α. Η ίδια η ανάκτηση είναι σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο από τις εγκαταστάσεις ώστε να υποστηρίζουν μόνο την ανάκτηση φιαλών από PET και HDPE. Διότι η αγορά των ανακυκλώσιμων είναι περιορισμένη και οι εγκαταστάσεις πρέπει να είναι βιώσιμες οικονομικά, υποστηρίζοντας την ανάκτηση πολυμερών υψηλής αξίας (PET και HDPE). Καθώς σύμφωνα με τον (WRAP, 2009) το κόστος ενός αναμειγμένου δεματοποιημένου πλαστικού από μια MRF σε PRF ή RF, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αναλογία των τύπων πολυμερών υψηλότερης αξίας που περιέχει. Και η ποσότητα μόλυνσης λόγω φιλμ και χαρτιών, μπορεί να μειώσει την αξία του πλαστικού από 5% έως 35%.
- β. Παρότι οι φιάλες αποτελούν το κύριο στόχο, τα πώματα τους από PP και οι ετικέτες τους LDPE, θεωρούνται ρυπαντές στοιχεία και καταλήγουν στα υπολειμματικά, και η αγορά αυτών είναι περιορισμένη.
- γ. Η (Οδηγία (ΕΕ) 2019/904, 2019), αναφέρει ότι από το 2021, οι παραγωγοί θα πρέπει να είναι υπεύθυνοι για τη συλλογή και διαχείριση των φιαλών, δοχείων τροφίμων και προϊόντων από φιλμ όπως περιτυλίγματα και λεπτές σακούλες μεταφοράς. Στη δεδομένη κατάσταση, των συστημάτων συλλογής και ανάκτησης με διαλογή στη πηγή κάτι τέτοιο είναι ανέφικτο, όπως υποδεικνύουν και τα παραπάνω.
- δ. Τα χρωματιστά πλαστικά θεωρούνται ότι έχουν χαμηλότερη εμπορική αξία λόγω της ανικανότητάς τους να βαφούν σε άλλα έγχρωμα πλαστικά. ως εκ τούτου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για την παραγωγή πιο σκούρων αποχρώσεων ή μαύρου πλαστικού, γεγονός που καθιστά δύσκολο για τους ανακυκλωτές να ανταγωνίζονται την αγορά παρθένων υλικών (Eriksen M.K., 2019).

#### **4.4. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΤΩΝ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ**

Η ανακύκλωση των οικιακών πλαστικών αποβλήτων γίνεται στις εγκαταστάσεις ανακύκλωσης (RFs). Τα πλαστικά που εισέρχονται για ανακύκλωση, προέρχονται από

bales από τις εγκαταστάσεις ανάκτησης υλικών ή από προγράμματα συλλογής drop-off και παροχής κινήτρων, όπου το εισερχόμενο κλάσμα αποτελείται από ένα τύπο πολυμερούς ή έναν τύπο προϊόντος. Το κυρίαρχο πρότυπο ανακύκλωσης είναι της μηχανικής ανακύκλωσης που περιλαμβάνει τα εξής στάδια: το εισερχόμενο κλάσμα υπόκειται σε εκ νέου διαλογή για να απομακρυνθούν τυχόν ακαθαρσίες, πώματα, ετικέτες, κ.ά. με τεχνικές που είναι συνήθως συνδυασμός micro και macro-sorting. Σκοπός των επιπλέον σταδίων διαλογής, που υλοποιούνται από την εγκατάσταση ανακύκλωσης, είναι ο εξευγενισμός και η εκκαθάριση των εισερχόμενων υλικών, προκειμένου να παραχθεί υψηλής ποιότητας ανακυκλώσιμο υλικό. Στη συνέχεια, το ταξινομημένο υλικό τεμαχίζεται, πλένεται και στεγνώνεται. Τέλος, το ανακτημένο πολυμερές, με την πρόσθεση πρόσθετων (additives), εξωθείται και σφαιροποιείται (ή σε ίνες), προκειμένου να διατεθεί στους μετατροπείς για την εκ νέου παραγωγή πλαστικών προϊόντων.

#### **4.4.1. Παράδειγμα ανακύκλωσης φιαλών PET**

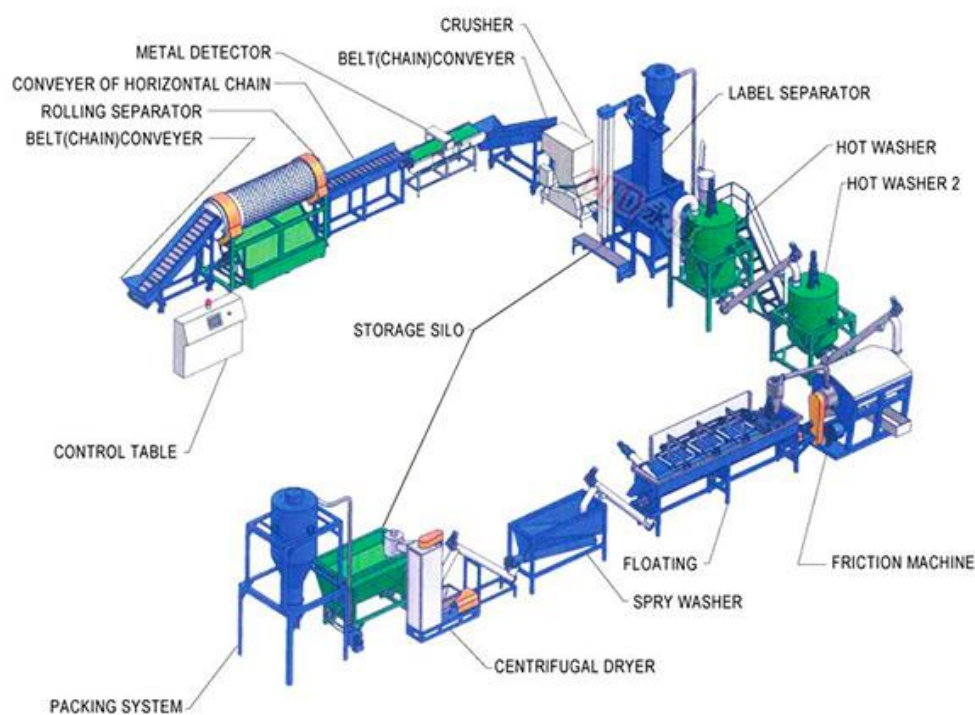
Η ανακύκλωση φιαλών PET αποτελεί την πιο κοινή ανακύκλωση των οικιακών πλαστικών. Οι φιάλες εισέρχονται στις εγκαταστάσεις ανακύκλωσης, είτε δεματοποιημένες από τις εγκαταστάσεις ανάκτησης, είτε από προγράμματα συλλογής επιστροφής χρημάτων ή παροχής κινήτρων.

Η επιλογή των ρευμάτων εξαρτάται από την εκάστοτε εγκατάσταση. Οι ανακυκλωτές όταν αγοράζουν πλαστικό από τους μεσίτες ή τις εγκαταστάσεις ανάκτησης, γνωρίζουν ένα μέρος των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υλικών. Στην περίπτωση αυτή, το κλάσμα των φιαλών μπορεί να είναι μονοχρωματικό (διαυγές, μπλε ή πράσινο) PET και να αποτελείται κατά κύριο λόγο από προϊόντα που έχουν σχέση με τρόφιμα ή να είναι μικτών προϊόντων.

Η περίπτωση της εισερχόμενης ροής από προγράμματα με επιστροφή χρημάτων ή παροχής κινήτρων, παρέχει ένα ρεύμα αποβλήτων του οποίου η σύνθεση είναι γνωστή ως προς το είδος των προϊόντων, συνήθως φιάλες PET μη αλκοολούχων ποτών, καθότι τίθεται στους περιορισμούς του προγράμματος.

Το αποτέλεσμα των διαδικασιών της ανακύκλωσης δηλαδή η ποιότητα του ανακτημένου πολυμερούς σύμφωνα με το επίπεδο μολύνσεων του, θα κρίνει την μετέπειτα εφαρμογή του ως πρώτη ύλη.

Το σχήμα 48β παρακάτω, παρουσιάζει μια τυπική αλυσίδα τεχνολογιών ανακύκλωσης φιαλών PET. Οι φιάλες που εισέρχονται στις εγκαταστάσεις ανακύκλωσης φορτώνονται στον μάντα μεταφοράς. Πρώτο στάδιο είναι η απομάκρυνση των ρυπαντών. Οι φιάλες περνούν από έναν κυλινδρικό διαχωριστή (trommel separator) και μέσω των οπών απομακρύνονται τα πρώτα σωματίδια μόλυνσης. Οι φιάλες καθώς έχουν μεγαλύτερο μέγεθος από τις οπές εξέρχονται στον μάντα προς τον διαχωριστή δινορεύματος (eddy current separator), για την απομάκρυνση των μη σιδηρούχων μετάλλων.



Σχήμα 48β Αλυσίδα τεχνολογιών ανακύκλωσης PET της εταιρίας Audop

Σε περίπτωση, που η εγκατάσταση δέχεται μικτό ρεύμα φιαλών είτε ως προς το χρώμα είτε ως προς το είδος του προϊόντος, χρησιμοποιεί τεχνικές οπτικής διαλογής, συνήθως χειρωνακτική διαλογή και τεχνολογία NIR. Ο οπτικός διαχωρισμός γίνεται στο σημείο πριν τον τεμαχισμό των πλαστικών σε νιφάδες.

Στη συνέχεια, εφαρμόζονται τεχνικές micro-sorting για την απομάκρυνση των μολύνσεων. Οι φιάλες υφίστανται λεπτόκοκκο τεμαχισμό και το εξερχόμενο κλάσμα αποτελείται από νιφάδες: πολυμερούς PET, χαρτιού και ετικετών PP / PE / PVC και πωμάτων PP / PE. Το κλάσμα οδηγείται σε έναν διαχωριστή αέρα (label separator), όπου αφαιρούνται τα ελαφρύτερα σωματίδια των χαρτιών και ετικετών.

Η απομάκρυνση των χαρτιών και ετικετών πολλές φορές γίνεται με χειροκίνητη διαλογή, η οποία όμως είναι δαπανηρή μέθοδος. Το μεγαλύτερο πρόβλημα στην ανακύκλωση των φιαλών PET αποτελούν οι μολύνσεις από PVC και έρευνες έχουν δείξει ότι όχι περισσότερο από το 90% του συνολικού PVC τυπικά αφαιρείται χειροκίνητα. Η παρουσία μικρών ποσοτήτων PVC σε μια παρτίδα PET, μπορεί να σχηματίσει οξέα που δημιουργούν ψευδάργυρο και κιτρινωπό χρώμα όταν ανακυκλώνονται (Eriksen M.K., 2019). Ως εκ τούτου, μια μολυσμένη παρτίδα είναι πιθανότερο να καταλήξει σε εγκαταστάσεις υγειονομικής ταφής ή ανάκτησης ενέργειας.

Το ρεύμα νιφάδων PET στα επόμενα στάδια πλένεται με ζεστό νερό (hot washer και hot washer 2) το οποίο αποστειρώνει και απομακρύνει περαιτέρω ρύπους όπως κόλλες (από τις ετικέτες που έχουν κολληθεί), λίπη / έλαια και άλλα υπολείμματα που είναι δύσκολο να απομακρυνθούν (ποτό / τρόφιμα). Για να ψυχθούν οι νιφάδες και να καθαριστούν περαιτέρω, χρησιμοποιείται τεχνολογία πλύσης με τριβή (friction machine).

Οι νιφάδες οδηγούνται σε έναν διαχωριστή βυθίσεως/ επίπλευσης. Χρησιμοποιείται μια δεξαμενή με υγρό για να διαχωρίσει τα υλικά που βυθίζονται από αυτά που επιπλέουν. Αυτός είναι ο τελικός εξοπλισμός διαχωρισμού στη γραμμή πλύσης φιαλών PET που απομακρύνει αποτελεσματικά τα πλαστικά φιλμ που απομένουν από τις ετικέτες και τα πώματα μπουκαλιών PP / PE. Οι ετικέτες και τα πώματα των φιαλών επιπλέουν στο νερό, και οι νιφάδες PET βυθίζονται, με αποτέλεσμα μπορούν εύκολα να αφαιρεθούν για περαιτέρω επεξεργασία στο επόμενο κομμάτι του εξοπλισμού.

Ένα από τα σημαντικά στάδια ανακύκλωσης φιαλών PET είναι η αφαίρεση του νερού, η αφυδάτωση των νιφάδων. Το PET είναι πολύ ευαίσθητο στην υδρολυτική

αποσύνθεση, με αποτέλεσμα τη σοβαρή μείωση του μοριακού του βάρους, επηρεάζοντας έτσι δυσμενώς τη μεταγενέστερη επεξεργασία του τήγματος. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να στεγνώσουν οι νιφάδες PET πριν την εξώθηση. Το μηχάνημα αφυδάτωσης μπορεί να χρησιμοποιεί την φυγόκεντρο δύναμη (centrifugal dryer) σε συνδυασμό με θερμικούς στεγνωτήρες (thermal dryers) για την αφαίρεση του νερού και την ψύξη των νιφάδων.

Οι μερικώς αποξηραμένες νιφάδες PET μπορούν να στεγνώσουν εντελώς χρησιμοποιώντας τους θερμικούς στεγνωτήρες. Εντός των σωλήνων των θερμικών στεγνωτηρίων, ο ζεστός αέρας και οι νιφάδες PET αναμειγνύονται μεταξύ τους όπου αφυδατώνεται η υγρασία. Ο τελικός διαχωριστής αναμειγνύει τον ζεστό και υγρό αέρα με μια ροή ψυχρού αέρα που ψύχει τις νιφάδες PET κατά την προετοιμασία για αποθήκευση. Οι νιφάδες αποθηκεύονται σε ειδικούς χώρους μετά από δειγματοληπτικούς ελέγχους ποιότητας.

Γενικότερα, στην ακολουθία ανακύκλωσης υπολογίζεται ότι για κάθε 1 kg φιαλών μετά την κατανάλωση αποδίδεται περίπου 0,78 kg rPET (Andrady, 2015).

Σε περίπτωση που οι εγκαταστάσεις διαθέτουν τεχνολογίες ανάμιξης (compounding) και εξώθησης, με την χρήση πληρωτικών, οι νιφάδες εξωθούνται είτε σε μορφή σφαιριδίων (pellet) ή ίνες (fibers). Αντίθετα, οι νιφάδες πωλούνται σε παραγωγούς πλαστικών προϊόντων.

Το ανακυκλωμένο πολυμερές, rPET, σύμφωνα με την ποιότητα του θα χρησιμοποιηθεί:

- Στην ίδια εφαρμογή (bottle-to-bottle) αναμειγμένο με παρθένο πολυμερές.
- Σε διαφορετική εφαρμογή συσκευασίας, ως επίπεδο φραγμού σε δομή “sandwich” (πολυστρωματικές συσκευασίες).
- Ως ίνα πολυεστέρα (bottle-to-fiber).

Η συχνότερη εξώθηση του rPET είναι ως ίνα, η οποία δεν μπορεί να ανακυκλωθεί μηχανικά δεύτερη φορά. Περίπου το 10-20% των φιαλών ανακτάται για ανακύκλωση κλειστού βρόχου (bottle-to-bottle). Η ανακύκλωση κλειστού βρόχου είναι πολύ



δύσκολη καθώς η ποιότητα θα πρέπει να είναι πολύ υψηλή. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων (EFSA), για να χρησιμοποιηθεί το rPET σε εφαρμογή προϊόντων που έχουν σχέση με τρόφιμα, εκτός από συγκεκριμένες απαιτήσεις ποιότητας, βασική προϋπόθεση είναι να προέρχεται κατά 95% από την ίδια εφαρμογή. Το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής rPET μαζί με παρθένα πρώτη ύλη σε bottle-to-bottle εφαρμογή, σύμφωνα με The Association of PLastic Recyclers (APR), έφθασε το 28,9 % το 2018. Συνεπώς, η ανακύκλωση κλειστού βρόχου αποτελεί μια πραγματική πρόκληση ακόμη και για ένα πολυμερές το οποίο θεωρείται υψηλής αξίας και υλικού «στόχος» από τα προγράμματα συλλογής και τις εγκαταστάσεις ανάκτησης.

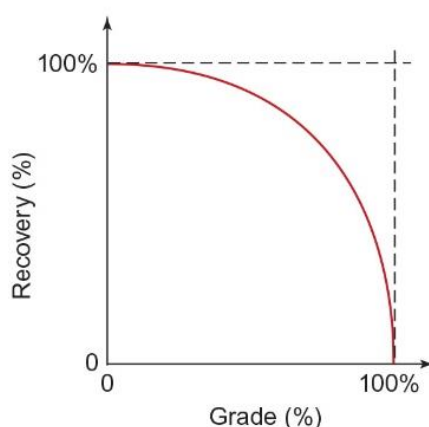
#### **4.5. ΤΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΕΜΠΟΔΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ**

Όλα τα προϊόντα υπόκεινται στους κανόνες της αγοράς και η τιμή τους εξαρτάται από το κόστος της αλυσίδας εφοδιασμού, την προσφορά και τη ζήτηση από το λόγο ποιότητας/ κέρδους σε σχέση με παρόμοια προϊόντα κ.α. Επίσης, στους παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή ενός προϊόντος είναι και η διαθεσιμότητα των πρώτων υλών, η ποιότητα του προϊόντος, οι τυχόν απαιτήσεις συμμόρφωσης με πρότυπα και προδιαγραφές αλλά και η ύπαρξη ή όχι σχημάτων διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού. Το ίδιο ακριβώς ισχύει και για τα ανακυκλωμένα υλικά και προϊόντα, Δεν θα πρέπει επίσης να παραβλέπεται το γεγονός ότι η κλίμακα των εργασιών ανακύκλωσης υποβαθμίζεται συνεχώς και ενώ συνήθως έχει ευεργετική επίδραση στο περιβάλλον, είναι πρωτίστως μια οικονομική δραστηριότητα (Vezzoli, 2018).

Για να είναι ελκυστική και βιώσιμη η ανακύκλωση, όχι μόνο με όρους προστασίας του περιβάλλοντος αλλά και με οικονομικούς όρους, θα πρέπει τα ανακυκλωμένα πλαστικά από πλευράς ποιότητας αλλά και τιμής να είναι ελκυστικά έναντι των πιθανών ανταγωνιστικών προϊόντων (σχήμα 49). Το ίδιο ισχύει για τη χημική ανακύκλωση και την ανάκτηση ενέργειας. Για τις ίδιες εφαρμογές, η μηχανική ανακύκλωση έχει τις μεγαλύτερες απαιτήσεις από πλευράς κόστους ενώ η καύση και η θερμική ανάκτηση τις μικρότερες.

Σε ότι αφορά τη ζητούμενη ποιότητα των ανακυκλωμένων πλαστικών, αυτή συνδέεται με το κόστος ανάκτησής τους από το ρεύμα των αποβλήτων και με τα ποσοστά μόλυνσης που περιέχουν. Ο βαθμός (grade) είναι δείκτης της ποιότητας

του κλάσματος του υλικού, περιγράφοντας το πόσο καθαρό είναι, πλην όμως, όπως φαίνεται στο σχήμα 48γ, συνδέεται με το ποσοστό της ανάκτησης. Για παράδειγμα, όταν τα ανακτηθέντα πλαστικά εισάγονται στην αλυσίδα της ανακύκλωσης, θα πρέπει να απελευθερωθούν από τις οποιεσδήποτε μολύνσεις, οπότε αναπόφευκτα υπάρχουν απώλειες. Επιγραμματικά, οι προδιαγραφές που πρέπει να πληρούν τα ανακυκλωμένα πλαστικά είναι αυτές που ανεβάζουν το κόστος ανάκτησής τους από το ρεύμα των αποβλήτων αλλά και επεξεργασίας τους στις μονάδες ανακύκλωσης.



Σχήμα 48γ: Ιδανική καμπύλη ανάκτησης-βαθμού (Biron, 2016)

Συνεπώς, η ανακύκλωση συμπεριλαμβάνει ένα συμβιβασμό: όσο περισσότερο επιδιώκεται να κλείσει ο βρόχος, τόσο πιο δαπανηρή γίνεται η διαδικασία και τόσο περισσότερη είναι η ενέργεια που απαιτείται για το σκοπό αυτό (Biron, 2016).

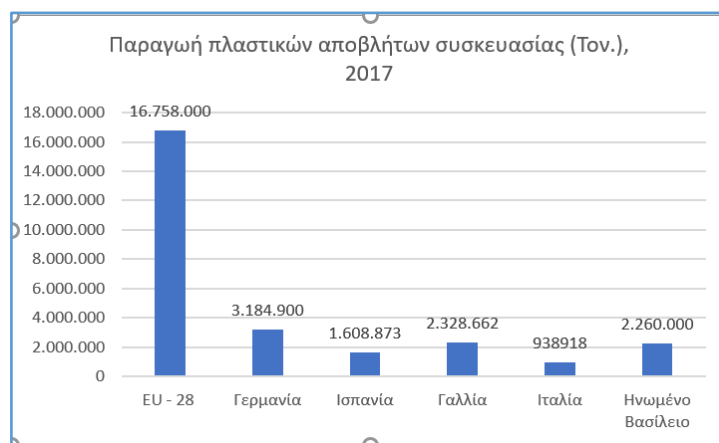
Διαδικασία Ανακύκλωσης και Ανάκτησης	Πιθανά Ανταγωνιστικά Προϊόντα
Μηχανική ανακύκλωση ίδιας εφαρμογής (closed-loop)	Αντίστοιχες καθαρές πρώτες ύλες π.χ. PP, PET, PVC κ.ά.
Μηχανική ανακύκλωση διαφορετικής εφαρμογής (open-loop)	Πολυεστέρας, Εμποτισμένο ξύλο, σκυρόδεμα, λεπτώς αλεσμένα ανόργανα πληρωτικά κ.ά.
Χημική Ανακύκλωση	Πετρέλαιο, αέριο
Ανάκτηση Ενέργειας	Πετρέλαιο, αέριο, κατάλοιπα, απόβλητα

Σχήμα 49: Πιθανά ανταγωνιστικά προϊόντα της ανακύκλωσης

## 5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Η ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΕ, ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ

### 5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κεφάλαιο αυτό εξετάζει την υφιστάμενη αλυσίδα ανακύκλωσης<sup>26</sup> εντός της ΕΕ-28 στο σύνολό της και αναλύει τα ποσοτικά και ποιοτικά στοιχεία των ροών αποβλήτων των κύριων πλαστικών συσκευασίας (PET, HDPE, LDPE, PP) στην ΕΕ, εξετάζοντας τις αντίστοιχες ροές κυρίως σε πέντε χώρες, Γαλλία, Γερμανία, Ιταλία, Ισπανία και Ηνωμένο Βασίλειο, που αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 60% των αποβλήτων πλαστικής συσκευασίας που παράγονται στην Ευρώπη (Σχήμα 50). Η εστίαση στις πέντε μεγαλύτερες χώρες-παραγωγούς πλαστικών αποβλήτων συσκευασίας, συμβάλλει στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για την τρέχουσα εικόνα της αλυσίδας ανακύκλωσης στην ΕΕ, για τα προβλήματα που παρατηρούνται και τα ειδικότερα ζητήματα που αναδεικνύονται σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας, για τις προκλήσεις και ευκαιρίες που διαγράφονται, καθώς και για το εύρος των πρωτοβουλιών και παρεμβάσεων που απαιτούνται προκειμένου η ΕΕ να πετύχει το στόχο ανακύκλωσης (50%) που έχει θέσει για το 2025.



