

Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο  
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών



# Ανακύκλωση Πολυμερών: Σκοπός - Μεθοδολογία Επίδραση στον κλάδο της Βιομηχανίας



Σπουδαστής: Κουμπανάκης Χρύσανθος  
Επιβλέπων Καθηγητές: Δρ. Βιδάκης Νεκτάριος  
Δρ. Πετούσης Μάρκος

Ηράκλειο Κρήτης  
Απρίλιος 2021

Hellenic Mediterranean University  
Department of Mechanical Engineering



# Polymer Recycling: Purpose - Methodology Impact on Industry



Student: Koubanakis Chrysanthos  
Supervising Teachers: Dr. Vidakis Nektarios  
Dr. Petousis Markos

Heraklion  
April 2021



## Πίνακας Περιεχομένων

<b>Πίνακας Περιεχομένων</b> .....	<b>4</b>
<b>Κατάλογος Εικόνων</b> .....	<b>6</b>
<b>Κατάλογος Πινάκων</b> .....	<b>8</b>
<b>Κατάλογος Γραφημάτων</b> .....	<b>9</b>
<b>Περίληψη</b> .....	<b>10</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>11</b>
<b>1. Εισαγωγή</b> .....	<b>12</b>
1.1 Ιστορική αναδρομή πολυμερών υλικών .....	13
<b>2. Επιστήμη και ταξινόμηση των Πολυμερών</b> .....	<b>17</b>
2.1 Σύνθεση και Δομή Πολυμερών .....	18
2.2 Ιδιότητες, ταξινόμηση και χαρακτηρισμός πολυμερών .....	20
2.2.1 Θερμοπλαστικά πολυμερή.....	21
2.2.2 Θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή .....	25
2.2.3 Ελαστομερή πολυμερή.....	28
2.2.4 Σύνθετα και Αφρώδη πολυμερή .....	29
<b>3. Πλαστική ύλη</b> .....	<b>31</b>
3.1 Άμορφα και κρυσταλλικά πλαστικά .....	32
3.2 Αγωγή πολυμερή.....	33
3.3 Βιοαποικοδομήσιμα πλαστικά και Βιοπλαστικά .....	34
<b>4. Μελέτη μεθόδων πολυμερισμού</b> .....	<b>37</b>
4.1 Σταδιακές αντιδράσεις πολυμερισμού .....	38
4.1.1 Βιομηχανικές μέθοδοι σταδιακού πολυμερισμού .....	39
4.2 Αλυσιδωτές αντιδράσεις πολυμερισμού .....	40
4.2.1 Πολυμερισμός με ελεύθερες ρίζες.....	40
4.3 Ανιοντικός πολυμερισμός .....	41
4.4 Κατιοντικός πολυμερισμός .....	42
4.5 Ζωντανός ριζικός πολυμερισμός .....	42
4.5.1 Ζωντανός ριζικός πολυμερισμός με την χρήση νιτροξειδικών ριζών.....	42
4.5.2 Ζωντανός ριζικός πολυμερισμός μεταφοράς ατόμου (ΡΠΜΑ) .....	43
4.6 Καταλυτικός πολυμερισμός .....	44
<b>5. Ανακύκλωση</b> .....	<b>45</b>
5.1 Διαδικασία, Μέθοδοι Ανακύκλωσης και Συλλογής.....	46
5.2 Ταξινόμηση υλικών ανακύκλωσης .....	49
5.3 Ανακυκλώσιμα υλικά και απόβλητα.....	51
5.3.1 Ανακύκλωση βιομηχανικών αποβλήτων.....	54
5.3.2 Ανακύκλωση ηλεκτρονικών αποβλήτων .....	55
5.3.3 Ανακύκλωση πλαστικών υλικών .....	56