Σχήμα 50: Παραγωγή πλαστικών αποβλήτων συσκευασίας (Πηγή: Eurostat)

<sup>26</sup> Ο όρος «αλυσίδα ανακύκλωσης» αναφέρεται στο σύνολο των διαδικασιών μέσω των οποίων τα απόβλητα συλλέγονται, διαχωρίζονται, επεξεργάζονται και εισέρχονται εκ νέου στη διαδικασία παραγωγής.

Η επίτευξη του στόχου που έχει τεθεί για το 2025, αποτελεί πραγματική πρόκληση λόγω του διαφορετικού επιπέδου ανάπτυξης και ωριμότητας των χωρών της ΕΕ σχετικά με τα ζητήματα και τις υποδομές που συνδέονται με την ανακύκλωση, καθώς και του πλήθους των παραγόντων που αλληλοεπιδρούν στην αλυσίδα αξίας του πλαστικού. Ενδεικτικά αναφέρονται τα εξής:

Τα ποσοστά συλλογής στην ΕΕ ποικίλλουν σημαντικά μεταξύ των χωρών αλλά και μεταξύ των διαφόρων πολυμερών και σχημάτων<sup>27</sup> (από 0% για τις μεμβράνες PET οικιακής χρήσης έως και 80% για τις οικιακές φιάλες PET).

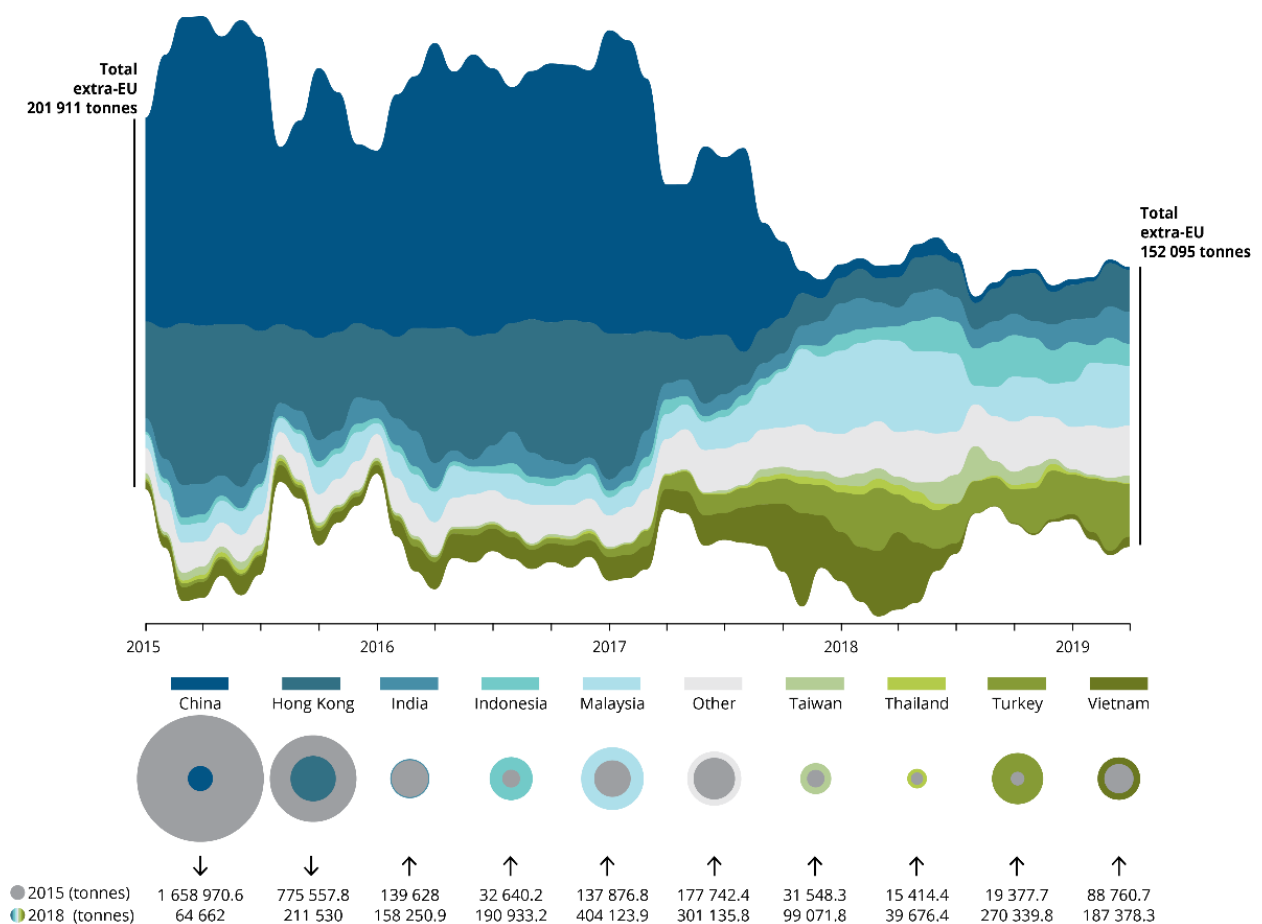
Επιτυγχάνοντας στόχο ανακύκλωσης 55% για το 2025, αυτό σημαίνει ότι πλέον των 10 εκ. τον. ανακυκλωμένου πλαστικού θα πρέπει να απορροφηθούν από τις τελικές αγορές (Deloitte Sustainability). Σε σύγκριση με το 2014, η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί σε περισσότερο από το διπλάσιο του συνολικού πλαστικού που ανακυκλώθηκε και περίπου στο ένα τρίτο του πλαστικού που χρησιμοποιήθηκε στις διάφορες τελικές αγορές. Για την απορρόφηση των πρόσθετων ποσοτήτων, απαιτείται η αναγνώριση και ανάπτυξη νέων αγορών και αυτές θα είναι κυρίως η τομείς με υψηλή ζήτηση πλαστικών και χαμηλή χρήση ανακυκλωμένου υλικού.

Σημαντικός παράγοντας στο όλο ζήτημα είναι και οι εξαγωγές πλαστικών αποβλήτων της ΕΕ προς χώρες εκτός ΕΕ, που αποτελούν χαμένη ευκαιρία αλλά και πρόκληση για τους ανακυκλωτές της ΕΕ. Η απόφαση της Κίνας να απαγορεύσει την εισαγωγή πλαστικών αποβλήτων, που ανακοινώθηκε το 2017, αναμένεται να εκτρέψει σημαντικό μέρος αυτών των ροών σε ανακυκλωτές της ΕΕ αλλά και να ανακατανείμει τις εξαγωγές σε άλλες χώρες. Η εκτροπή προς τους ανακυκλωτές της ΕΕ, με τη σειρά της θα απαιτήσει ενίσχυση των υποδομών ανακύκλωσης και θα έχει ως αποτέλεσμα επιπλέον προσφορά ανακυκλωμένου πλαστικού που θα πρέπει να απορροφηθεί από την αγορά. Αυτό πάντως που κυριαρχεί σήμερα, είναι η ανακατανομή των εξαγωγών της ΕΕ-28 σε χώρες εκτός της ΕΕ, που συνδυάζεται με

---

<sup>27</sup> Δοχεία, φιάλες, δίσκοι κ.λπ.

μείωση των εξαγωγών, με τη σημαντικότερη ανακατανομή να έχει συμβεί μεταξύ Ιανουαρίου 2017 και Απριλίου 2019 (Σχήμα 51). Σύμφωνα με την (European Environment Agency, 2019) οι εξαγωγές πλαστικών αποβλήτων από την ΕΕ σε χώρες εκτός της ΕΕ στις αρχές του 2019 ανέρχονταν σε περίπου 150.000 τον. το μήνα.



Σχήμα 51: Εξαγωγές πλαστικών αποβλήτων εκτός ΕΕ, ανά χώρα εισαγωγής (European Environment Agency, 2019)

Δεδομένης της πολυπλοκότητας των προκλήσεων και του πλήθους των φορέων που εμπλέκονται στην αλυσίδα της ανακύκλωσης, δεν υπάρχει μια και ενιαία λύση για την επίτευξη των στόχων ανακύκλωσης που έχουν τεθεί για το 2025. Θα πρέπει να υπάρξουν σημαντικές θεσμικές παρεμβάσεις από τις κυβερνήσεις των κρατών-μελών και επιπλέον να δρομολογηθεί και εφαρμοστεί ένα πλήθος μέτρων από

διάφορους φορείς που εμπλέκονται στο σχεδιασμό των πλαστικών προϊόντων, στη συλλογή, διαλογή και στην ανακύκλωση καθώς και στην τελική χρήση.

## 5.2. Η ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ

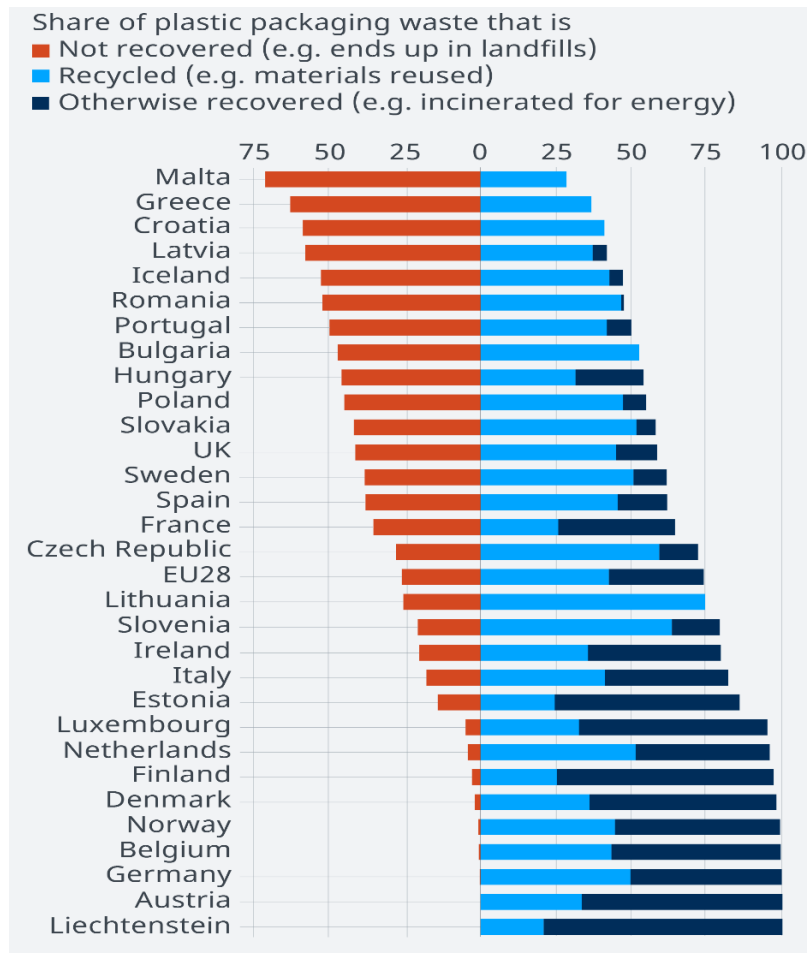
Το σχήμα 52 παρουσιάζει τα ποσοστά ανακύκλωσης του πλαστικού συσκευασίας σε όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ για την περίοδο 2010-2017 και επιπλέον το ποσοστό συμμετοχής κάθε χώρας στο σύνολο των αποβλήτων που παράγονται στην ΕΕ-28. Όπως προκύπτει από τα στοιχεία του πίνακα, το ποσοστό ανακύκλωσης του πλαστικού συσκευασίας στο σύνολο της ΕΕ-28, το 2017 ανέρχονταν στο 41,9%, γεγονός που υποδηλώνει και το μέγεθος των προσπάθειών που απαιτούνται για να επιτευχθεί ποσοστό ανακύκλωσης 55% έως το 2025.

	Ποσοστό ανακύκλωσης πλαστικού συσκευασίας (%)								Συμμετοχή στα απόβλητα της ΕΕ-28 (%)
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
EU-28	32,5	33,7	35	36,6	38,9	39,9	42,4	41,9	100,0
Belgium	41,5	41,4	41,5	39	41,8	42,6	43,4	44,5	2,1
Bulgaria	40,9	39,2	40,7	41,3	64,1	60,8	52,6	64,8	0,7
Czechia	54	57	58,2	59,7	58,2	61,7	59,2	58,9	1,5
Denmark	26,4	22,3	25,9	29,1	30,7	30,5	36,1	38,5	1,3
Germany	45,1	46,3	47	46,8	47,3	47,4	48,4	48	19,0
Estonia	33,4	39,6	29,8	28,1	29,3	27,8	24,6	26,5	0,4
Ireland	39,4	47,5	38,2	34,8	31,3	29,7	31,2	30,5	1,7
Greece	30,1	33	32,2	32,3	32,8	36,8	38,2	41,4	1,1
Spain	29,2	32,4	35,1	40,7	42,5	44	45,5	47,9	9,6
France	23,7	23,3	25,1	25,6	25,2	25,5	25,8	26,5	13,9
Croatia	:	:	45,4	45,3	37,7	46,3	41,1	37,3	0,4
Italy	34,5	36,1	37,5	36,8	38	41,1	42,4	:	13,2
Cyprus	27,2	38	44,8	45,3	46,6	63,7	62,3	:	0,1
Latvia	24	23	24	24,5	36,4	35,3	37,2	36,6	0,2
Lithuania	38,4	38,9	38,9	42,9	51,2	54,8	74,4	74,2	0,4
Luxembourg	31	33,2	36,7	32,2	32,3	31,9	30,8	33,4	0,2
Hungary	32,5	22,4	27,8	30,8	36,8	27,4	31,4	32	1,9
Malta	22	28,9	32,8	22,6	32,9	28,6	23,5	:	0,1
Netherlands	47,6	50,7	47,7	46,6	50,6	49,8	51,5	50,4	3,1
Austria	34,4	34,8	34,7	34,4	33,6	33,6	33,6	33,4	1,8
Poland	20,1	22,5	21,9	19,7	28,3	30,8	46,9	34,6	6,2
Portugal	24,5	26,1	30,4	35,3	40	43	41,8	34,9	2,4
Romania	28,2	40,3	51,3	51,7	44,5	46,7	46,5	:	2,1
Slovenia	67,3	75,5	64,8	81,7	69,3	63,4	62	60,4	0,3
Slovakia	44,9	49,9	57	55,1	55,9	54,4	51,7	52,4	0,7
Finland	26,2	25,4	25,4	22,7	24,6	23,7	25,4	26,5	0,8
Sweden	32,4	34,1	34,9	45,6	47,5	49	50,7	48,4	1,4
United Kingdom	24,1	24,2	25,2	31,6	37,9	39,4	44,9	46,2	13,5
Iceland	33,3	43,5	42,7	:	:	37,2	42,7	29,7	0,1
Liechtenstein	2,3	2,6	7	6,6	6,8	16,9	20,9	18,3	0,0
Norway	36,4	37,6	38,1	38,8	36,1	37,1	39,3	36,1	1,2

Σχήμα 52: Ποσοστό ανακύκλωσης πλαστικών αποβλήτων συσκευασίας και ποσοστό συμμετοχής των χωρών στα πλαστικά απόβλητα συσκευασίας της ΕΕ-28 (Πηγή: Eurostat)

Από τα στοιχεία του πίνακα επίσης προκύπτει, ότι συγκεκριμένα κράτη μέλη έχουν ήδη επιτύχει ή είναι σχετικά κοντά στην επίτευξη του στόχου του 55%. Ακόμη και σ' αυτές τις περιπτώσεις, δεν είναι σαφές σε ποιο ποσοστό στην υλοποίηση των στόχων που αναφέρονται, υπεισέρχονται οι αβεβαιότητες των μεθόδων υπολογισμού (π.χ. συμπερίληψη των ακαθαρσιών και της υγρασίας κατά τη στάθμιση των λαμβανομένων ρευμάτων). Επίσης, συχνά τα κράτη μέλη αναφέρουν στοιχεία σχετικά με τα απόβλητα συσκευασίας που συλλέγονται για ανακύκλωση αντί να αναφέρουν τις ποσότητες που έχουν πραγματικά ανακυκλωθεί. Το ακριβές ποσοστό των ποσοτήτων που διατέθηκαν στην αγορά και χρησιμοποιήθηκαν από την μετατροπείς επί του παρόντος είναι άγνωστο, αλλά μπορεί να εκτιμηθεί ότι είναι μικρότερο από το 40% (Deloitte Sustainability).

Τα στοιχεία της ανακύκλωσης σε κάθε χώρα δεν αποτυπώνουν από μόνα τους την πλήρη εικόνα των ροών των πλαστικών συσκευασίας. Από τα στοιχεία του σχήματος 53, που παρουσιάζει την πλήρη εικόνα για κάθε χώρα, δηλαδή τα κλάσματα του ρεύματος των πλαστικών αποβλήτων συσκευασίας που ανακυκλώνονται, καταλήγουν προς υγειονομική ταφή ή ανακτώνται με διαφορετικό τρόπο (π.χ με αποτέφρωση για παραγωγή ενέργειας), προκύπτει ότι παρά τη γενική βελτίωση των ποσοστών ανακύκλωσης, παραμένουν σοβαρά ζητήματα όπως το υψηλό ποσοστό πλαστικού συσκευασιών που καταλήγει σε χώρους υγειονομικής ταφής ή που καταλήγει σε εγκαταστάσεις αποτέφρωσης αστικών αποβλήτων που δεν πληρούν τα κριτήρια ενεργειακής απόδοσης που ορίζονται στο παράρτημα II της Οδηγίας Πλαισίου για τα Απόβλητα για τη διαδικασία ανάκτησης R1 (Eurostat). Επιπλέον, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι στο ποσοστό της ανακύκλωσης συμπεριλαμβάνεται και το ποσοστό του πλαστικού που εξάγεται εντός και εκτός ΕΕ για ανακύκλωση (Eurostat).



Σχήμα 53: Ποσοστό ανακύκλωσης, υγειονομικής ταφής και ανάκτησης του ρεύματος των πλαστικών αποβλήτων συσκευασίας στις χώρες της ΕΕ για το 2015 ή 2016 (Eurostat)

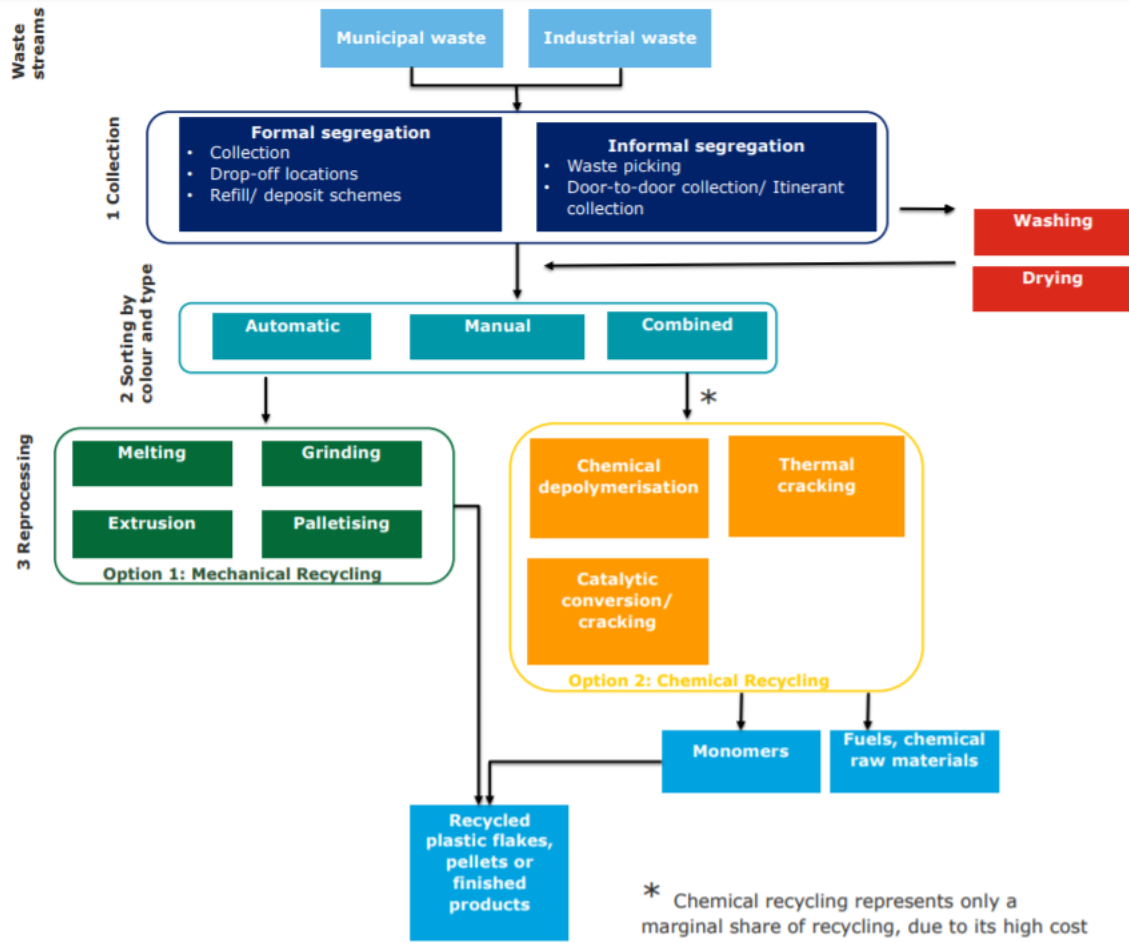
Από τα στοιχεία του πίνακα του σχήματος 53 προκύπτει επίσης ότι πολλές χώρες παρουσιάζουν σημαντική αύξηση της απόδοσής τους στην υπό εξέταση χρονική περίοδο, λόγω αποτελεσματικότερων σχημάτων διαχείρισης των συσκευασιών στο τέλος του κύκλου ζωής τους (π.χ. Ηνωμένο Βασίλειο), και άλλες υπολείπονται σημαντικά του στόχου της ΕΕ για το 2025. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η Γαλλία, η οποία εμφανίζει χαμηλές επιδόσεις και λαμβανομένου υπόψη ότι παράγει περίπου το 14% των συνολικών αποβλήτων πλαστικών συσκευασιών της ΕΕ, ο αντίκτυπος των επιδόσεών της σε επίπεδο ΕΕ είναι πολύ σημαντικός.

### 5.3. ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

Η αλυσίδα ανακύκλωσης, σε γενικές γραμμές, έχει παρόμοια δομή σε διαφορετικές χώρες και περιλαμβάνει τις διαδικασίες που αποτυπώνονται στο σχήμα 54. Ο όρος «αλυσίδα ανακύκλωσης» αναφέρεται στο σύνολο των διαδικασιών μέσω των οποίων τα απόβλητα συλλέγονται, διαχωρίζονται, επεξεργάζονται και



εισέρχονται εκ νέου στη διαδικασία παραγωγής. Επομένως, ο όρος αυτός δεν περιλαμβάνει μόνο το βήμα της ανακύκλωσης, της οποίας η αποτελεσματικότητα δεν μπορεί να αξιολογηθεί χωρίς να εξεταστεί σε συνάρτηση με τα υπόλοιπα στάδια.



Σχήμα 54: Δομή της αλυσίδας ανακύκλωσης (Deloitte Sustainability)

Όπως φαίνεται στο σχήμα 54, τα πλαστικά απορρίμματα συσκευασίας προέρχονται από διαφορετικά ρεύματα (βιομηχανικά, αστικά, εμπορικά ή γεωργικά). Όλα αυτά τα ρεύματα διαφέρουν μεταξύ τους αναφορικά με τη σύνθεση των πολυμερών και το επίπεδο της επιμόλυνσης. Η ξεχωριστή συλλογή, παρέχει καθαρότερα ρεύματα, σε σύγκριση με τη συλλογή από μικτά απόβλητα που περιέχουν μεγαλύτερο ποσοστό μολυσματικών ουσιών. Σε ότι αφορά την διαλογή ανά χρώμα και τύπο, αυτή μπορεί να γίνει αυτόματα, με τη βοήθεια της τεχνολογίας, χειρωνακτικά ή με συνδυασμό των δύο μεθόδων. Η αυτοματοποίηση στη διαλογή εξασφαλίζει υψηλή αποτελεσματικότητα και ποιότητα του τελικού αποτελέσματος

και, δεδομένου του υψηλού κόστους εργασίας στην ΕΕ, αποτελεί επίσης και την αποδοτικότερη μέθοδο. Η παραγωγή υλικού, μετά το στάδιο της διαλογής, κατευθύνεται κατά κανόνα προς τη μηχανική ανακύκλωση, δεδομένου ότι η χημική ανακύκλωση εξακολουθεί να είναι μια δαπανηρή μέθοδος επεξεργασίας.

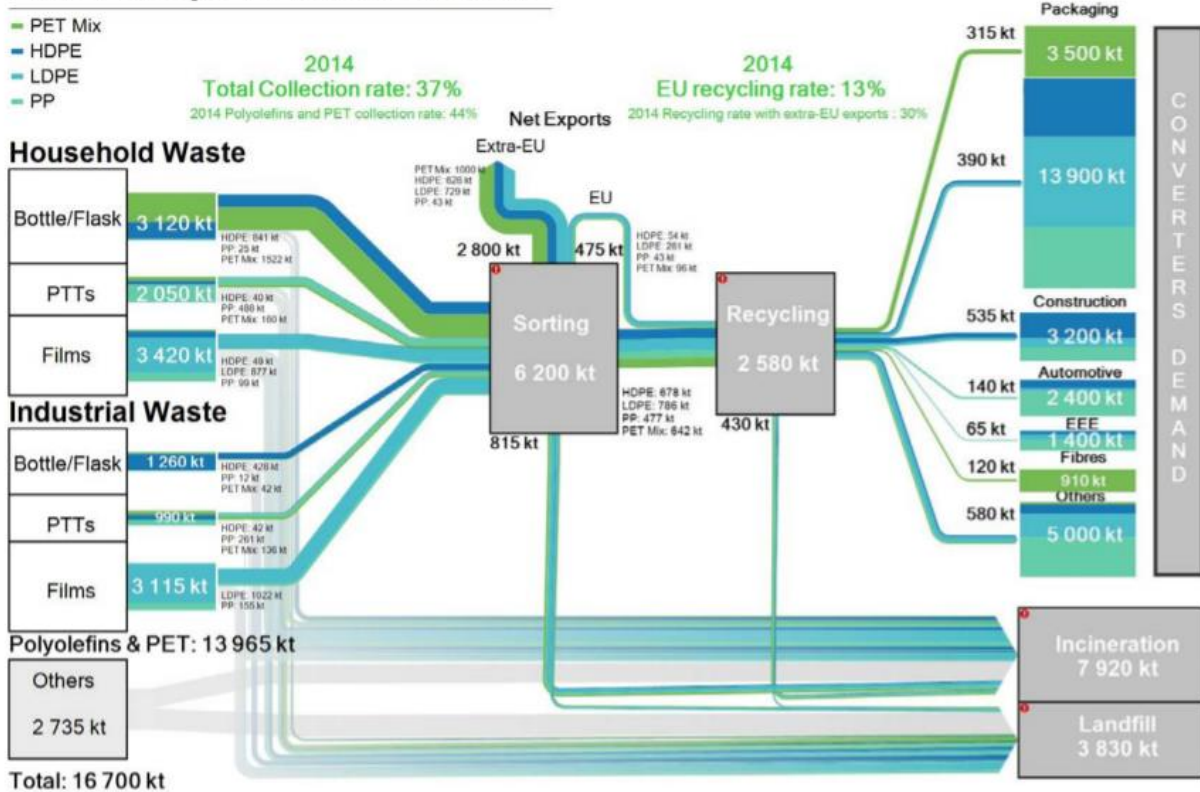
#### **5.4. ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ**

Η ανασκόπηση της κατάστασης σε κάθε χώρα απαιτεί την ανάλυση των ροών πλαστικού, ανά τύπο πολυμερούς, από το σημείο που τα πλαστικά απόβλητα συσκευασίας θα εναποτεθούν σε κάδους, ή σε άλλα σημεία συλλογής, μέχρι και του σημείου που είτε θα απορροφηθούν ως ανακυκλωμένο πλαστικό από συγκεκριμένους παραγωγικούς τομείς (τελικούς χρήστες), είτε θα υποστούν επεξεργασία σε μονάδες ανάκτησης ενέργειας είτε τέλος θα καταλήξουν σε χώρους υγειονομικής ταφής. Στη συνέχεια του κειμένου γίνεται εκτίμηση των υφιστάμενων ροών πλαστικού στις πέντε χώρες αναφοράς και αναλύονται οι επιδόσεις του συστήματος διαχείρισης αποβλήτων σε όλη την αλυσίδα ανακύκλωσης.

##### **5.4.1. Υφιστάμενη κατάσταση των ροών πλαστικών συσκευασιών**

Στο σχήμα 55 στο διάγραμμα τύπου Sankey, συγκεντρώνονται οι ροές πλαστικού της Γερμανίας, της Γαλλίας, του Ηνωμένου Βασιλείου, της Ισπανίας και της Ιταλίας, που αντιπροσωπεύουν το 70% της παραγωγής πλαστικών αποβλήτων συσκευασίας στην ΕΕ-28 και γίνεται αναγωγή τους σε επίπεδο ΕΕ (Deloitte Sustainability).

## 2014 Europe Plastics Streams



Σχήμα 55 : Διάγραμμα Sankey των ροών αποβλήτων πλαστικού συσκευασίας της Γερμανίας, Γαλλίας, Ιταλίας, Ισπανίας και Ηνωμένου Βασιλείου (Deloitte Sustainability)

Το διάγραμμα περιλαμβάνει μόνο τα ρεύματα PET και πολυολεφινών (PE και PP). Τα υπόλοιπα πλαστικά (~ 16% των παραγόμενων πλαστικών αποβλήτων συσκευασίας) εξαιρούνται και κατευθύνονται για υγειονομική ταφή ή αποτέφρωση. Το 2014 καταναλώθηκαν συνολικά στην Ευρώπη 13.960 kt πλαστικών συσκευασιών PET και πολυολεφινών από τις οποίες το 62% αντιστοιχεί σε οικιακά και το 38% σε εμπορικά και βιομηχανικά απόβλητα (Deloitte Sustainability).

### 5.4.2. Παραγωγή και συλλογή αποβλήτων

Από την αναγωγή των στοιχείων των πέντε χωρών αναφοράς σε επίπεδο ΕΕ προκύπτει ότι το 23% περίπου των ροών πλαστικών αποβλήτων συσκευασίας καταλήγει σε χώρους υγειονομικής ταφής και το 47% αποτεφρώνεται. Το υπόλοιπο ποσοστό, περίπου 30%, ανακυκλώνεται ή εξάγεται. Σήμερα, η ποσότητα των πλαστικών που εξάγεται εντός ή εκτός ΕΕ περιλαμβάνεται στο ποσοστό ανακύκλωσης

και αν αφαιρεθούν οι εξαγωγές εκτός ΕΕ, το ποσοστό ανακύκλωσης στη ΕΕ εκτιμάται ότι κυμαίνεται στο 15%.

Ο Πίνακας του σχήματος 56 παρουσιάζει το ποσοστό συμμετοχής των διαφορετικών σχημάτων και πολυμερών στα παραγόμενα οικιακά, εμπορικά και βιομηχανικά πλαστικά απόβλητα συσκευασίας, στις πέντε χώρες αναφοράς. Το 37% περίπου των αποβλήτων αυτών, όπως αποτυπώνεται στο διάγραμμα Sankey ανωτέρω, συλλέχθηκαν το 2014 και πέρασαν στην αλυσίδα ανακύκλωσης και από το κλάσμα αυτό περίπου 2.800 kt κατέληξαν ως εξαγωγές.

Source	Shape	PET	HDPE	LDPE	PP
Household Waste (100%)	Bottle/Flask (36%)	62%	36%	-	2%
	PTTs (24%)	31%	12%	-	56%
	Films (40%)	3%	12%	69%	16%
Commercial and Industrial Waste (100%)	Bottle/Flask (24%)	9%	86%	-	5%
	PTTs (18%)	27%	32%	0%	41%
	Films (58%)	1%	0%	83%	16%

Σχήμα 56: Ποσοστό συμμετοχής των διαφόρων σχημάτων και πολυμερών στα παραγόμενα πλαστικά απόβλητα συσκευασίας της Γερμανίας, Γαλλία, Ιταλίας, Ισπανίας και Ηνωμένου Βασιλείου (Deloitte Sustainability)

Στον πίνακα του σχήματος 57 φαίνεται το ποσοστό συλλογής ανά πηγή, σχήμα και πολυμερές. Από τα στοιχεία αυτά προκύπτει ότι οι σημαντικότερες ελλείψεις σε ότι αφορά την απόδοση του συστήματος συλλογής, παρατηρούνται στα οικιακά HDPE, PTTs και φιλμ καθώς και στα εμπορικά HDPE και PTTs. Συνολικά, σε ότι αφορά τα ποσοστά συλλογής, υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης για τις περισσότερες ρητίνες και σχήματα.

Source	Shape	PET	HDPE	LDPE	PP
Household Waste (68%)	Bottle/Flask (76%)	79%	76%	-	32%
	PTTs (34%)	25%	15%	-	42%
	Films (30%)	-	12%	37%	18%
Commercial and Industrial Waste (39%)	Bottle/Flask (38%)	36%	40%	-	18%
	PTTs (44%)	51%	13%	-	65%
	Films (38%)	-	-	39%	32%

Σχήμα 57 : Ποσοστό συλλογής των διαφόρων σχημάτων και πολυμερών στη Γερμανία, Γαλλία, Ιταλία, Ισπανία και στο Ηνωμένο Βασίλειο (Deloitte Sustainability)

### 5.4.3. Απόδοση της διαλογής και ανακύκλωσης

Η απόδοση της διαλογής και της ανακύκλωσης ποικίλλει σημαντικά από χώρα σε χώρα, καθώς αυτό το στάδιο αυτό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα και αποδοτικότητα των συστημάτων συλλογής καθώς και από το επίπεδο επιμόλυνσης των συλλεγόμενων αποβλήτων. Η εκτίμηση στο διάγραμμα Sankey ανωτέρω, λαμβάνει υπόψη ένα ποσοστό απόρριψης, λόγω μη-καθαρότητας, περίπου της τάξης του 10%.

Η απόδοση της ανακύκλωσης με τη σειρά της σχετίζεται με την ποιότητα των εισερχόμενων ρευμάτων και ειδικότερα με τη φύση των ρύπων που μπορούν να βρεθούν στην έξοδο της διαλογής, σε σχέση πάντα με την τελική χρήση του ανακυκλωμένου πλαστικού και την απαιτούμενη ποιότητα. Οι ρητίνες<sup>28</sup> συγκεκριμένων εφαρμογών, όπως για παράδειγμα το HDPE ή το PP σε τεχνικές εφαρμογές, οι βασικές εφαρμογές χύτευσης καθώς και οι εισροές καθαρών πλαστικών αποβλήτων (πχ καθαρό PET που προέρχεται από τα σημεία απόθεσης), μπορούν να παρουσιάσουν υψηλά ποσοστά ανακύκλωσης.

Σε ότι σχετίζεται με τρόφιμα, υπάρχει απαίτηση για υψηλής καθαρότητας πλαστικά και απαιτούνται ειδικές τεχνικές για την αφαίρεση σωματιδίων που έχουν απαγορευτεί από την Ευρωπαϊκή Αρχή Ασφάλειας των Τροφίμων<sup>29</sup>. Ως αποτέλεσμα των αυστηρών αυτών απαιτήσεων, απορρίπτεται υψηλότερο ποσοστό πολυμερών σε σύγκριση με τις εφαρμογές που δεν αφορούν τρόφιμα.

Η παρουσία PVC ή σύνθετης συσκευασίας (π.χ. αλκοόλη βινυλίου αιθυλενίου (EVOH), νάιλον) στην έξοδο της διαλογής, απαιτεί εκτεταμένη επεξεργασία και επιπλέον μπορεί να υποβαθμίσει την απόδοση της όλης διαδικασίας ανακύκλωσης καθώς και την ποιότητα των ανακυκλωμένων πολυμερών.

---

<sup>28</sup> Η ρητίνη (Resin) είναι ένας γενικός όρος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του φυσικού ή τεχνικού πολυμερούς, του πρόδρομου υλικού πολυμερούς και / ή του μίγματος ή της τυποποίησής του με διάφορα πρόσθετα ή χημικά αντιδραστικά συστατικά. (Sciencedirect <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/resin>)

<sup>29</sup> EFSA: European Food Safety Authority

#### 5.4.4. Τελική Χρήση

Το ανακυκλωμένο πλαστικό απορροφάται από τους τελικούς χρήστες και μετατρέπεται σε νέα προϊόντα. Όπως φαίνεται από τον πίνακα XXX, οι μεγαλύτερες ποσότητες ανακυκλωμένου πλαστικού απορροφώνται κατά σειρά από τους τομείς συσκευασίας, κατασκευών και τους λοιπούς τομείς. Σε ότι αφορά το βαθμό διείσδυσης, το μεγαλύτερο ποσοστό συναντάται κατά σειρά στους τομείς κατασκευών και στους λοιπούς τομείς, ενώ ο τομέας συσκευασίας παρουσιάζει το χαμηλότερο ποσοστό από όλους τους υπόλοιπους, γεγονός που έχει να κάνει γενικά με την απαιτούμενη ποιότητα του ανακυκλωμένου πλαστικού. Ο τομέας των συσκευασιών, ιδιαίτερα των εφαρμογών που έρχονται σε επαφή με τρόφιμα, είναι ιδιαίτερα απαιτητικός από πλευρά ποιότητας πρώτων υλών, το ανακυκλωμένο πλαστικό υστερεί σε ποιότητα (downcycling) και ως εκ τούτου οι παραγωγοί προϊόντων συσκευασίας κατά κανόνα χρησιμοποιούν παρθένες ρητίνες. Όπως φαίνεται επίσης στον πίνακα του σχήματος 58, μετά την αναγωγή των στοιχείων των πέντε χωρών σε επίπεδο ΕΕ, η βιομηχανία χρησιμοποιεί μόνο το 7,1% των ανακυκλωμένων πολυμερών.

Industry	Total demand for plastics raw materials (kt)	Demand of recyclates (kt)	Penetration rate of recyclates
Packaging	17,225	705	4.1%
Construction	3,234	534	16.5%
Automotive	2,386	142	5.5%
EEE	1,381	67	5.8%
Fibres	911	121	4.9%
Others	4,945	584	11.8%
<b>Total</b>	<b>30,283</b>	<b>2,153</b>	<b>7.1%</b>

Σχήμα 58: Βαθμός διείσδυσης ανακυκλωμένου πλαστικού στη ζήτηση ανά τομέα (Deloitte Sustainability)

Σε ότι αφορά την τομεακή ζήτηση ανά πολυμερές, η εικόνα έχει ως εξής:

- Το rPET χρησιμοποιείται κυρίως σε συσκευασίες (313 kt), ίνες (121 kt) και άλλες (80 kt) βιομηχανίες.
- Το rHDPE χρησιμοποιείται σε κατασκευές (321 kt), συσκευασίες (143 kt) και άλλες (107 kt) βιομηχανίες.

- Το rPP χρησιμοποιείται κυρίως στην αυτοκινητοβιομηχανία (125 kt), συσκευασίες (69 kt), κατασκευές (63 kt), EEE (53 kt) και άλλες βιομηχανίες (76 kt).
- Το rLDPE χρησιμοποιείται κυρίως σε συσκευασίες (180 kt), κατασκευές (150 kt) και βιομηχανίες και άλλες αγορές (320 kt).

Το PS και το PVC δεν έχουν συμπεριληφθεί στην προηγούμενη ανάλυση, για το λόγο ότι η χρήση των πολυμερών αυτών στις συσκευασίες βαίνει συνεχώς μειούμενη. Ωστόσο, αυτές οι ρητίνες εξακολουθούν να συλλέγονται και να ανακυκλώνονται, κυρίως όταν προέρχονται από βιομηχανικές και εμπορικές ροές αποβλήτων (συμπεριλαμβανομένων των αποβλήτων παραγωγής). Το PS και το PVC τα οποία συλλέγονται από τα νοικοκυριά, συνήθως απορρίπτονται ή αποτεφρώνονται.

## **5.5. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ**

Στη συνέχεια του κειμένου, αναλύεται η τρέχουσα απόδοση της αλυσίδας ανακύκλωσης και εντοπίζονται τα βασικά εμπόδια αλλά και οι ευκαιρίες για την επίτευξη του στόχου του 55%.

### **5.5.1. Σχεδιασμός των προϊόντων**

Η μεγάλη ποικιλία των διαθέσιμων προϊόντων σε συνδυασμό με την εγγενή πολυπλοκότητα των πλαστικών, επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την ποιότητα των ανακυκλωμένων προϊόντων. Στη συνέχεια παρατίθενται συγκεκριμένα παραδείγματα:

- Στον ίδιο τομέα δραστηριότητας και για την ίδια χρήση, η διαμόρφωση ενός υλικού συσκευασίας μπορεί να ποικίλλει με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η επεξεργασία των πλαστικών αυτών προϊόντων μέσω της ίδιας διαδρομής ανάκτησης. Για παράδειγμα, υπάρχει δυσκολία να επεξεργαστεί το διαυγές PET μαζί με διαυγείς δίσκους PET, αν δεν υπάρξει βελτιωμένη διαδικασία λόγω της μεγαλύτερης ποικιλίας των δίσκων σε σύγκριση με τις φιάλες (π.χ. διαφορές ως προς τα πρόσθετα και τη διαδικασία διαμόρφωσης). Ζητήματα επίσης υπάρχουν και με τις συσκευασίες μικρού μεγέθους (π.χ. καπάκια και σχισίματα) που χρησιμοποιούν σπάνιες πολυμερή (π.χ. PS, EPS ή PVC), με τις συσκευασίες

πολλαπλών υλικών και με τις συσκευασίες που έχουν επιμολυνθεί με υπολείμματα τροφών (π.χ. συσκευασίες γρήγορου φαγητού).

- Οι συσκευασίες μικρού μεγέθους και πολλαπλών υλικών είναι δύσκολο να ταξινομηθούν, δεν είναι οικονομικά αποδοτικές για ανακύκλωση και συνήθως απορρίπτονται.
- Η διαλογή και ανακύκλωση των πολυμερών που δεν συνηθίζονται (PS, PVC, PLA, πολυστρωματικές κλπ.) είναι γενικά πολύ δύσκολη, λόγω τεχνικών περιορισμών, και επιπλέον, η παρουσία τους στις ροές αποβλήτων συσκευασιών έχει ως αποτέλεσμα τη επιμόλυνση του PET και των ανακυκλωμένων πολυμερών πολυολεφινών. Παρόμοια ζητήματα αντιμετωπίζονται όταν η συσκευασίες περιέχουν υψηλά επίπεδα οργανικών ουσιών που υποβαθμίζουν την ποιότητα των ανακυκλωμένων πολυμερών.
- Ζητήματα επίσης υπάρχουν και με τα μαύρα και σκούρα πλαστικά που οδηγούν τελικά στην απώλεια αντίστοιχου υλικού. Οι τεχνολογίες οπτικής διαλογής, είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές σε πολλά πλαστικά, εφόσον οι ακτίνες μπορούν να αντιδράσουν με την επιφάνεια των πλαστικών. Στην περίπτωση των σκούρων και μαύρων πλαστικών, ειδικά εκείνων που περιέχουν συγκεκριμένες βαφές όπως το μαύρο αιθάλης, οι ακτίνες απορροφώνται, με αποτέλεσμα αυτά να μην μπορούν να αναγνωριστούν στη διαδικασία διαλογής. Η μοναδική εναλλακτική λύση είναι η αφαίρεση αυτών των ροών με αποτέλεσμα να χάνονται τελικά κατά τη διαδικασία της ανακύκλωσης.
- Προβλήματα επίσης δημιουργεί και ο συνδυασμός διαφόρων πολυμερών και βαθμών σε ένα προϊόν με τη χρήση επικαλυπτόμενων (π.χ. πολυστρωματικά) ή μη διαχωρίσιμων πλαστικών (π.χ. εύκαμπτες φιάλες). Οι πολυστρωματικές συσκευασίες γενικά περιέχουν πολυαμίδια ή αλκοόλη βινυλίου αιθυλενίου (EVOH). Αυτές οι ουσίες, εφόσον υπάρχουν στα ανακυκλώσιμα, κατά τη διαδικασία της ανακύκλωσης μπορεί να οδηγήσουν σε ακούσιο χρωματισμό των προϊόντων PET και να τροποποιήσουν τις χημικές, φυσικές και μηχανικές τους ιδιότητες.



- Το χαμηλό επίπεδο καθαρότητας ορισμένων ροών, που προκαλείται από την ανάμιξη διαφόρων ροών αποβλήτων (π.χ. συσκευασίες τροφίμων και οργανικά υπολείμματα, γεωργικά απόβλητα, συσκευασίες σε υπολείμματα ροών αποβλήτων κ.λπ. δημιουργεί ιδιαίτερα προβλήματα. Τα μη συμβατές πολυμερή ή ποιότητες πολυμερών ενδέχεται να έχουν απρόβλεπτες επιπτώσεις στην ποιότητα των ανακυκλωμένων πολυμερών. Ιδιαίτερα σε σχέση με τους βαθμούς, τα λαμπρυντικά και οι σταθεροποιητές UV μπορούν να επηρεάσουν τη διαδικασία διαλογής, καθώς αυτές οι ουσίες επηρεάζουν τη λειτουργία των οπτικών δεσμών των συσκευών οπτικής διαλογής.
- Το συμπέρασμα είναι ότι, η αποτελεσματική συλλογή και διαλογή, ο έλεγχος των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των ανακυκλωμένων πολυμερών (π.χ. σκούρα κηλίδωση, ελαστικότητα, κ.λπ.) και η αναγνώριση και επεξεργασία των πρόσθετων κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ανακύκλωσης αποτελεί πρόκληση για τη βιομηχανία. Όταν τα προϊόντα ανακύκλωσης θα πρέπει να συμμορφώνονται με αυστηρές απαιτήσεις (π.χ. για συσκευασίες σε επαφή με τρόφιμα), η πρόκληση γίνεται ακόμα μεγαλύτερη.
- Τα σημαντικά προβλήματα και οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει σήμερα ο τομέας ανακύκλωσης των πλαστικών αποβλήτων, συνδέονται με το γεγονός ότι τα περισσότερα πλαστικά προϊόντα δεν σχεδιάζονται για ανακύκλωση, αλλά για απόρριψη χωρίς να λαμβάνονται υπόψη ζητήματα αποδοτικότητας των πόρων και περιβαλλοντικά ζητήματα.

### **5.5.2. Υψηλές εμπορικές και τεχνικές απαιτήσεις και όμοιες της νομοθεσίας**

Οι απαιτήσεις όσον αφορά την ποιότητα των ανακυκλωμένων πολυμερών διαφέρουν σημαντικά από τομέα σε τομέα. Οι βασικές απαιτήσεις, καθώς και οι τομείς που επηρεάζονται περισσότερο, είναι οι εξής:

- Οι αυστηρές απαιτήσεις για εφαρμογές επαφής με τρόφιμα, οι οποίες επί του παρόντος επηρεάζουν περισσότερο τα σχήματα ανακύκλωσης φιαλών PET με σκοπό την παραγωγή φιαλών PET (PET bottle-to-bottle). Άλλες

ανακυκλούμενες πολυμερή (π.χ. HDPE και LDPE), οι οποίες επί του παρόντος έχουν περιορισμένη χρήση σε συσκευασίες επαφής με τρόφιμα, επηρεάζονται από τις απαιτήσεις αυτές που καθορίζονται από την Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων (EATF)<sup>30</sup> και επηρεάζουν όλα τα προϊόντα που διατίθενται στην αγορά της ΕΕ.

- Οι τεχνικές απαιτήσεις που καλύπτουν το χρώμα, τις μηχανικές και φυσικές ιδιότητες ιδιαίτερα στη διάρκεια:
- Των διαδικασιών διαμόρφωσης (π.χ. χύτευση με έγχυση και εξώθηση) συσκευασιών που δεν αφορούν τρόφιμα.
- Της παραγωγής προϊόντων μαύρου χρώματος που είναι δύσκολο να επιτευχθεί με τα ανακυκλωμένα.
- Της παραγωγής ινών (π.χ. για να επιτευχθεί χαμηλό επίπεδο ή πλήρης απουσία ρύπων).
- Της παραγωγής εξαρτημάτων για την αυτοκινητοβιομηχανία και τη βιομηχανία κατασκευών (π.χ. υψηλή ανθεκτικότητα και άλλες ειδικές μηχανικές ιδιότητες).

Η πολυπλοκότητα των πολυμερών και η ποικιλία των πλαστικών προϊόντων συχνά προκαλούν δυσκολίες σχετικά με τη δυνατότητα απόδειξης συμμόρφωσης με συγκεκριμένες απαιτήσεις. Οι τεχνολογικές εξελίξεις και οι βελτιώσεις στη διαχείριση των αποβλήτων δεν έχουν πάντα ως αποτέλεσμα την ικανοποίηση των απαιτήσεων καθώς οι τελικοί χρήστες απαιτούν συνεχώς καλύτερη διαλογή, λιγότερη οσμή και βελτιστοποιημένα χρώματα για να ικανοποιήσουν τους πελάτες τους.

### **5.5.3. Συλλογή Αποβλήτων**

#### **5.5.3.1. Παραδείγματα συστημάτων συλλογής πλαστικού συσκευασίας ευρωπαϊκών χωρών<sup>31</sup>.**

---

<sup>30</sup> European Food Safety Authority

<sup>31</sup> Packaging Europe, (<https://packagingeurope.com/plastic-packaging-waste-statistics-2016-recycling/>).

Οι ακόλουθες χώρες περιλαμβάνουν όλα τα είδη πλαστικών συσκευασιών στα συστήματα συλλογής από τα νοικοκυριά: Γερμανία, Ολλανδία, Φινλανδία, Ισλανδία, Ιταλία, Νορβηγία, Πορτογαλία, Ισπανία και Σουηδία, σε ξεχωριστό κλάσμα πλαστικών, μαζί με άλλες ελαφρές συσκευασίες ή ταξινομούνται σε κεντρικές μονάδες διαλογής για υπολείμματα αποβλήτων. Σε άλλες χώρες, όπως η Αυστρία και το Ηνωμένο Βασίλειο, ορισμένες περιοχές της χώρας συλλέγουν όλες τις πλαστικές συσκευασίες, ενώ άλλες επικεντρώνονται μόνο σε άκαμπτες πλαστικές συσκευασίες. Η Γερμανία, η Ολλανδία, η Φινλανδία, η Ισλανδία, η Νορβηγία και η Σουηδία έχουν επιπλέον ένα σύστημα απόθεσης (deposit) για τις περισσότερες από τις φιάλες ποτών. Στο Βέλγιο, τη Γαλλία και την Ελβετία, τα συστήματα Διευρυμένης Ευθύνης του Παραγωγού επικεντρώνονται σε άκαμπτα πλαστικά (φιάλες), αλλά η Γαλλία πρόκειται σύντομα να επεκτείνει το πεδίο εφαρμογής του συστήματος σε όλες τις πλαστικές συσκευασίες.

#### **5.5.3.2. Υψηλός ανταγωνισμός με την υγειονομική ταφή και την αποτέφρωση**

Τα στοιχεία των πέντε χωρών που αναλύθηκαν όπως και τα παραδείγματα ευρωπαϊκών χωρών που διαθέτουν αποτελεσματικά συστήματα συλλογής πλαστικών συσκευασιών, δείχνουν ότι η χωριστή συλλογή έχει αυξηθεί σημαντικά. Ωστόσο, η υγειονομική ταφή (εκτός της Γερμανίας όπου υπάρχει απαγόρευση υγειονομικής ταφής) καθώς και η αποτέφρωση με ή χωρίς ανάκτηση ενέργειας παραμένουν οι οικονομικότερες μέθοδοι επεξεργασίας. Επιπλέον, ο κατακερματισμός της συλλογής και διαλογής έχει ως αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνονται οικονομίες κλίμακας στην ανακύκλωση υψηλής ποιότητας.

Παράλληλα, όπως αποδεικνύεται από τις επιδόσεις της Γερμανίας, αυστηρά μέτρα, όπως η απαγόρευση της υγειονομικής ταφής, έχουν άμεση επίδραση στην αύξηση της απόδοσης της ανακύκλωσης και στον περιορισμό της διαρροής του πλαστικού στο περιβάλλον. Οι χώροι υγειονομικής ταφής δεν λειτουργούν μόνο ως βασικός ανταγωνιστής της ανακύκλωσης, αλλά αποτελούν επίσης και άμεση πηγή θαλάσσιας ρύπανσης.

Αν και υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των κρατών-μελών, υπάρχει μια γενική τάση εκτροπής των αποβλήτων από την υγειονομική ταφή προς την αποτέφρωση λόγω των ολοένα και αυστηρότερων μέτρων που επιβάλλονται από τη νομοθεσία της ΕΕ και αφορούν την υγειονομική ταφή. Ως αποτέλεσμα, τα απόβλητα χαμηλής ποιότητας διοχετεύονται σε εγκαταστάσεις ανάκτησης ενέργειας των οποίων η χωρητικότητα συνεχώς αυξάνεται

Η εξαγωγή αποβλήτων σε χώρες εκτός ΕΕ αποτελεί επίσης φθηνότερη εναλλακτική λύση από την ανακύκλωση, με αποτέλεσμα, οι εξαγωγές της ΕΕ πλαστικών που συλλέγονται για ανακύκλωση να φτάνουν σχεδόν στο 50% .

#### **5.5.4. Πίεση από το κόστος των συστημάτων και των μηχανισμών τιμολόγησης**

Λόγω των ιδιοτήτων της πλαστικής συσκευασίας, το κόστος που συνδέεται με την επεξεργασία πλαστικών στο τέλος της ζωής τους τείνει να είναι σημαντικά υψηλότερο από το κόστος επεξεργασίας άλλων υλικών. Για παράδειγμα στη Γαλλία, οι πλαστικές συσκευασίες αντιστοιχούν στα υψηλότερα τέλη παραγωγής (57% των συνολικών συνεισφορών), παρά το γεγονός ότι αντιπροσωπεύουν λιγότερο από το ένα τέταρτο των ποσοτήτων που διατίθεται στην αγορά. Ωστόσο, για την ίδια ποσότητα υλικού, τα πλαστικά επιτρέπουν την παραγωγή ενός πολύ μεγαλύτερου αριθμού τεμαχίων συσκευασίας σε σύγκριση πάντα με άλλα υλικά όπως το γυαλί ή το μέταλλο.

Ένα άλλο παράδειγμα, όπου οι μηχανισμοί των τιμών δεν παράγουν τα απαιτούμενα αποτελέσματα για υψηλότερα ποσοστά ανακύκλωσης, είναι οι σημειώσεις ανάκτησης συσκευασιών (Packaging Recovery Notes - PRN) που εκδίδονται στο Ηνωμένο Βασίλειο. Τα PRNs εκδίδονται εύκολα για δέματα που εξάγονται ενώ τα δέματα που υποβάλλονται σε επεξεργασία στο Ηνωμένο Βασίλειο, περνούν από μια διαδικασία διαλογής και απολύμανσης καθώς και πολυάριθμες επιθεωρήσεις από την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος.

Γενικά, τα απόβλητα που προορίζονται για εξαγωγές είναι ιδιαίτερα μολυσμένα. Το χαμηλό κόστος εργασίας στις ασιατικές χώρες έχει ως αποτέλεσμα η διαλογή με το χέρι των εξαιρετικά μολυσμένων αποβλήτων να αποτελεί ελκυστική επιλογή.

Συνολικά, η σχετικά χαμηλή οικονομική αξία αυτών των υλικών σε σχέση με το κόστος που δημιουργείται από τη συλλογή και ανακύκλωσή τους αποτελεί ένα επιπλέον εμπόδιο που πρέπει να αντιμετωπιστεί για να επιτευχθεί μεγαλύτερο ποσοστό συλλογής και ανάκτησης των πλαστικών αποβλήτων συσκευασίας.

Η σχετική τιμή των ανακυκλωμένων πολυμερών συγκρινόμενη με την τιμή των παρθένων πολυμερών αποτελεί βασικό παράγοντα για την αύξηση της απόδοσης της αλυσίδας ανακύκλωσης. Γενικά, η διακύμανση των τιμών των παρθένων πολυμερών δεν συνδέεται με τις τιμές των ανακυκλωμένων πολυμερών.

Η διαφορά τιμής των ανακυκλωμένων έναντι των παρθένων πολυμερών, αλλάζει ανάλογα με τις συνθήκες της αγοράς και επηρεάζεται επίσης από την ποιότητα (ιδιότητες του υλικού και χρώμα) των ανακυκλωμένων πολυμερών. Σε γενικές γραμμές, στην ΕΕ οι τιμές των ανακυκλωμένων πολυμερών κυμαίνονται μεταξύ 10% και 75% της τιμής των αντίστοιχων παρθένων πολυμερών. Ωστόσο, η διαφορά τιμής μεταξύ υψηλής ποιότητας ανακυκλωμένων πολυμερών και παρθένων υλικών μπορεί να μειωθεί σημαντικά ακόμα και να αντιστραφεί βραχυπρόθεσμα, σημαντικές αλλαγές στη ζήτηση για ανακυκλωμένο πολυμερές και για ορισμένη χρήση μπορεί να διαταράξει την αγορά. Αυτές οι αλλαγές θα μπορούσαν να επηρεάσουν την τιμή των παρθένων πολυμερών. Για παράδειγμα, η τιμή του καθαρού rPET στην Ευρώπη είχε μερικές φορές υπερβεί την τιμή του καθαρού παρθένου PET για σύντομες χρονικές περιόδους.

#### **5.5.5. Συλλογή οικιακών αποβλήτων**

Σε χώρες με ανώριμο σύστημα διαχείρισης οικιακών αποβλήτων (π.χ. Πολωνία), με μη εναρμονισμένα συστήματα συλλογής (π.χ. Ηνωμένο Βασίλειο) ή με διαδικασίες διαλογής από μικτά απόβλητα (π.χ. Ισπανία), τα οργανικά απόβλητα μπορούν να αποτελέσουν σημαντική πηγή μόλυνσης στη διαδικασία της ανακύκλωσης, επηρεάζοντας αρνητικά την ποιότητα της παραγωγής. Κατά συνέπεια, απαιτείται προηγμένος και δαπανηρός εξοπλισμός και τεχνολογίες διαλογής για την απολύμανση των πλαστικών απόβλητων προκειμένου να διασφαλίζεται ότι η ανακύκλωση των αποβλήτων είναι αποδοτική από πλευράς κόστους και ότι η παραγωγή μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις ποιότητας.

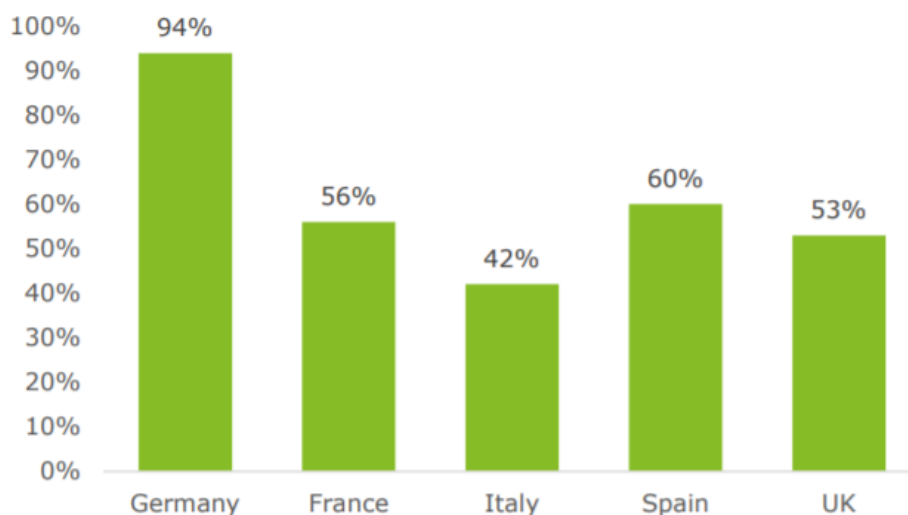
Αντίθετα, στις χώρες όπου γίνεται περισσότερο επιλεκτική διαλογή στην πηγή (π.χ. ύπαρξη χωριστών κάδων για πλαστικά, διαχωρισμός ανάλογα με το σχήμα ή / και χρώμα, ύπαρξη συστημάτων απόθεσης, κ.λπ.), ο κίνδυνος της μόλυνσης μειώνεται. Κατά συνέπεια, η είσοδος στις εγκαταστάσεις διαλογής και ανακύκλωσης είναι υψηλότερης ποιότητας και η ικανοποίηση των απαιτήσεων των τελικών χρηστών γίνεται περισσότερο εφικτή τόσο από τεχνική όσο και από οικονομική άποψη. Όπως επισημάνθηκε και στη στρατηγική της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τα πλαστικά, η εφαρμογή του ισχύοντος κεκτημένου, ιδίως όσον αφορά τις απαιτήσεις χωριστής συλλογής, όπως αυτές ορίζονται από τη νομοθεσία της ΕΕ αποτελούν βασική προϋπόθεση για την επίτευξη κυκλικής οικονομίας για τη βιομηχανία των πλαστικών.

Στον πίνακα του σχήματος 59 φαίνονται τα σχήματα συλλογής πλαστικών αποβλήτων συσκευασίας, των πέντε χωρών αναφοράς και τα ποσοστά συλλογής και ανακύκλωσης για την κάθε χώρα χωριστά. Επισημαίνεται, ότι ο ρυθμός ανακύκλωσης αναφέρεται σε πραγματικούς ρυθμούς ανακύκλωσης πλαστικών πολυολεφίνης και όχι στις συνολικές ποσότητες πλαστικών που συλλέγονται για ανακύκλωση. Τα ποσοστά συλλογής είναι αυτά που αναφέρουν συχνότερα τα κράτη μέλη. Ο πίνακας δείχνει ότι ο τύπος του υφιστάμενου συστήματος συλλογής έχει σημαντικό αντίκτυπο στη συνολική απόδοση της ανακύκλωσης. Η Γερμανία, η οποία έχει αναπτύξει ένα σύστημα απόθεσης φιαλών PET και ξεχωριστής συλλογής για πλαστικά, αποδεικνύει μακράν την υψηλότερη απόδοση. Η Ιταλία επιδεικνύει καλή απόδοση ανακύκλωσης λόγω του ώριμου συστήματος συλλογής. Η Γαλλία και η Ισπανία έχουν επίσης αναπτύξει ξεχωριστά συστήματα, αλλά η απόδοση της ανακύκλωσης είναι μάλλον αδύναμη. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι στη Γαλλία η χωριστή συλλογή δεν είναι ώριμη για όλα τα σχήματα και τις πολυμερή, ενώ στην Ισπανία υπάρχει υψηλό ποσοστό πλαστικών από υπολείμματα αποβλήτων που μολύνουν το ρεύμα πλαστικών. Το Ηνωμένο Βασίλειο παρουσιάζει τη χαμηλότερη απόδοση, λόγω κυρίως των σημαντικών ποσοτήτων πλαστικών αποβλήτων που εξάγονται σε χώρες εκτός ΕΕ.

Country	Type of collection scheme	Collection rate	Recycling rate
France	Separate collection on HH bottles and flasks, and ongoing extension to all packaging	44%	21%
Germany	Deposit scheme for PET bottles and "yellow bins" for all others and separation by colour	76%	36%
UK	Significant non-collected amount of household containers	38%	22%
Spain	A separate collection scheme is in place but high amounts of plastic waste is collected from residual waste	41%	31%
Italy	A good level of separate collection in place	55%	42%

Σχήμα 59: Συστήματα συλλογής Γερμανίας, Γαλλίας, Ιταλίας, Ισπανίας και Ηνωμένου Βασιλείου και ποσοστά συλλογής και ανακύκλωσης πλαστικών αποβλήτων συσκευασίας (Deloitte Sustainability)

Τα συνολικά συστήματα απόθεσης φαίνεται να είναι τα πλέον αποτελεσματικά για την επίτευξη υψηλών ποσοστών συλλογής, τόσο με όρους ποσότητας όσο και ποιότητας. Στο σχήμα 60 απεικονίζονται οι ρυθμοί συλλογής φιαλών PET στη Γερμανία, τη Γαλλία, την Ιταλία, την Ισπανία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Η εισαγωγή του συστήματος απόθεσης στη Γερμανία οδήγησε σε σημαντική αύξηση των ποσοστών συλλογής σε σύγκριση με τις άλλες χώρες. Η Γαλλία καταδεικνύει υψηλότερο ποσοστό συλλογής από την Ιταλία λόγω της υψηλότερης κάλυψης της χώρας με συστήματα χωριστής συλλογής. Το Ηνωμένο Βασίλειο εξάγει το μεγαλύτερο μέρος των αποβλήτων του λόγω της χαμηλής ποιότητας συλλογής και διαλογής.



Σχήμα 60: Ρυθμός συλλογής PET στη Γερμανία, Γαλλία, Ιταλία, Ισπανία και Ηνωμένο Βασίλειο -2015 (Deloitte Sustainability)

Από άποψη ποιότητας, όπως φαίνεται στον Πίνακα του σχήματος 61, η συνολική περιεκτικότητα σε ρυπαντές σε ανακυκλωμένες νιφάδες είναι σημαντικά χαμηλότερη

στη Γερμανία σε σύγκριση με τις άλλες χώρες για όλους τους ρύπους, εκτός από τα πολυαμίδια (PA). Αυτό αποδίδεται στους σάκους συλλογής που χρησιμοποιούνται στις αυτόματες μηχανές επιστροφής καθώς και στις μικτές συσκευασίες, οι οποίες περιλαμβάνουν ένα στρώμα PA.

Country	Contaminants		
	PVC (ppm)	PA (ppm)	Other contaminants (ppm)
Germany	16.4	32.1	29.4
France	313.8	4.1	136.2
Italy	387.1	6.5	542.4

Σχήμα 61: Περιεχόμενο επιμολυντικών ουσιών στο rPET στη Γερμανία, Γαλλία και Ιταλία (Deloitte Sustainability)

Τα στοιχεία αυτά δείχνουν, ότι σε ότι αφορά τις φιάλες PET, τα συστήματα απόθεσης αποτελούν την πλέον αποδοτική μέθοδο συλλογής, τόσο από άποψη ποσότητας όσο και ποιότητας του συλλεγόμενου υλικού.

### 5.5.6. Διαλογή και ανακύκλωση

Σε ορισμένες περιπτώσεις η απαιτούμενη ποιότητα μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή συγκεκριμένων τεχνολογιών. Για παράδειγμα, για την παραγωγή του rPET, ανάλογα με την ποιότητα των συλλεγόμενων αποβλήτων, μπορεί να απαιτηθούν προηγμένοι οπτικοί διαλογείς για την επίτευξη υψηλής ποιότητας για εφαρμογές συμβατές με τρόφιμα ή ίνες. Ομοίως, για τα ίχνη άλλων πολυμερών που είναι συχνά παρόντα στο HDPE, ενδέχεται να χρειαστούν ειδικοί διαλογείς για τον διαχωρισμό του PP από το HDPE. Παρόμοια ζητήματα αντιμετωπίζονται στην ανακύκλωση του LDPE, όταν αφαιρούνται ρύποι (σύνθετες ταινίες, χρώματα, βιολογικά απόβλητα κ.λπ.). Η χημική ανακύκλωση βρίσκεται ακόμη σε πρώιμα στάδια ανάπτυξης και δεν αναμένεται να είναι πλήρως λειτουργική πριν από το 2025.

Η εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών διαλογής απαιτεί σημαντικές επενδύσεις που θα αυξήσουν τελικά το κόστος της ανακύκλωσης επηρεάζοντας ολόκληρη την αλυσίδα ανακύκλωσης. Οι επενδύσεις συχνά διαφέρουν ανάλογα με το επεξεργαζόμενο πολυμερές. Για τις φιάλες PET, για παράδειγμα, τα έσοδα από την ανακύκλωση είναι υψηλότερα από το κόστος συλλογής, διαλογής και ανακύκλωσης. Ωστόσο, κατά μέσο όρο το κόστος είναι υψηλότερο από τα έσοδα της επεξεργασίας



των αποβλήτων πλαστικών συσκευασιών σε σύγκριση με τα υπολείμματα αποβλήτων (εξαιρουμένων των περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων).

### 5.5.7. Τελική χρήση

Εξ ορισμού, ο κλάδος απαιτεί συνεχή παροχή πρώτων υλών τόσο από πλευράς ποιότητας όσο και από πλευράς ποσότητας. Μια κυμαινόμενη προσφορά μπορεί να οδηγήσει σε διακοπές της παραγωγής ή να επηρεάσει την ποιότητα των προϊόντων. Μια πρόσφατη έρευνα που διεξήχθη μεταξύ 485 μετατροπέων, έδειξε ότι η ποιότητα και η σταθερότητα της προσφοράς αποτελεί βασικό εμπόδιο στη χρήση ανακυκλωμένων πλαστικών με το 60% των ερωτηθέντων να δηλώνουν ότι η εξεύρεση ικανοποιητικής προσφοράς είναι δύσκολη έως πολύ δύσκολη. Οι διακυμάνσεις στην προσφορά θα μπορούσαν επίσης να οδηγήσουν σε σημαντικές διακυμάνσεις στις τιμές των ανακυκλωμένων πολυμερών και συνεπώς να δημιουργήσουν αβεβαιότητα στην αγορά που θα λειτουργούσε ανασταλτικά και για επενδύσεις.

Οι σταθερές προμήθειες βασίζονται στην απόδοση κάθε σταδίου της αλυσίδας ανακύκλωσης. Εάν η συλλογή των ροών συσκευασιών είναι αποτελεσματική τόσο από την άποψη της ποιότητας όσο και της ποσότητας των συλλεγόμενων αποβλήτων, η παραγωγή των εγκαταστάσεων ανακύκλωσης θα είναι επίσης περισσότερο σταθερή και θα απαιτεί χαμηλότερες επενδύσεις και λειτουργικά έξοδα.

Με εξαίρεση το rPET, προς το παρόν δεν υπάρχει σταθερή υψηλή ροή ανακυκλωμένων πολυμερών υψηλής ποιότητας και ούτε καθαρή οριζόντια προσέγγιση σε ότι αφορά την αναγνώριση των χημικών τα οποία θα πρέπει να αφαιρεθούν από τη φάση του σχεδιασμού για να αντιμετωπιστεί η ρύπανση των ανακυκλωμένων πολυμερών,

Τα οικονομικά κίνητρα για τη χρήση ανακυκλωμένων πλαστικών υλικών στα προϊόντα είναι αδύναμα. Ωστόσο, ορισμένες στρεβλώσεις στην προσφορά οφείλονται σε περιορισμούς που επιβάλλονται από τα συστήματα Διευρυμένης Ευθύνης Παραγωγού, τα οποία δεν επιτρέπουν στους ανακυκλωτές να έχουν πρόσβαση σε πολλές πηγές οικιακών απορριμμάτων.

Επιπλέον, όπως επισημάνθηκε προηγούμενα, οι απαιτήσεις ποιότητας που καθορίζονται από τους τελικούς χρήστες εισάγουν σημαντικές προκλήσεις για τους ανακυκλωτές λόγω του υψηλού επιπέδου μόλυνσης των ροών των αποβλήτων συσκευασίας (π.χ. εισροές που περιέχουν πρόσθετα που δεν επιτρέπονται σε συγκεκριμένες εφαρμογές και δεν μπορούν να αφαιρεθούν μέσω μηχανικής ανακύκλωσης). Τα ζητήματα ποιότητας είναι ιδιαίτερα σημαντικά όταν το προς ανακύκλωση υλικό συλλέγεται από τα υπολείμματα αποβλήτων. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι έξοδοι χρησιμοποιούνται κυρίως στις μη απαιτητικές εφαρμογές χύτευσης (π.χ. δοχεία, κάδοι κ.λπ.), καθώς δεν είναι κατάλληλες για τεχνικές εφαρμογές (π.χ. ίνες και συσκευασίες).

#### **5.5.8. Έλλειψη επικοινωνίας σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας**

Συνολικά, ολόκληρη η αλυσίδα αξίας χαρακτηρίζεται από έλλειψη επικοινωνίας που εμποδίζει την κατανόηση των αναγκών και των περιορισμών. Υπάρχουν πολλές αποτελεσματικές και αποδοτικές πρωτοβουλίες σε συγκεκριμένα κράτη μέλη, αλλά συλλογικά δεν επαρκούν για την παροχή υψηλής ποιότητας ανακύκλωσης σε επίπεδο ΕΕ. Η κλιμάκωση τέτοιων πρωτοβουλιών εμποδίζεται σημαντικά λόγω ανεπαρκούς συνειδητοποίησης που διατρέχει ολόκληρη την αλυσίδα αξίας. Η επικοινωνία είναι ανεπαρκής, ιδίως στους ακόλουθους τομείς:

- Γενικά, οι κατασκευαστές και οι τελικοί χρήστες αποφεύγουν να αποκαλύπτουν πληροφορίες σχετικά με την αναλογία ανακυκλωμένων υλικών στα προϊόντα τους, καθώς θα μπορούσαν να θεωρηθούν ότι έχουν χαμηλότερη ποιότητα.
- Παρά την αυξανόμενη ευαισθητοποίηση του κοινού, οι καταναλωτές εξακολουθούν να έχουν περιορισμένες γνώσεις σε ζητήματα γύρω από τα πλαστικά (π.χ. για τη σημασία της χωριστής συλλογής για την επίτευξη υψηλότερης ποσότητας και ποιότητας ανακυκλωμένων πολυμερών).
- Η συνεργασία μεταξύ των κατασκευαστών, των κέντρων διαλογής και των ανακυκλωτών είναι μάλλον αδύναμη. Για παράδειγμα, μερικές από τις φιάλες HDPE αντικαταστάθηκαν από PET που καλύπτεται με LDPE ή PS που προκαλεί προβλήματα κατά τη διαδικασία διαλογής, καθώς αυτά τα αντικείμενα δεν ανιχνεύονται ως PET.

- Υπάρχει περιορισμένη συνεργασία μεταξύ των κατασκευαστών από διαφορετικούς τομείς σε ότι αφορά τον εντοπισμό ευκαιριών τυποποίησης της σύνθεσης των πλαστικών για διατομεακή χρήση των ανακυκλωμένων πολυμερών.

Η κάλυψη αυτών των κενών επικοινωνίας αποτελεί προϋπόθεση για την επίτευξη του στόχου του 55% ανακύκλωσης υψηλής ποιότητας. Η σημασία της ενίσχυσης της συνεργασίας σε όλη την αλυσίδα αξίας αναγνωρίζεται από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς.

### **5.5.9. Προκλήσεις και ευκαιρίες για τον τομέα ανακύκλωσης**

#### **5.5.9.1. Προκλήσεις**

Οι βελτιώσεις των πρακτικών διαχείρισης των αποβλήτων και ιδιαίτερα τα αυξημένα επίπεδα χωριστής συλλογής έχουν οδηγήσει σε καθαρότερες αποδόσεις με μικρότερα επίπεδα επιμόλυνσης με επικίνδυνες ουσίες, βιοαπόβλητα και μη πλαστικά υλικά. Από την άλλη, οι ανάγκες του τομέα συσκευασίας, στο πλαίσιο των προσπαθειών των κατασκευαστών προϊόντων να διαφοροποιηθούν από τον ανταγωνισμό, γίνονται όλο και πιο σύνθετες.

Η αυξημένη πολυπλοκότητα των συσκευασιών ενισχύεται συχνά από υψηλότερες απαιτήσεις σε ότι αφορά την ασφάλεια της υγείας, ιδίως σε σχέση με εφαρμογές που έρχονται σε επαφή με τρόφιμα. Η πολυπλοκότητα της συσκευασίας συμβάλλει σε υψηλό επίπεδο στην επιμόλυνση των συλλεγόμενων αποβλήτων που φθάνουν στις εγκαταστάσεις διαλογής και ανακύκλωσης.

Ταυτόχρονα, το χαμηλό κόστος ορισμένων μεθόδων επεξεργασίας αποβλήτων δεν δημιουργεί τα απαραίτητα κίνητρα που θα κατεύθυναν τα συλλεγμένα απόβλητα συσκευασίας στην ανακύκλωση. Με ορισμένες εξαιρέσεις (π.χ. Γερμανία), η υγειονομική ταφή παραμένει μια σημαντική μέθοδος επεξεργασίας, ελλείψει απαγορεύσεων ή υψηλών χρεώσεων, που θα λειτουργούσαν ως αντικίνητρο.

Χωρίς τις απαραίτητες πολιτικές τιμών, ακόμη και οι απαγορεύσεις υγειονομικής ταφής θα μπορούσαν να στρέψουν τις ροές των πλαστικών αποβλήτων προς την κάυση ή την εξαγωγή προς χώρες εκτός ΕΕ αντί προς την ανακύκλωση.

Όσον αφορά την προμήθεια ανακυκλωμένων πολυμερών, το πρόβλημα αντιμετωπίζεται τόσο από τους ανακυκλωτές όσο και από τους τελικούς χρήστες: οι ανακυκλωτές αντιμετωπίζουν δυσκολίες που σχετίζονται με τις ετερογενείς ροές που φθάνουν στις εγκαταστάσεις τους (διαφορετικά σχήματα, μερίδια πλαστικών, ρύποι, εποχιακές διακυμάνσεις κ.λπ.) και κατά συνέπεια, είναι δύσκολο να εξασφαλίσουν σταθερή παροχή ανακυκλωμένων πολυμερών (τόσο από πλευράς ποιότητας όσο και ποσότητας). Η έλλειψη οράματος και διασφάλισης της προσφοράς ανακυκλωμένων πλαστικών μπορούν να εκτρέψουν την προτίμηση των τελικών χρηστών προς τα παρθένα υλικά. Τα παρθένα υλικά, συχνά προτιμώνται λόγω της αρνητικής εικόνας που υπάρχει σε ότι αφορά τις πιθανές επιπτώσεις στην υγεία από τη χρήση ανακυκλωμένου πλαστικού, ιδιαίτερα στις εφαρμογές επαφής με τρόφιμα, παρά την ύπαρξη αυστηρών απαιτήσεων.

Η αναγνώριση των τομέων και περιοχών που χρήζουν βελτίωση παραμένει ένας δύσκολος στόχος, καθόσον όπως συμβαίνει συχνά δεν υπάρχει συστηματική και επαρκής παρακολούθηση των ροών πλαστικού (ιδιαίτερα σε ότι αφορά τα εμπορικά και βιομηχανικά απόβλητα).

#### **5.5.9.2. Ευκαιρίες**

Δίπλα στις σημαντικές προκλήσεις, υπάρχουν επίσης πολλές ευκαιρίες που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε βελτιώσεις σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας. Υπάρχει αυξημένη συνειδητοποίηση τόσο από πλευράς προσφοράς όσο και από πλευράς ζήτησης για τα ζητήματα που σχετίζονται με τα πλαστικά (π.χ. θαλάσσια ρύπανση) που μπορούν να δημιουργήσουν την επιχειρηματική βάση για την επίτευξη του στόχου 55% ανακύκλωσης. Η αυξανόμενη συνειδητοποίηση αντικατοπτρίζεται στην Εταιρική Κοινωνική Ευθύνη και στις στρατηγικές μάρκετινγκ των εταιρειών, καθώς και σε εκστρατείες επικοινωνίας που οργανώνονται στο πλαίσιο της Διευρυμένης Ευθύνης Παραγωγού (EPR).

Οι πρωτοπόρες βιομηχανίες βελτιώνουν την απόδοσή τους μέσω καλύτερου σχεδιασμού για ανακύκλωση και αυξημένης χρήσης ανακυκλωμένων πολυμερών στα προϊόντα τους. Σε ότι αφορά τα συστήματα χωριστής συλλογής, από τα στοιχεία

προκύπτει ότι αυξάνονται σε αριθμό και βελτιώνεται η ποιότητά της τελικής παραγωγής. Τα προγράμματα Διευρυμένης Ευθύνης Παραγωγού παίζουν καθοριστικό ρόλο στην επίτευξη υψηλής αποτελεσματικότητας και στη δημιουργία επενδυτικών κινήτρων για προηγμένες τεχνολογίες διαλογής και ανακύκλωσης. Η ύπαρξη προτύπων και πιστοποιητικών, που θα αποδείκνυαν τη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις των τελικών χρηστών, θα επέτρεπαν υψηλότερη απορρόφηση ανακυκλωμένου υλικού ακόμη και σε εφαρμογές με υψηλές απαιτήσεις ποιότητας. Ταυτόχρονα, η μετάβαση από γραμμικά σε μοντέλα κυκλικής οικονομίας σε όλη την αλυσίδα ανακύκλωσης, θα βελτιστοποιήσει τις αποδόσεις των πόρων μέσω της κυκλοφορίας των πλαστικών, περιορίζοντας με τον τρόπο αυτό τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

## **6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΕ ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ**

### **6.1. Η ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΕ ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΜΕΙΩΣΕΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ.**

Η κυκλική οικονομία κερδίζει αυξανόμενο ενδιαφέρον ως μέσο για την αειφόρο ανάπτυξη και ως δυνητικός τρόπος για την αύξηση της ευημερίας της κοινωνίας, περιορίζοντας τις απαιτήσεις σε πεπερασμένες πρώτες ύλες και ελαχιστοποιώντας τις αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Μια τέτοια μετάβαση, απαιτεί συστημική προσέγγιση που να ξεπερνά τη λογική των διαδοχικών βελτιώσεων του υπάρχοντος μοντέλου και απαιτεί την ανάπτυξη νέων μηχανισμών συνεργασίας.

Η κυκλική οικονομία είναι μια εναλλακτική λύση σε σχέση με το παραδοσιακό γραμμικό οικονομικό μοντέλο του τύπου «παραγωγή -χρήση- απόρριψη» το οποίο δίνει προτεραιότητα στην παράταση του κύκλου ζωής των προϊόντων, προκειμένου να παράγεται η μέγιστη δυνατή αξία από τους πόρους που έχουν χρησιμοποιηθεί καθώς και στην ανάκτηση υλικών στο τέλος του κύκλου ζωής των προϊόντων.

Μια σημαντική αρχή της κυκλικής οικονομίας είναι η αύξηση της σύλληψης και της ανάκτησης υλικών σε ρεύματα αποβλήτων ώστε να μπορούν να ανακυκλωθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν σε νέα προϊόντα.

Ένα ρεαλιστικό σενάριο, που περιλαμβάνει αύξηση της ανακύκλωσης του πλαστικού μετά την χρήση του (έως 55%) και ελαχιστοποίηση της υγειονομικής ταφής (έως 10% κατ' ανώτατο όριο) θα μπορούσε να έχει ως αποτέλεσμα ιδιαίτερα σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη. Εάν οι στόχοι του σεναρίου εφαρμοστούν σε ολόκληρη την Ευρώπη και στη Βόρεια Αμερική, το περιβαλλοντικό κόστος των πλαστικών θα μπορούσε να μειωθεί κατά 7,9 δισ. δολάρια περίπου σε καθαρούς όρους, συμπεριλαμβανομένου του οικονομικού κέρδους από το πλαστικό και την ενέργεια που θα ανακτηθούν.

Η ανακύκλωση, προσφέρει μια σημαντική κοινωνική και περιβαλλοντική απόδοση της επένδυσης, επιπλέον της οικονομικής αξίας των ανακτώμενων υλικών. Στο σενάριο που προαναφέρθηκε, τα περιβαλλοντικά οφέλη από την αύξηση της ανακύκλωσης ξεπερνούν το κόστος των ρυπογόνων εκπομπών και των εξωτερικών δαπανών διαχείρισης των αποβλήτων τουλάχιστον 3,9 φορές (American Chemistry Council, n.d.)

## **6.2. ΝΕΑ ΥΛΙΚΑ**

Η σημερινή βιομηχανία πλαστικών βασίζεται στις ορυκτές πρώτες ύλες και στην ενέργεια. Τα κεφάλαια που έχουν επενδυθεί μέχρι σήμερα προς την κατεύθυνση βελτιστοποίησης της πετροχημικής βιομηχανίας, δυστυχώς αποτελούν εμπόδιο για την εισαγωγή νέων υλικών που δεν είναι συμβατά με την εγκατεστημένη υποδομή. Έτσι, παρά τις προσπάθειες σε ευρωπαϊκό, εθνικό και τοπικό επίπεδο για την ενίσχυση της συμμετοχής των υλικών που παράγονται από οργανικές πρώτες ύλες, ή για την παραγωγή εντελώς νέων υλικών τα αποτελέσματα είναι περιορισμένα.

Ως αποτέλεσμα των παραγόντων που προαναφέρθηκαν, δεν είναι ρεαλιστικό να υποθέσουμε ότι η βιομηχανία των πλαστικών θα επαναπροσδιορίσει με γρήγορους ρυθμούς το χαρακτήρα της, σε ότι αφορά τις χρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες και το μοντέλο παραγωγής νέων υλικών. Οι μέχρι σήμερα προσπάθειες εστιάστηκαν κατά κύριο λόγο στη βελτίωση του γραμμικού συστήματος, με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του, αντί ολόκληρη η αλυσίδα αξίας να μετακινηθεί μακροπρόθεσμα προς την κατεύθυνση αποδοτικότερων οικονομικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών λύσεων.

Σε επίπεδο πολιτικής, έχουν αποφασιστεί σε σημαντικό βαθμό οι αναγκαίες παρεμβάσεις προκειμένου να ξεπεραστεί το αδιέξοδο αυτό και τα πλαστικά να περάσουν σε κυκλική οικονομία. Στις δράσεις που δρομολογούνται ή σχεδιάζονται να δρομολογηθούν, περιλαμβάνονται πρωτοβουλίες θεσμικού και κανονιστικού χαρακτήρα, σχήματα διαμοιρασμού της ευθύνης (όπως είναι η διευρυμένη ευθύνη παραγωγού), μοντέλα παρακολούθησης όλων των φάσεων των αλυσίδων αξίας, πλαίσια διατομεακής συνεργασίας, ιδιαίτερα στον τομέα της καινοτομίας, καθώς επίσης και χρηματοδοτικά εργαλεία και κίνητρα για την ενίσχυση της καινοτομίας και τη σταδιακή απομάκρυνση από το παραγωγικό μοντέλο που έχει ως βάση τα ορυκτά.

Είναι ενθαρρυντικό επίσης, ότι μεγάλοι παραγωγοί και προμηθευτές που παίζουν σημαντικό ρόλο σε όλα τα στάδια της αλυσίδας αξίας του πλαστικού διεθνώς, αναπροσαρμόζουν τους στόχους τους εντάσσοντάς το στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας. Ενδεικτικά αναφέρονται οι στόχοι που έχουν τεθεί από την ένωση «*New Plastics Economy Global Commitment*» αναφορικά με την αποσύνδεση των πλαστικών από την κατανάλωση πεπερασμένων πόρων και οι οποίοι εξειδικεύονται ως εξής:

*«Η αποσύνδεση θα πρέπει να γίνει πρώτα και κύρια μέσω της περιορισμού της χρήσης παρθένου πλαστικού (μέσω της αποϋλοποίησης, επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης).*

*Η χρήση ανακυκλωμένου υλικού θεωρείται πρωταρχικής σημασίας (όπου νομικά και τεχνικά είναι δυνατό) τόσο για την αποσύνδεση του πλαστικού από τις πεπερασμένες πρώτες ύλες όσο και για την ενθάρρυνση της συλλογής και της ανακύκλωσης.*

*Με την πάροδο του χρόνου, οι παρθένες πρώτες ύλες (αν υπάρχουν) θα πρέπει να αντικατασταθούν από ανανεώσιμες πρώτες ύλες όπου έχουν αποδειχθεί ως ευεργετικές για το περιβάλλον και ότι προέρχονται από πηγές που διαχειρίζονται υπεύθυνα.*

*Με την πάροδο του χρόνου, η παραγωγή και η ανακύκλωση των πλαστικών θα πρέπει να τροφοδοτείται αποκλειστικά από ανανεώσιμη ενέργεια» (Ellen MacArthur Foundation, 2019).*

Επιγραμματικά, προκειμένου να αμβλυνθούν οι αρνητικές επιπτώσεις του σημερινού γραμμικού μοντέλου παραγωγής και χρήσης των πλαστικών, η παραγωγή τους από ανανεώσιμες πηγές πρέπει να αυξηθεί για να μειωθεί σημαντικά η εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα (σχήμα 62).



Σχήμα 62: Λύσεις κυκλικής οικονομίας στον τομέα των πλαστικών (GEF STAP 54th Council Meeting, 2018)

Είναι προφανές, ότι θα απαιτηθούν νέες παραγωγικές διαδικασίες και επανασχεδιασμός των προϊόντων για βελτίωση της μακροβιότητας, της επαναχρησιμοποίησης, της ανακύκλωσης, καθώς και για την πρόληψη των αποβλήτων και της χημικής ρύπανσης. Επίσης, απαιτείται να ενθαρρυνθούν αιεφόρα επιχειρηματικά μοντέλα που προωθούν τα προϊόντα ως «υπηρεσίες», διευκολύνουν το διαμοιρασμό και τη μίσθωση των πλαστικών προϊόντων και αυξάνουν την επαναχρησιμοποίηση. Τα πλαστικά στο τέλος της ζωής τους θα πρέπει όλο και περισσότερο να ανακυκλώνονται σε νέα προϊόντα για να μειώνεται σημαντικά ο όγκος των πλαστικών που διαρρέουν στο περιβάλλον (GEF STAP 54th Council Meeting, 2018).



### 6.3. ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες, επενδύθηκαν σημαντικοί πόροι για την ανάπτυξη μεθόδων παραγωγής πλαστικών από βιολογική πρώτη ύλη, ωστόσο η παραγωγή τους δεν έχει κλιμακωθεί, σε σύγκριση πάντα με τα πλαστικά που παράγονται από ορυκτές πρώτες ύλες, κυρίως λόγω της χαμηλής τιμής του πετρελαίου, των πλεονεκτημάτων της υφιστάμενης παραγωγής βάσης (κλίμακα παραγωγής, απόδοση κ.λπ.) καθώς και του χαμηλού βαθμού ωριμότητας των τεχνολογιών επεξεργασίας και ανάκτησης.

Επιπλέον, η αρχική επιτυχία των βιολογικών πρώτων υλών 1<sup>ης</sup> γενιάς, όπως καλαμπόκι και ζαχαροκάλαμο, σε συνδυασμό με ορισμένες οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές ανησυχίες που σχετίζονται με τον ανταγωνισμό των τομέων τροφίμων και ζωοτροφών, πυροδότησε περαιτέρω έρευνα για βιολογικές πρώτες ύλες 2ης και 3ης γενιάς, συμπεριλαμβανομένων των δασικών υπολειμμάτων και των γεωργικών αποβλήτων.

Οι βιολογικές πρώτες ύλες μπορούν να θεωρηθούν ως πηγή για την παραγωγή των βασικών χημικών και πολυμερών που μπορούν να μετατραπούν σε πλαστικό.

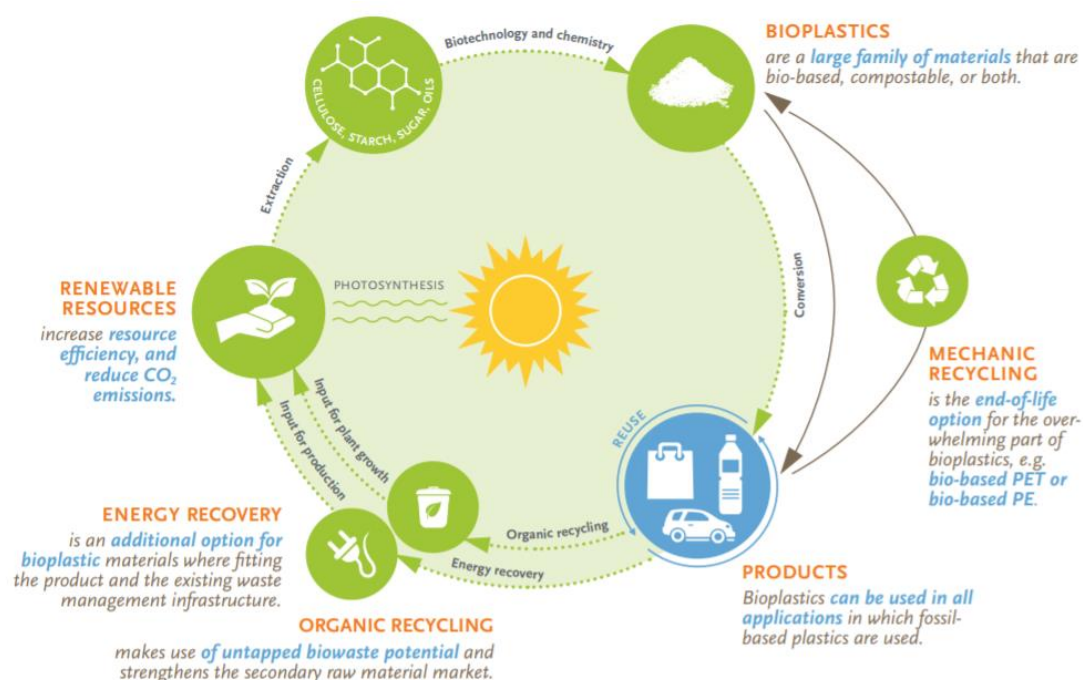
Ο τύπος της βιολογικής πρώτης ύλης επηρεάζει την απόδοση και την αποδοτικότητα της παραγωγής, αλλά όχι την απόδοση ενός πολυμερούς βιολογικής προέλευσης.

Ωστόσο, η σύνθεση της βιολογικής πρώτης ύλης επηρεάζει την ευκολία με την οποία μπορεί να μετατραπεί σε διαφορετικές χημικές ουσίες ή πολυμερή.

Παραδείγματα εναλλακτικών πρώτων υλών περιλαμβάνουν αέρια του θερμοκηπίου όπως το CO<sub>2</sub> και το μεθάνιο, πηγές βιολογικής προέλευσης όπως τα έλαια, το άμυλο και η κυτταρίνη, καθώς και τα φυσικά βιοπολυμερή, η ιλύς καθαρισμού λυμάτων και τα τρόφιμα. Ορισμένα πλαστικά μπορούν να παραχθούν χρησιμοποιώντας καλοήθη και βιοαποικοδομήσιμα υλικά. Επιπλέον, έχουν αναπτυχθεί εναλλακτικά πρόσθετα επιβραδυντικά φλόγας φιλικά προς το περιβάλλον που θα μπορούσαν να εξαλείψουν τη χρήση ορισμένων επικίνδυνων χημικών ουσιών κατά την παραγωγή των πλαστικών. (GEF STAP 54th Council Meeting, 2018).

## 6.4. ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΑΙ ΒΙΟ-ΑΠΟΔΟΜΗΣΗ

Τα κομποστοποιήσιμα πλαστικά παράγονται από ανανεώσιμα υλικά, η παραγωγή τους καταναλώνει λιγότερη ενέργεια και δημιουργεί λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και διασπώνται μέσω της κομποστοποίησης. Ανήκουν στην ευρύτερη οικογένεια των βιο-πλαστικών και αντί της πρώτης ύλης που παράγεται από πετροχημικά και ορυκτά καύσιμα, τα πλαστικά που μπορούν να κομποστοποιηθούν παράγονται από ανανεώσιμα υλικά όπως άμυλο καλαμποκιού, πατάτας και ταπιόκας, κυτταρίνη, πρωτεΐνη σόγιας και γαλακτικό οξύ. Τα κομποστοποιήσιμα πλαστικά είναι μη τοξικά και αποσυντίθενται σε διοξείδιο του άνθρακα, νερό και βιομάζα. Η κομποστοποίηση και άλλες μορφές οργανικής ανακύκλωσης, όπως η αναερόβια χώνευση, είναι συμβατές με την κυκλική οικονομία μέσω της ιδέας του κλεισίματος των βιολογικών κύκλων (σχήμα 63).



Σχήμα 63: Βιο-πλαστικά -κλείνοντας τον κύκλο (Πηγή: European Bioplastics)<sup>32</sup>

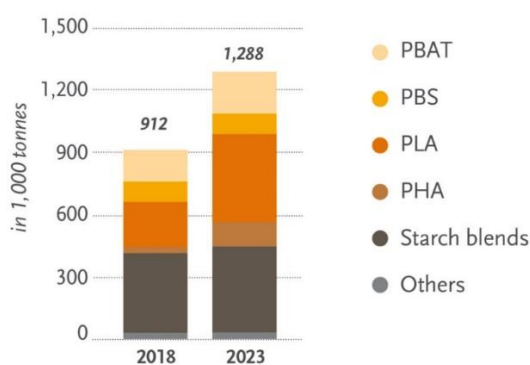
Τα κομποστοποιήσιμα πλαστικά μπορούν να υποστηρίξουν την οργανική ανακύκλωση βιολογικών αποβλήτων, εάν τα υλικά έχουν τις κατάλληλες ιδιότητες και την κατάλληλη υποδομή συλλογής (π.χ. συλλογή υπολειμμάτων τροφίμων). Υπό

<sup>32</sup> Πηγή: European Bioplastics <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/waste-management/>

την προϋπόθεση ότι υπάρχει σαφής σύνδεση με την περιβαλλοντική ασφάλεια, τα βιοαποδομήσιμα πλαστικά μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο σε συγκεκριμένες εφαρμογές.

Η ιδιότητα της βιο-αποδομησιμότητας δεν εξαρτάται από τη βάση των πόρων ενός υλικού. Αυτό το χαρακτηριστικό συνδέεται άμεσα με τη χημική δομή του πολυμερούς και μπορεί να ωφελήσει συγκεκριμένες εφαρμογές, ιδιαίτερα τη συσκευασία. Οι βιο-αποδομήσιμοι τύποι πλαστικών προσφέρουν νέους τρόπους ανάκτησης και ανακύκλωσης (οργανική ανακύκλωση). Εάν είναι πιστοποιημένα σύμφωνα με διεθνή πρότυπα όπως το EN 13432, αυτά τα πλαστικά μπορούν να κομποστοποιούνται σε βιομηχανικές μονάδες κομποστοποίησης. Στο σχήμα 64 φαίνεται η ευρωπαϊκή παραγωγή βιο-αποδομήσιμων πλαστικών του 2018 και η προβολή της για το 2023, εάν συνεχιστούν οι σημερινές τάσεις.

*Biodegradable bioplastics 2018 vs. 2023*



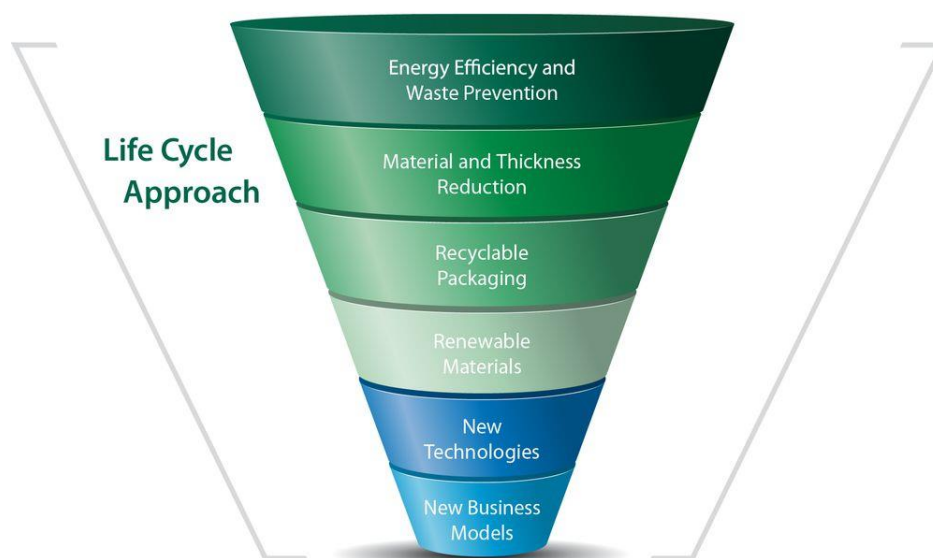
Σχήμα 64: Ευρωπαϊκή παραγωγή βιο-αποδομήσιμων πλαστικών 2018-2023 (Πηγή: European Bioplastics)<sup>33</sup>

Τα κομποστοποιήσιμα πλαστικά δεν πρέπει να συγχέονται με βιοαποδομήσιμα, οξο-βιοαποδομήσιμα ή βιολογικά συμβατικά πλαστικά. Ορισμένα από τα πρώτα εναλλακτικά πλαστικά ήταν υβριδικά πλαστικά κατασκευασμένα από πολυμερή με βάση το πετρέλαιο και φυτικές πολυμερή. Αυτά τα υβριδικά πλαστικά δεν ήταν πραγματικά κομποστοποιήσιμα επειδή περιέχουν πετρέλαιο.

<sup>33</sup> Πηγή: European Bioplastics / <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/materials/biodegradable/>

## 6.5. ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

Η μετάβαση σε κυκλική οικονομία, επηρεάζει τόσο την προσέγγιση για την ανάπτυξη του επιχειρηματικού μοντέλου όσο και το σχεδιασμό των προϊόντων. Τόσο το επιχειρηματικό μοντέλο όσο και ο σχεδιασμός δεν εξετάζονται μεμονωμένα αλλά, όπως αποτυπώνεται παραστατικά στο σχήμα 65, εξετάζονται στο πλαίσιο μιας ολιστικής προσέγγισης από τη σκοπιά του «κύκλου ζωής» των προϊόντων.



Σχήμα 65: Βιώσιμο μοντέλο συσκευασιών (Πηγή: WIPAK)<sup>34</sup>

Από τη στιγμή που τα πλαστικά προϊόντα συχνά κινούνται γρήγορα μέσω μιας αλυσίδας αξίας, όπου εμπλέκονται πολλά ενδιαφερόμενα μέρη, η ανάπτυξη των αντίστοιχων επιχειρηματικών μοντέλων, σύμφωνα με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας, απαιτούν υψηλού επιπέδου συνεργασίας και ένα διαφανές πλαίσιο ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων μερών, καθώς και το κατάλληλο πλαίσιο πολιτικής που να τα ενθαρρύνει. Μέχρι στιγμής, ο σχεδιασμός προϊόντων και επιχειρησιακών μοντέλων, για μια κυκλική οικονομία, δεν είναι ευρέως διαδεδομένος για πλαστικά προϊόντα, ιδιαίτερα για τις συσκευασίες.

---

<sup>34</sup> Πηγή: WIPAK / <https://www.wipak.com/sustainable-solutions>

Ειδικότερα σε ότι αφορά το σχεδιασμό πλαστικών προϊόντων, ενώ υπάρχουν ενδείξεις ότι έχει αρχίσει να υιοθετείται μια περισσότερο συστηματική προσέγγιση, η τρέχουσα Έρευνα & Καινοτομία στον τομέα εστιάζει συνήθως σε συγκεκριμένες πτυχές του συστήματος και όχι σε ολόκληρο το σύστημα. Σχεδιασμός, που να λαμβάνει υπόψη ολόκληρο το σύστημα, που είναι ζωτικής σημασίας για τη μετάβαση σε κυκλική οικονομία, ακόμα δεν είναι ευρέως διαδεδομένος.

## 6.6. ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΩΝ

### 6.6.1.1. Νέα οπτική για την επαναχρησιμοποίηση

Τα μοντέλα επαναχρησιμοποίησης πολλές φορές θεωρούνται επιβαρυντικά ή πρακτικές που ανήκουν στο παρελθόν. Ωστόσο, με καινοτόμο επαναχρησιμοποίηση, που υποστηρίζεται από ψηφιακές τεχνολογίες, μπορούν να μετατοπιστούν οι προτιμήσεις των χρηστών και να προκύψουν σημαντικά οφέλη.

Με οικονομικούς όρους, οι επαναχρησιμοποιήσιμες συσκευασίες εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύουν ένα τομέα καινοτομίας αξίας 10 δις δολ. ΗΠΑ και αναγνωρίζονται διεθνώς ως σημαντικό στοιχείο της κυκλικής οικονομίας από τον ΟΗΕ (UNEP, 2019), την Ευρωπαϊκή Ένωση (European Commission, 2019), από πρωτοβουλίες διεθνούς εμβέλειας όπως η New Plastics Economy Global Commitment, υπό την αιγίδα του (Ellen MacArthur Foundation, 2019) καθώς και πρωτοβουλιών εθνικής κλίμακας όπως της British Plastics Federation<sup>35</sup>.

Σε ότι αφορά τις απαιτήσεις των χρηστών, είναι γεγονός ότι είναι υψηλές και περιλαμβάνουν προσαρμογή των προϊόντων στις ατομικές ανάγκες, ποιοτικά κριτήρια και ευαισθητοποίηση απέναντι σε πιθανές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Τα μοντέλα για καινοτόμο επαναχρησιμοποίηση των συσκευασιών καλούνται να αξιοποιήσουν τις μεταβολές που έχουν επέλθει στις προτιμήσεις των χρηστών, προσφέροντας για παράδειγμα καλύτερη εμφάνιση και λειτουργικότερη

---

<sup>35</sup> Πηγή: *Plastics: A Vision for a Circular Economy* <https://www.bpf.co.uk/vision/default.aspx>

συσκευασία που λαμβάνει υπόψη τις προτιμήσεις του χρήστη και του επιτρέπει να προσαρμόζει το προϊόν στις ανάγκες του.

#### **6.6.1.2. Τα πλεονεκτήματα της επαναχρησιμοποίησης των συσκευασιών**

Η επαναχρησιμοποίηση παρουσιάζει μια σημαντική ευκαιρία καινοτομίας για την αλλαγή του τρόπου με τον οποίο βλέπουμε τις συσκευασίες, από κάτι που απλά είναι φθινό σε κάτι που αποτελεί πολύτιμο πόρο που μπορεί να αποφέρει σημαντικά οφέλη για τους χρήστες και τις επιχειρήσεις (Σχήμα 66). Το Ίδρυμα Ellen MacArthur , έπειτα από αξιολόγηση περισσότερων από 100 μοντέλων επαναχρησιμοποίησης και συνεντεύξεων με περισσότερους από 50 εμπειρογνώμονες στον τομέα αυτό, κατέληξε στους εξής έξι τρόπους με τους οποίους αυτά τα μοντέλα επαναχρησιμοποίησης μπορούν να αποφέρουν σημαντικά οφέλη τόσο για τους καταναλωτές όσο και για τις επιχειρήσεις (Σχήμα 66):

##### **α. Περιορισμός του κόστους με την παραγωγή συμπαγών προϊόντων.**

Προμηθεύοντας ανταλλακτικά σε συμπαγή μορφή για επαναχρησιμοποιούμενα δοχεία, το κόστος μεταφοράς μειώνεται έως και 90%. Για παράδειγμα, η Blueland <sup>36</sup> προσφέρει απορρυπαντικό καθαρισμού παραθύρων σε μορφή δισκίου.

---

<sup>36</sup> Πηγή: <https://www.blueland.com/>



Σχήμα 66: Τα πλεονεκτήματα των επαναχρησιμοποιήσιμων συσκευασιών (Ellen MacArthur Foundation, 2019)

### β. Ενίσχυση της εμπιστοσύνης στο εμπορικό σήμα

Η οποία μπορεί να χτιστεί μέσω συστημάτων ανταμοιβής για επαναχρησιμοποιήσιμες συσκευασίες. Για παράδειγμα, η Repack<sup>37</sup> ανταμείβει τους πελάτες με εκπτώτικα κουπόνια για ηλεκτρονικές αγορές όταν επιστρέφουν τη επαναχρησιμοποιήσιμη συσκευασία των ηλεκτρονικών αγορών τους.

### γ. Προσαρμογή στις ατομικές ανάγκες των χρηστών

Μπορεί να επιτευχθεί με μοντέλα επαναχρησιμοποίησης που επιτρέπουν στους χρήστες να προσαρμόζουν τα προϊόντα στις ατομικές τους ανάγκες αναμειγνύοντας γεύσεις, προσαρμόζοντας τη συσκευασία στις απαιτήσεις τους ή επιλέγοντας τις

<sup>37</sup> Πηγή <https://www.originalrepack.com/>

επιθυμητές ποσότητες. Για παράδειγμα, η Pepsi Spire, μια λύση διανομής σόδας, επιτρέπει στους χρήστες να αναμειγνύουν και να ταιριάζουν τις γεύσεις, να επιλέγουν την επιθυμητή ποσότητα και να προσαρμόζουν τη συσκευασία.

**δ. Βελτίωση της εμπειρίας του χρήστη**

Η οποία μπορεί να επιτευχθεί με τη βελτίωση της εμφάνισης, της αίσθησης καθώς και της λειτουργικότητας της επαναχρησιμοποιήσιμης συσκευασίας, η οποία μπορεί να είναι πλέον ανώτερης κατηγορίας δεδομένου ότι το αρχικό κόστος παραγωγής διαμοιράζεται σε πολλές χρήσεις. Για παράδειγμα, η πλατφόρμα Loop<sup>38</sup> βελτιώνει την εμπειρία των καταναλωτών προσφέροντας προϊόντα από γνωστά εμπορικά σήματα σε ανθεκτική, επαναχρησιμοποιήσιμη συσκευασία με βελτιωμένη εμφάνιση, αίσθηση και λειτουργικότητα.

**ε. Βελτιστοποίηση των επιχειρησιακών λειτουργιών μέσω κοινού σχεδιασμού.**

Με την κοινή χρήση επαναχρησιμοποιήσιμων συσκευασιών μεταξύ ετικετών, τομέων ή ευρύτερων δικτύων μπορούν να επιτευχθούν οικονομίες κλίμακας στη διανομή και στις λοιπές λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ένα παράδειγμα αποτελεί το επαναχρησιμοποιήσιμο ενιαίο μπουκάλι που υιοθέτησε για όλες τις μάρκες η Coca Cola Brazil.

**στ. Συλλογή πληροφοριών σχετικά με τις προτιμήσεις των χρηστών και της απόδοσης του συστήματος**

Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να συγκεντρωθούν ενσωματώνοντας ψηφιακές τεχνολογίες, όπως ετικέτες RFID, αισθητήρες και GPS στο σύστημα της επαναχρησιμοποιήσιμης συσκευασίας. Για παράδειγμα, συστήματα όπως το έξυπνο σύστημα προμήθειας και λιανικής πώλησης MIWA<sup>39</sup> χρησιμοποιούν έξυπνες επαναχρησιμοποιούμενες κάψουλες που επιτρέπουν την παρακολούθηση της αλυσίδας εφοδιασμού, των αποθεμάτων καθώς και αυτόματες παραγγελίες.

---

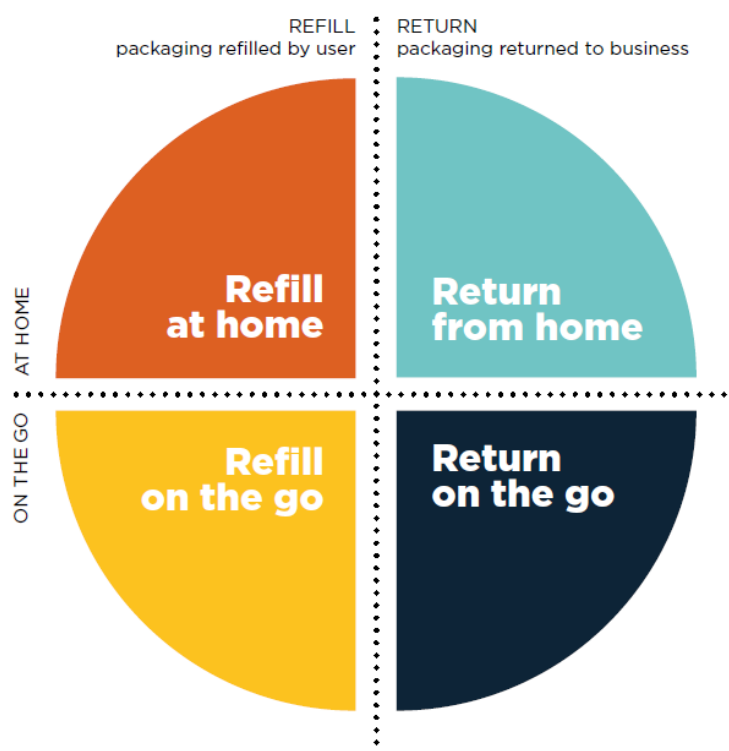
<sup>38</sup> Πηγή: <https://loopstore.com/>

<sup>39</sup> Πηγή: <https://www.newplasticseconomy.org/innovation-prize/winners/miwa>



### 6.6.1.3. Μοντέλα επαναχρησιμοποιήσιμης συσκευασίας

Σύμφωνα με την ανωτέρω εργασία, η οποία εντάσσεται στο πλαίσιο της διεθνούς πρωτοβουλίας «New Plastics Economy», υπό την αιγίδα του ιδρύματος «Ellen Macarthur» στην οποία συμμετέχουν περισσότεροι από 150 οργανισμοί, τα προτεινόμενα μοντέλα επαναχρησιμοποιήσιμης συσκευασίας, σε ότι αφορά τις εφαρμογές Business to Consumers (B2C) και τα οποία έχουν ήδη πλήθος εφαρμογών στην παγκόσμια αγορά, φαίνονται παραστατικά στο σχήμα 67.



Σχήμα 67: Μοντέλα επαναχρησιμοποίησης συσκευασιών (Ellen Macarthur Foundation)

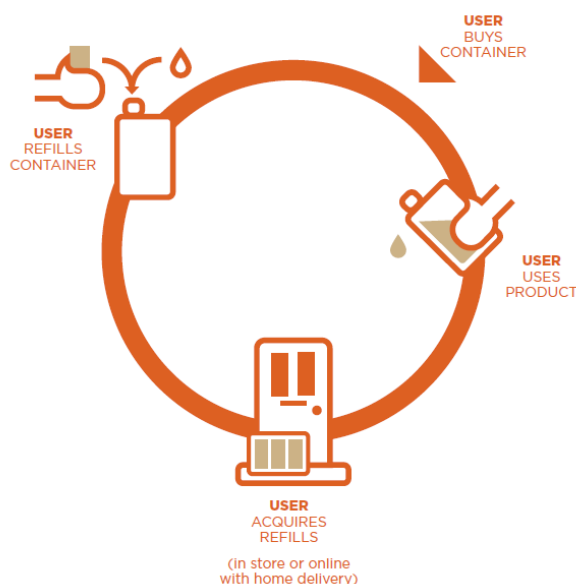
Ειδικότερα:

#### α. Ξαναγέμισμα στο σπίτι (*Refill at home*).

Οι χρήστες ξαναγεμίζουν τα επαναχρησιμοποιήσιμα δοχεία στο σπίτι με περιεχόμενο που παραδίδεται μέσω συνδρομητικής υπηρεσίας. Το μοντέλο αυτό (Σχήμα 68) μπορεί να λειτουργήσει τόσο στο πλαίσιο του παραδοσιακού όσο και στο πλαίσιο του ηλεκτρονικού εμπορίου. Λειτουργεί ιδιαίτερα καλά για το ηλεκτρονικό

εμπόριο καθόσον η διαδικτυακή επαφή επιτρέπει την επικοινωνία ολοκληρωμένων λύσεων. Τα τρέχοντα παραδείγματα του μοντέλου αυτού περιλαμβάνουν:

- Ηλεκτρονικό εμπόριο για συμπαγή προϊόντα επαναπλήρωσης που χρησιμοποιούνται στο σπίτι ή σε κτίρια γραφείων σε τακτική βάση, π.χ. ποτά, οικιακής φροντίδας και προϊόντα προσωπικής φροντίδας.
- Παραδοσιακά καταστήματα λιανικής πώλησης τυπικού μεγέθους (μη συμπαγή) γεμισμάτων για οικιακή φροντίδα, προσωπική φροντίδα κ.λπ..



Σχήμα 68: Ξαναγέμισμα στο σπίτι (Ellen Macarthur Foundation)

β. **Ξαναγέμισμα στο δρόμο (refill on the go).**

Οι χρήστες ξαναγεμίζουν τα επαναχρησιμοποιήσιμα δοχεία μακριά έξω από το σπίτι και συνήθως σε ένα κατάστημα που διαθέτει σύστημα διανομής του προϊόντος. Το μοντέλο αυτό (Σχήμα 69) απαιτεί φυσική αποθήκη ή σημείο διανομής, πράγμα που το καθιστά περισσότερο κατάλληλο για τα παραδοσιακά καταστήματα λιανικής πώλησης και για αστικό περιβάλλον. Σε αγορές χαμηλού εισοδήματος, το μοντέλο μπορεί να ικανοποιήσει τις ανάγκες των πελατών για μικρές ποσότητες σε προσιτές τιμές χωρίς να βασίζονται σε σακουλάκια μιας χρήσης. Τα τρέχοντα παραδείγματα του μοντέλου αυτού περιλαμβάνουν:

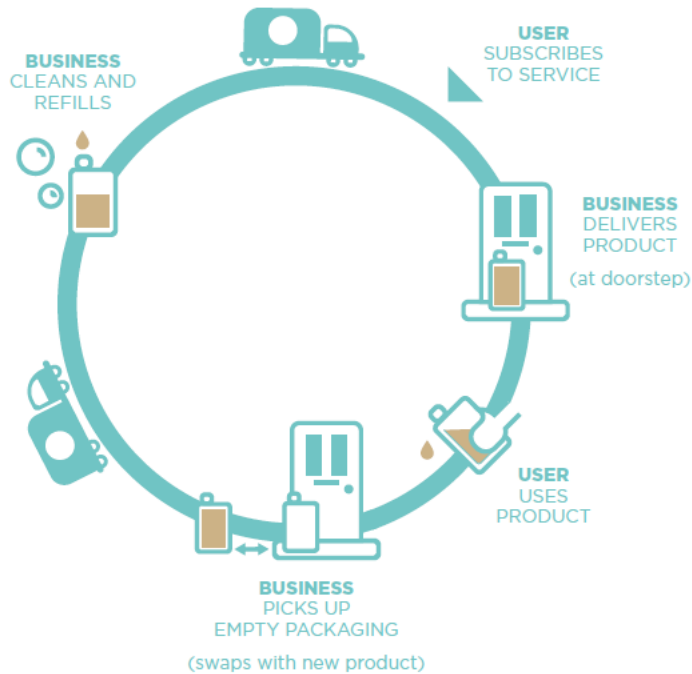
- Παραδοσιακά καταστήματα λιανικής πώλησης για προϊόντα όπως ποτά, υλικά μαγειρικής (π.χ. σπόροι, αλεύρια, έλαια), προσωπικής φροντίδας και φροντίδας στο σπίτι.
- Καφές σε «πακέτο» στις πόλεις κ.λπ..



Σχήμα 69: Ξαναγέμισμα στο δρόμο (Ellen Macarthur Foundation)

#### γ. **Επιστροφή από το σπίτι**

Η συσκευασία συλλέγεται από το σπίτι συνήθως από μια εταιρεία συλλογής. Το μοντέλο αυτό (Σχήμα 70) είναι κατάλληλο για το ηλεκτρονικό εμπόριο καθόσον η παραλαβή των κενών συσκευασιών μπορεί να συνδυαστεί με την παράδοση του νέου προϊόντος. Είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για αστικές περιοχές όπου οι αποστάσεις μεταξύ διαδοχικών διανομών είναι μικρές. Τα τρέχοντα παραδείγματα του μοντέλου αυτού περιλαμβάνουν: ηλεκτρονικό εμπόριο για προϊόντα όπως μαναβικής, παράδοσης γευμάτων, προσωπικής φροντίδας, φροντίδας για το σπίτι και ομορφιάς κ.λπ..

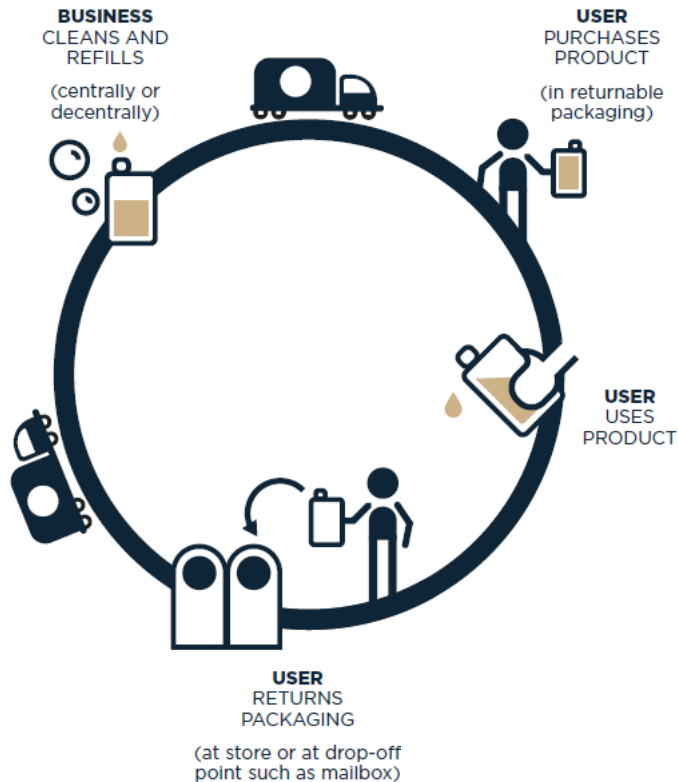


Σχήμα 70: Επιστροφή από το σπίτι (Ellen Macarthur Foundation)

**δ. Επιστροφή στο δρόμο (return on the go),**

Οι χρήστες επιστρέφουν τις συσκευασίες σε ένα κατάστημα ή σε σημείο απόρριψης (π.χ. σε μηχανήμα επιστροφής ή σε mailbox). Το μοντέλο αυτό (Σχήμα 71) μπορεί να εφαρμοστεί ευρέως καθώς μπορεί να υποκαταστήσει τις περισσότερες συσκευασίες μιας χρήσης. Τα τρέχοντα παραδείγματα εφαρμογής του μοντέλου αυτού περιλαμβάνουν:

- παραδοσιακά καταστήματα λιανικής πώλησης ποτών όπου το μοντέλο έχει αποδειχθεί ότι λειτουργεί σε κλίμακα σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές (π.χ. Λατινική Αμερική, Ιαπωνία και Ευρώπη).
- Κατανάλωση προϊόντων, όπως καφές, ποτά και φαγητό στο δρόμο στις πόλεις και σε εκδηλώσεις.



Σχήμα 71: Επιστροφή στο δρόμο (Ellen Macarthur Foundation)

## 7. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 7.1. ΓΕΝΙΚΑ

α. Τα πλαστικά συμβάλλουν καθημερινά στη βελτίωση της ζωής, η οποία με πλήθος εφαρμογών καθίσταται επίσης ασφαλέστερη και υγιεινότερη, και επιπλέον παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη και διεύρυνση των δυνατοτήτων ολόκληρων τομέων της κοινωνίας και της οικονομίας, παραγωγικών και μη. Ωστόσο, η συνεχώς αυξανόμενη χρήση του πλαστικού σε συνδυασμό με την εξάρτησή του από το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο καθώς και από το αναποτελεσματικό μοντέλο της γραμμικής οικονομίας, που στο τέλος του κύκλου ζωής του το θεωρεί ως απόβλητο, έχει συντελέσει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και έχει επίσης επισωρεύσει σημαντικές ανεπιθύμητες επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία.

β. Είναι αδύνατο να αγνοηθεί το πρόβλημα διαχείρισης αποβλήτων και ιδιαίτερα των πλαστικών. Το μοντέλο της τρέχουσας οικονομίας είναι εξαιρετικά μη βιώσιμο. Τα παραγόμενα απόβλητα και ιδιαίτερα τα πλαστικά είναι ένας πολύτιμος πόρος που πρέπει να επανεισαχθεί στην οικονομία.

γ. Η ανακύκλωση είναι μια πολλά υποσχόμενη στρατηγική για την τελική διαχείριση των πλαστικών προϊόντων. Είναι αργή, αλλά αποκτά όλο και μεγαλύτερη οικονομική σημασία, καθώς και ένα αναμφισβήτητο θετικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Οι πρόσφατες τάσεις καταδεικνύουν σημαντική αύξηση του ποσοστού ανάκτησης και ανακύκλωσης πλαστικών αποβλήτων. Αυτές οι τάσεις είναι πιθανό να συνεχιστούν, αλλά εξακολουθούν να υπάρχουν ορισμένες εξαιρετικά σημαντικές προκλήσεις τόσο από τεχνολογικούς παράγοντες όσο και από την οικονομική ή κοινωνική συμπεριφορά.

δ. Η εκτροπή των πλαστικών από την υγειονομική ταφή αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις του υφιστάμενου συστήματος διαχείρισης αποβλήτων. Παρόλο που παρατηρείται σταδιακή μείωση της υγειονομικής ταφής, εξακολουθεί να αποτελεί μία από τις πιο δημοφιλείς μεθόδους διαχείρισης αποβλήτων σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες.

## **7.2. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ**

α. Οι σημερινές επιδόσεις του συστήματος ανακύκλωσης του πλαστικού, τόσο σε παγκόσμια όσο και σε επίπεδο ΕΕ, κρίνονται ως ανεπαρκείς, αφού για το πλαστικό συσκευασίας το ποσοστό ανακύκλωσης σε επίπεδο ΕΕ κυμαίνεται σήμερα στο 40%. Ένας από τους λόγους που συνετέλεσε ώστε να μην υπάρχουν σημαντικές επενδύσεις στον τομέα αυτό, ήταν και η δυνατότητα των ανεπτυγμένων χωρών να εξαγουν σημαντικές ποσότητες πλαστικών αποβλήτων προς τρίτες χώρες με χαλαρότερη ή ανύπαρκτη σχετική νομοθεσία.

β. Η συλλογή, η διαλογή και η ανακύκλωση πλαστικών έχουν αδιαμφισβήτητα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη, αλλά το σημερινό σύστημα αντιμετωπίζει συγκεκριμένες προκλήσεις σε ότι αφορά τη χωρητικότητα και τον εκσυγχρονισμό του. Η σωστή συλλογή των χρησιμοποιημένων πλαστικών αποτελεί τη βάση για την ανάπτυξη ενός αποτελεσματικού συστήματος διαχείρισης, μετά τη χρήση, και καθορίζει τη μέγιστη ποσότητα πλαστικού που μπορεί να επανεπεξεργαστεί στη συνέχεια.

γ. Στην Ευρώπη, υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία συστημάτων συλλογής και διαλογής (μόνο στο Ηνωμένο Βασίλειο υπάρχουν πάνω από 300 διαφορετικά συστήματα συλλογής) που διαφέρουν και ως προς τα υλικά που συλλέγονται και ως

προς το εάν γίνεται χειροκίνητη προ-ταξινόμηση από τον χρήστη ή όχι. Ενώ η προσαρμογή σε ορισμένες τοπικές συνθήκες είναι απαραίτητη, αυτός ο κατακερματισμός επηρεάζει αρνητικά την αποτελεσματικότητα της ανακύκλωσης συνολικά καθώς και τη σχέση κόστους-αποτελέσματος.

δ. Η χειρωνακτική προετοιμασία στο σπίτι και ο κεντρικός διαχωρισμός έχουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους, ωστόσο, τα αποτελέσματα της διαλογής θα μπορούσαν να βελτιωθούν δραστικά με ανάπτυξη και εφαρμογή νέων (ψηφιακών) τεχνολογιών, όπως είναι τα αυτοματοποιημένα οχήματα, οι έξυπνες και ρομποτικές συσκευές διαλογής κ.α.

ε. Επί του παρόντος, τα υψηλά επίπεδα πολυπλοκότητας και ποικιλομορφίας των πλαστικών που διατίθενται στην αγορά οδηγούν στην ανάπτυξη εξαιρετικά ετερογενών ροών γεγονός που εισάγει περιορισμούς αλλά και αντίστοιχη πολυπλοκότητα στη φάση της ανακύκλωσης. Είναι αναγκαίο, με συμμετοχή όλων των εμπλεκόμενων φορέων, να υπάρξουν πρότυπα σχεδιασμού που να ενθαρρύνουν την ανακύκλωση. Τα πρότυπα αυτά θα δημιουργήσουν μεγαλύτερη ομοιογένεια στις ροές, προωθώντας έτσι την ανακύκλωση υψηλής ποιότητας.

στ. Σε πολιτικό επίπεδο, είναι αναγκαία η λήψη μέτρων που θα υποστηρίζουν τη συνεργασία αλληλεξαρτώμενων αλυσίδων αξίας και ένα πλαίσιο «συμβίωσης» όλων των εμπλεκόμενων μερών που εκτιμάται ότι θα βελτιώσουν περαιτέρω τη συλλογή και διαλογή πλαστικών για ανακύκλωση, με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή τους στον ίδιο ή σε διαφορετικούς τομείς.

ζ. Στο υφιστάμενο σύστημα ανακύκλωσης πλαστικών υπάρχει ανεκμετάλλευτο δυναμικό το οποίο για να ενεργοποιηθεί απαιτείται σειρά τεχνικών βελτιώσεων που να ενισχύει την ικανότητα ανακύκλωσης των χρησιμοποιημένων πλαστικών, παράγοντας με τον τρόπο αυτό επιπλέον οφέλη. Ωστόσο, η ανακύκλωση υψηλής ποιότητας επηρεάζεται σημαντικά τόσο από την πολυπλοκότητα όσο και από εύρος των υλικών και των προϊόντων. Για παράδειγμα, τα σύνθετα και πολυστρωματικά υλικά, τα μελάνια, οι ετικέτες και οι κόλλες δημιουργούν σημαντικές προκλήσεις στη μηχανική ανακύκλωση. Επιπλέον, οι πολλές ποιότητες και η παρουσία πρόσθετων έχουν ως αποτέλεσμα το ανακυκλωμένο να είναι χαμηλότερης ποιότητας από το παρθένο πλαστικό. Αυτή η διαφοροποίηση στην ποιότητα του ανακυκλωμένου πλαστικού δυσχεραίνει τον ανταγωνισμό του με το

παρθένο πλαστικό και επιπλέον δημιουργεί προβλήματα συμμόρφωσης με υφιστάμενα κανονιστικά πλαίσια. Η Έρευνα & Καινοτομία μπορούν να συμβάλλουν στη υπέρβαση αυτού του προβλήματος, για παράδειγμα μέσω του σχεδιασμού υλικών και προϊόντων περισσότερο κατάλληλων για ανακύκλωση αλλά και με την ανάπτυξη τεχνολογιών για υψηλής ποιότητας ανακύκλωση και απολύμανση.

η. Επιπλέον, η διαφορά τιμής μεταξύ παρθένου και ανακυκλωμένου πλαστικού συνιστά με τη σειρά της μια σημαντική πρόκληση για τη μηχανική ανακύκλωση. Εν' μέρει αυτό οφείλεται στο χαμηλό επίπεδο ανάπτυξης της ευρωπαϊκής αγοράς ανακυκλωμένου πλαστικού, κυρίως λόγω του γεγονότος ότι τα πλαστικά μετά τη χρήση τους κατά κύριο λόγο οδηγούνται στην εξαγωγή.

θ. Το πρόβλημα αυτό θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί εν μέρει με την ανάπτυξη της ευρωπαϊκής αγοράς ανακυκλωμένου πλαστικού μέσω της ανάπτυξης νέων εφαρμογών με βάση την καλύτερη αντιστοίχιση ποιότητας και ζήτησης. Ωστόσο, ακόμη και αν η αγορά αναπτυχθεί και αυξηθεί η παραγωγή ανακυκλωμένου πλαστικού, η μηχανική ανακύκλωση θα συνεχίσει να αντιμετωπίζει την πρόκληση του κόστους, όσο το κόστος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων δεν λαμβάνεται υπόψη. Για να ξεπεραστούν τα προβλήματα αυτά και να ενισχυθεί η αγορά ανακυκλωμένου πλαστικού στην ΕΕ, απαιτούνται πολιτικές πρωτοβουλίες και δέσμη μέτρων που ενδεικτικά θα μπορούσε να περιλαμβάνει: οικονομικά μέτρα για την αντιστάθμιση του περιβαλλοντικού κόστους της ανακύκλωσης, εναρμόνιση της νομοθεσίας, την ανάπτυξη προτύπων ποιότητας ανακυκλωμένου πλαστικού, διασφάλιση ικανοποιητικού επιπέδου συλλογής και διαλογής, ρυθμιστικό πλαίσιο που να καθιστά υποχρεωτική τη συμπερίληψη ανακυκλωμένου πλαστικού σε συγκεκριμένες εφαρμογές και ενίσχυση της Έρευνας & Καινοτομίας στον τομέα, διασφαλίζοντας ταυτόχρονα και τη δημόσια υγεία.

### **7.3. ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ**

α. Έχουν αναπτυχθεί νέες τεχνολογίες για τη χημική ανακύκλωση και πολλές πιλοτικές μονάδες σε όλη την Ευρώπη ερευνούν νέες διεργασίες για την ανακύκλωση πλαστικών απορριμμάτων. Δεδομένου ότι οι διαδικασίες αυτές είναι αρκετά νέες, εξακολουθούν να υπάρχουν πολλά ερωτήματα σχετικά με την ανάπτυξη της χημικής ανακύκλωσης σε βιομηχανική κλίμακα, από άποψη αγοράς, υποδομών και



νομοθετικού πλαισίου, αλλά και από το ποιες θα είναι τελικά οι συνολικές οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές της επιπτώσεις. Για να ξεκαθαριστεί το τοπίο, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής θα πρέπει να ενθαρρύνουν την περαιτέρω καινοτομία και να προχωρήσουν στην αναθεώρηση του κανονιστικού πλαισίου, συμπεριλαμβανομένης της ρύθμισης της νομικής υπόστασης των διαφόρων υλικών παραγωγής, με βάση την ανάλυση αντίκτυπου σε σύγκριση με εναλλακτικές λύσεις.

β. Η αύξηση της συλλογής αποβλήτων υψηλής ποιότητας και ο κατάλληλος σχεδιασμός των πλαστικών για ανακύκλωση θα πρέπει να παραμένουν οι δύο βασικές προτεραιότητες προκειμένου να αυξηθούν τα ποσοστά ανακύκλωσης των πλαστικών.

#### **7.4. ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ**

Απαιτείται να υπάρξουν επενδύσεις καθώς και προγράμματα Έρευνας & Καινοτομίας στους εξής τομείς:

α. Για την ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων και σχετικών υποδομών που θα ενσωματώνουν τις βέλτιστες πρακτικές για την ασφαλή συλλογή, διαλογή, διαχωρισμό, χειρισμό και επεξεργασία των αστικών στερεών αποβλήτων.

β. Για την προώθηση και κλιμάκωση της υψηλής ποιότητας ανακύκλωσης και χρήσης πλαστικών αποβλήτων ως πόρου.

γ. Για τη διευκόλυνση της συνεργασίας μεταξύ επιχειρήσεων και καταναλωτών, με σκοπό την αύξηση της αξίας των πλαστικών προϊόντων και την ενθάρρυνση της ανακύκλωσης και της επαναχρησιμοποίησης, για παράδειγμα, μέσω της αστικής- βιομηχανικής συμβίωσης.

#### **7.5. ΠΡΟΛΗΨΗ ΚΑΙ ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

Απαιτείται να υπάρξουν επενδύσεις καθώς και προγράμματα Έρευνας & Καινοτομίας στους εξής τομείς:

α. Διευκόλυνση της καινοτομίας και του επανασχεδιασμού των πλαστικών προϊόντων, για την εξάλειψη της χρήσης επικίνδυνων ουσιών και τη βελτίωση της μακροβιότητας, της επαναχρησιμοποίησης και της ανακύκλωσης των πλαστικών προϊόντων.

β. Ανάπτυξη βιώσιμων επιχειρηματικών και χρηματοδοτικών μοντέλων για την προώθηση των πλαστικών προϊόντων ως υπηρεσιών, για την ενθάρρυνση της μοιράσματος και της χρηματοδοτικής μίσθωσης προϊόντων και για τη διευκόλυνση νέων συστημάτων παράδοσης προϊόντων (Αυτό θα βελτιστοποιούσε τη χρήση του προϊόντος και θα μείωνε την ποσότητα των παραγόμενων πλαστικών, εξοικονομώντας έτσι πόρους και αποτρέποντας τα απόβλητα).

γ. Ανάπτυξη και εφαρμογή επιχειρηματικών σχημάτων για τη μετατροπή εγκαταστάσεων παραγωγής πλαστικών με βάση τα ορυκτά καύσιμα για τη χρήση βιώσιμων εναλλακτικών πρώτων υλών και ανακυκλωμένων πλαστικών.

## **7.6. ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ**

α. Η κυκλική οικονομία είναι απαραίτητο μέρος της λύσης για το παγκόσμιο πρόβλημα του πλαστικού αλλά δεν είναι η ολοκληρωμένη λύση. Η παραγωγή όλων των πλαστικών από εναλλακτικές πρώτες ύλες είναι επιθυμητή, αλλά μπορεί να μην είναι δυνατή επειδή μπορεί να επηρεάσει δυσμενώς την παροχή τροφίμων για τους ανθρώπους ή να έχει απρόβλεπτες συνέπειες για το περιβάλλον ή την ανθρώπινη υγεία. Συνεπώς, απαιτούνται λεπτομερείς αξιολογήσεις του κύκλου ζωής για να κατανοηθούν, για παράδειγμα, οι περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις της χρήσης των πόρων της γης για την παραγωγή βιοπλαστικών αντί για τρόφιμα.

β. Με βάση τα προηγούμενα, πρώτη προτεραιότητα είναι η αποθάρρυνση της παραγωγής πλαστικού που δεν εξυπηρετεί βασικές και διαγνωσμένες ανάγκες καθώς και της περιττής κατανάλωσης ή χρήσης πλαστικών. Υπάρχουν πολλοί τρόποι για να επιτευχθεί αυτό: με εξάλειψη της υπερβολικής πλαστικής συσκευασίας σε προϊόντα όπως τρόφιμα ή εξαλείφοντας τη μη βασική χρήση πλαστικών μικρού μεγέθους σε προϊόντα προσωπικής φροντίδας, με προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων και ανακυκλώσιμων εναλλακτικών λύσεων στα πλαστικά κ.ά..

γ. Απαιτούνται πρωτοβουλίες σε πολιτικό επίπεδο, ευρεία διαβούλευση με όλους τους φορείς που έχουν ρόλο στην αλυσίδα αξίας του πλαστικού, δέσμη κινήτρων και επενδύσεις για να ξεπεραστούν τα εμπόδια και να προωθηθεί η υιοθέτηση και η εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας στον τομέα των πλαστικών. Προς

την κατεύθυνση αυτή, κρίνονται αναγκαίες και οι ακόλουθες υποστηρικτικές δράσεις:

- Ανάπτυξη υποστηρικτικών πολιτικών και κανονισμών για μια κυκλική οικονομία, συμπεριλαμβανομένων των οικονομικών κινήτρων.
- Διευκόλυνση της τεχνικής βοήθειας και της ανάπτυξης ικανοτήτων (capacity building), ιδίως στη διαχείριση αποβλήτων.
- Σχεδιασμός δράσεων ευαισθητοποίησης της κοινωνίας για την ενθάρρυνση των αλλαγών (μικρότερη κατανάλωση, αποθάρρυνση της απόρριψης, αποδοχή ανακυκλωμένων πλαστικών προϊόντων, διάδοση βέλτιστων πρακτικών κ.λπ.) με έμφαση σε σχολικά προγράμματα.
- Προώθηση της συνεργασίας δημόσιου-ιδιωτικού και των επενδύσεων σε βιώσιμη πλαστική βιομηχανία, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και διαχείριση αποβλήτων.
- Κατάρτιση εθνικών στρατηγικών κυκλικής οικονομίας και σχεδίων εφαρμογής.
- Διευκόλυνση και υποστήριξη της εφαρμοσμένης έρευνας και καινοτομίας, που αποτελούν βασικά εργαλεία για την πραγματική μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία στον τομέα των πλαστικών αλλά και άλλων τομέων.

## 7.7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Project MainStream. (2016). *The New Plastics Economy Rethinking the future of plastics*. World Economic Forum. Retrieved from [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_The\\_New\\_Plastics\\_Economy.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_New_Plastics_Economy.pdf)
- American Chemistry Council*. (n.d.). Retrieved from <https://plastics.americanchemistry.com/Lifecycle-of-a-Plastic-Product/>
- Andrady, A. L. (2015). *Plastics and Environmental Sustainability*. Wiley & Sons.
- Ashby M., Johnson K. (2006). *Υλικά και Σχεδιασμός. Η Τέχνη και Επιστήμη Επιλογής Υλικών στο Σχεδιασμό Προϊόντων*. (Ι. Ζουμπουρτικούδης, Μεταφρ.) Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
- Biron, M. (2016). *Material Selection for Thermoplastic Parts* (1st ed.). Elsevier Ltd.
- Brandrup J., Bittner M., Menges G., Michaeli W. (1995). *Recycling and Recovery of Plastics*. Munich, Vienna, New York: Hanser Publishers.
- Bruder, U. (2015). *User's Guide to Plastic. Material- Processing Methods- Mold Design- Cost calculation- Post-molding processes- Assembly methods- Material selection- Design rules- Process optimization- Troubleshooting*. Munich: Carl Hanser.
- Callister, W. D. (2004). *Επιστήμη και Τεχνολογία των Υλικών* (5η Μετεφρασμένη εκδ.). Εκδόσεις Τζιόλα.
- Christensen, T. (2011). *Solid Waste & Management Volume I & II*. Wiley, Blackwell Publishing Ltd.
- Deloitte Sustainability. (n.d.). *Blueprint for plastics packaging waste: Quality sorting & recycling*. Ανάκτηση από <https://www2.deloitte.com/my/en/pages/risk/articles/blueprint-for-plastics-packaging-waste.html>
- Downcycling*. (n.d.). Ανάκτηση από Wikipedia: Πηγή: <http://en.wikipedia.org/wiki/Downcycling>
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). *THE NEW PLASTICS ECONOMY: RETHINKING THE FUTURE OF PLASTICS & CATALYSING ACTION*. Retrieved from [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/NPEC-Hybrid\\_English\\_22-11-17\\_Digital.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/NPEC-Hybrid_English_22-11-17_Digital.pdf)
- Ellen MacArthur Foundation. (2019). *New Plastics Economy Global Commitment*. Ellen MacArthur Foundation with input from the UN. Retrieved from <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/GC-Report-June19.pdf>
- Ellen Macarthur Foundation. (n.d.). *Reuse, Rethinking Packaging*. Retrieved from <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Reuse.pdf>

- Eriksen M.K., C. J. (2019, July 16). Closing the loop for PET, PE and PP waste from households: Influence of material properties and product design for plastic recycling. *Waste Management*(96), pp. 75–85.
- European Commission. (2009). *Being wise with waste. The EU's approach to waste management*. Publications Office of the European Union.
- European Commission. (2011). *PLASTIC WASTE IN THE ENVIRONMENT. Specific contract 07.0307/2009/545281/ETU/G2 under Framework contract ENV.G.4/FRA/2008/0112, Revised final report, April 2011*. Ανάκτηση από <https://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/plastics.pdf>
- European Commission. (2015). *Assessment of separate collection schemes in the 28 capitals of the EU*. Retrieved from [https://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/Separate%20collection\\_Final%20Report.pdf](https://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/Separate%20collection_Final%20Report.pdf)
- European Commission. (2015). Plastic pollution, we can make things better. European Commission. Retrieved from [https://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/plastic\\_waste\\_factsheet.pdf](https://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/plastic_waste_factsheet.pdf)
- European Commission. (2019). *A Circular Economy for Plastics. Insights from research and innovation to inform policy and funding decisions*. European Commission. Retrieved from [https://www.hbm4eu.eu/wp-content/uploads/2019/03/2019\\_RI\\_Report\\_A-circular-economy-for-plastics.pdf](https://www.hbm4eu.eu/wp-content/uploads/2019/03/2019_RI_Report_A-circular-economy-for-plastics.pdf)
- European Environment Agency. (2018). *Waste prevention in Europe — policies, status and trends in reuse in 2017*. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/publications/waste-prevention-in-europe-2017>
- European Environment Agency. (2019). *The plastic waste trade in the circular economy*. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/themes/waste/resource-efficiency/the-plastic-waste-trade-in>
- European Parliament and Council. (2008). Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. (E. Union, Ed.) *Official Journal of the European Union*, L312, p. 3.
- European Parliament. (n.d.). Circular economy: the importance of re-using products and materials. Retrieved from <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/economy/20150701STO72956/circular-economy-the-importance-of-re-using-products-and-materials>
- Eurostat. (n.d.). Packaging waste by waste management operations and waste flow (env\_waspac). Retrieved from [https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/env\\_waspac\\_esms.htm](https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/env_waspac_esms.htm)

- Francis, D. R. (2017). *Recycling of Polymers. Methods, Characterization and Applications*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.
- G20 . (2019). *G20 Implementation Framework for Actions on Marine Plastic Litter*. Japan: G20.
- GEF STAP 54th Council Meeting. (2018, June 14). *Plastics and the Circular Economy*. GEF/STAP/C.54/Inf.05. Retrieved from <https://www.thegef.org/council-meeting-documents/plastics-and-circular-economy>
- Glavič P., Lukman R. (2007). Review of sustainability terms and their definitions. *Journal of Cleaner Production*(15), pp. 1875-1885.
- Hoornweg D., Bhada-Tata P. (2012). *What a waste. A global review of solid waste management*. World Bank.
- Ni-Bin C., Pires A. (2015). *Sustainable Solid Waste Management. A Systems Engineering Approach*. Wiley & Sons.
- Pichtel, J. (2014). *Waste Management Practices. Municipal, Hazardous, and Industrial*. (Second ed.). CRC Press, Taylor & Francis Group.
- PLastic ZERO. (2012). *Action 3.1: Survey on existing technologies and methods for plastic waste sorting and collection*. Ανάκτηση από [http://www.plastic-zero.com/media/20355/action\\_3.1\\_collection\\_and\\_sorting\\_technologies\\_-\\_final\\_july\\_2012.pdf](http://www.plastic-zero.com/media/20355/action_3.1_collection_and_sorting_technologies_-_final_july_2012.pdf)
- Plastics and the Environment* Google Books. (n.d.). Retrieved from [https://books.google.gr/books?id=aC97DwAAQBAJ&pg=PA157&lpg=PA157&dq=after+use+collection+plastics&source=bl&ots=s5gljseQTp&sig=ACfU3U1SgS\\_ecji5VEYg\\_DuTTv1Glk61NA&hl=el&sa=X&ved=2ahUKEwjwuL\\_b0r\\_kAhUvxMQBHW9PBCI4FBDoATABegQICRAB#v=onepage&q=after%20use%20co](https://books.google.gr/books?id=aC97DwAAQBAJ&pg=PA157&lpg=PA157&dq=after+use+collection+plastics&source=bl&ots=s5gljseQTp&sig=ACfU3U1SgS_ecji5VEYg_DuTTv1Glk61NA&hl=el&sa=X&ved=2ahUKEwjwuL_b0r_kAhUvxMQBHW9PBCI4FBDoATABegQICRAB#v=onepage&q=after%20use%20co)
- PlasticsEurope. (2018). *Plastics – the Facts 2018. An analysis of European plastics production, demand and waste data*. PlasticsEurope Publication, Association of Plastics Manufacturers. Retrieved from <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/619-plastics-facts-2018>
- Ragaert K., D. L. (2017, November). Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*, σσ. 24-58. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.044>
- ScienceDirect*. (n.d.). Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/resin>
- Subramanian, D. M. (2014). *Introduction to Polymer Compounding: Raw Materials, Volume I*. Smithers Information Ltd.

- Themelis N. J., Boutsalas A. C. (2019). *Recovery of Materials and Energy from Urban Wastes. A Volume in the Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. (Second ed.). Springer Science+Business Media LLC, part of Springer Nature 2019.
- TheOceanCleanUp*. (n.d.). Ανάκτηση από <https://theoceancleanup.com/>
- Tolinski, M. (2012). *Plastics Sustainability. Towards a Peaceful Coexistence between Bio-based and Fossil Fuel-based Plastic*. Wiley.
- Trucost. (2016). *Plastics and Sustainability: A Valuation of Environmental Benefits, Costs and Opportunities for Continuous Improvement*. American Chemistry Council. Ανάκτηση από <https://plastics.americanchemistry.com/Plastics-and-Sustainability.pdf>
- UNEP. (2019). *GLOBAL RESOURCES OUTLOOK 2019: NATURAL RESOURCES FOR THE FUTURE WE WANT*. United Nations Environment Programme, International Resource Panel. Retrieved from <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/27518>
- UNEP. (2019). *GLOBAL RESOURCES OUTLOOK, Key Messages*. United Nations Environment Programme, International Resource Panel. Retrieved from <https://www.resourcepanel.org/sites/default/files/documents/document/media/gro-key-messages-web.pdf>
- Vezzoli, C. (2018). *Design for Environmental Sustainability. Life Cycle Design of Products*. (Second ed.). Springer-Verlag London Ltd.
- Worrel E., Reuter M. A. (2014). *HANDBOOK OF RECYCLING, State-of-the-art for practitioners, analysts, and scientists*. Elsevier.
- WRAP. (2009, June). *Choosing the right recycling collection system*. Retrieved from <https://www.wrap.org.uk/content/household-recycling-collection-systems>
- WRAP. (2012, May). *Collection and Sorting of Household Rigid Plastic Packaging*. Retrieved from [https://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Rigid\\_Plastics\\_Guide.pdf](https://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Rigid_Plastics_Guide.pdf)
- WRAP. (2012, January). *Kerbside Collection of Plastic Bottles Guide*. Retrieved from [https://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Plastic\\_bottles\\_kerbside\\_collection\\_guide\\_v2.pdf](https://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Plastic_bottles_kerbside_collection_guide_v2.pdf)
- WRAP. (2015, February). *Dry recyclables: improving quality, cutting contamination*. Ανάκτηση από <https://www.wrap.org.uk/collections-and-reprocessing/collections-and-sorting/kerbside-collections/guidance/dry-recyclables-improving-quality>
- WRAP. (2015). *Plastics Compositional Analysis at MRFs. A study into the plastic packaging composition arriving at MRFs from Final Report*. Retrieved from <https://www.wrap.org.uk/collecting-and-reprocessing/dry-materials/plastics/reports/wrap-plastics-compositional-analysis-mrfs>

- WWF. (2019). *Η πλαστική ρύπανση στην Ελλάδα και πώς μπορεί να αντιμετωπιστεί*. Ανάκτηση από <https://www.wwf.gr/images/pdfs/GreekPlasticLow.pdf>
- ΕΕ Δελτίο Τύπου. (2019). Κυκλική οικονομία: Η Επιτροπή εκφράζει την ικανοποίησή της για την τελική έγκριση από το Συμβούλιο των νέων κανόνων σχετικά με τα πλαστικά μίας χρήσης με σκοπό τη μείωση των θαλάσσιων απορριμμάτων από πλαστικό. Βρυξέλλες. Ανάκτηση από [https://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-19-2631\\_el.htm](https://europa.eu/rapid/press-release_IP-19-2631_el.htm)
- ΕΣΔΑ. (2015). *Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ)*. Ελλάδα: Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας Ελλάδας. Ανάκτηση από <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=OI1IVu124Jk%3D&tabid=238&language=el-GR>
- Ευρωπαϊκή Ένωση. (2018). *Αλλάζοντας τον τρόπο που χρησιμοποιούμε τα πλαστικά*. EU Publications.
- Ευρωπαϊκή Ένωση. (2018). Πλαίσιο Παρακολούθησης για την Κυκλική Οικονομία. (*Paper/Volume\_01 KH-04-18-001-EL-C*). Ευρωπαϊκή Ένωση. doi:10.2779/2170
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή. (2018, Μαΐου 22). Κυκλική οικονομία: Οι νέοι ενωσιακοί κανόνες θα καταστήσουν την ΕΕ παγκόσμια πρωτοπόρο στη διαχείριση αποβλήτων και στην ανακύκλωση. *Ευρωπαϊκή Επιτροπή*. Ανάκτηση από [https://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-18-3846\\_el.htm](https://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3846_el.htm)
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή. (2019). *ΕΚΘΕΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟ, ΤΟ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ, ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΩΝ σχετικά με την υλοποίηση του σχεδίου δράσης για την κυκλική οικονομία*. Βρυξέλλες. Ανάκτηση από <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/el/TXT/?uri=CELEX:52019DC0190>
- Μουζάκης Γ., Παπανικολάου Δ. (2007). *Σύνθετα Υλικά*. Κλειδάριθμος.
- Οδηγία (ΕΕ) 2019/904. (2019, Ιουνίου 5). *Σχετικά με τη μείωση των επιπτώσεων ορισμένων πλαστικών προϊόντων στο περιβάλλον (Κείμενο που παρουσιάζει ενδιαφέρον για τον ΕΟΧ)*. ΡΕ/11/2019/REV/1 . Ανάκτηση από <http://data.europa.eu/eli/dir/2019/904/oj>
- Οδηγία 2008/98/ΕΚ. (2008). *ΟΔΗΓΙΑ 2008/98/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 19ης Νοεμβρίου 2008 για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών*. Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο.
- Παντελής, Δ. Ι. (2008). *Μη μεταλλικά τεχνικά υλικά. Πολυμερή/Κεραμικά/Σύνθετα υλικά/Ξύλο, Δομή/Ιδιότητες/Τεχνολογία/Εφαρμογές* (2η Αναθεωρημένη εκδ.). Παπασωτηρίου.
- Σταφυλίδης. (2009). *Λεξικό τεχνολογίας & επιστημών. Αγγλοελληνικό & Ελληνοαγγλικό*. (Τρίτη εκδ.). Εκδόσεις Σταφυλίδη.