5.4	Ανακύκλωση στον κλάδο των πολυμερών υλικών .....	57
5.4.1	Μελέτη μεθόδων ανακύκλωσης πολυμερών .....	58
5.4.2	Κωδικοί αναγνώρισης ανακύκλωσης πολυμερών υλικών .....	60
<b>6.</b>	<b>Ο πολυμερισμός στη βιομηχανία και την οικονομία .....</b>	<b>62</b>
6.1	Οφέλη και επίδραση της ανακύκλωσης πολυμερών στη βιομηχανία .....	64
<b>7.</b>	<b>Ερευνητικά στατιστικά αποτελέσματα από την ανακύκλωση πολυμερών υλικών .....</b>	<b>66</b>
<b>8.</b>	<b>Συμπεράσματα .....</b>	<b>72</b>
<b>9.</b>	<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>73</b>



## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1	Βακελίτης, το πρώτο πλαστικό κατασκευασμένο από συνθετικά υλικά. ....	13
Εικόνα 1.2	Κυτταρίνη σε πυκνή μορφή, ειδική για τοίχους και κλειστές οροφές. ....	14
Εικόνα 1.3	Κυτταρίνη σε χαλαρής μορφής γέμισμα. ....	14
Εικόνα 1.4	Ζελατίνη, ένα από τα πρώτα πλαστικά στον κόσμο, τυλιγμένη σε φύλλα ταινίας. ....	15
Εικόνα 1.5	Πολυμεθακρυλικός μεθυλεστέρας, PMMA, όπου στην τώρα εποχή ονομάζεται πλεξιγκλάς στην αγορά. ....	16
Εικόνα 2.1	Χημικοί τύποι και μοριακές αλυσίδες γραμμικών και διακλαδωμένων πολυμερών. ....	18
Εικόνα 3.7	Μοριακή αλυσίδα θερμοπλαστικού πολυμερές αδύναμων διαμοριακών δυνάμεων. ....	22
Εικόνα 3.7	Θερμοπλαστικό πολυμερές που ονομάζεται Πολυμορφη και αποτελείται από μικρές μπίλιες το οποίο λιώνει στους 62°C. ....	22
Εικόνα 3.7	Κύβιοι από θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές που χρησιμοποιείται για τη ψυχαγωγία των μικρών παιδιών. ....	25
Εικόνα 3.8	Μοριακή αλυσίδα θερμοσκληρυνόμενου πολυμερές με ισχυρούς ομοιοπολικούς δεσμούς μεταξύ της αλυσίδας, με σταυρωτούς σύνδεσμούς. ....	28
Εικόνα 3.9	Διαφορά μοριακής αλυσίδας μεταξύ θερμοπλαστικού και θερμοσκληρυνόμενου πολυμερές. ....	28
Εικόνα 3.10	Μοριακή αλυσίδα ελαστομερούς πολυμερούς: (Α) είναι ένα πολυμερές χωρίς πίεση, (Β) είναι το ίδιο πολυμερές υπό πίεση που όταν αφαιρεθεί η πίεση, επιστρέφει στη διαμόρφωση Α. ....	29
Εικόνα 3.12	Εξαρτήματα σύνδεσης υδραυλικών συστημάτων κατασκευασμένα από ελαστομερή πολυμερές. ....	29
Εικόνα 3.11	Αφρώδες πολυμερές. ....	30
Εικόνα 3.1	Μικροί κόκκοι από πλαστική ύλη. ....	31
Εικόνα 3.2	Πλαστικό δοχείο από κρυσταλλικό πλαστικό πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας HDPE. ....	33
Εικόνα 3.3	Ηλεκτρονικά εξαρτήματα που ονομάζονται πυκνωτές αγώγιμων πολυμερών, μακράς διάρκειας, φιλικά προς το περιβάλλον, με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. ....	33
Εικόνα 3.5	Σακούλα από βιοαποικοδομήσιμο ή αλλιώς βιοδιασπώμενο πλαστικό, για τη χρήση τοποθέτησης πατάτας, αμύλου. ....	35
Εικόνα 3.6	Συσκευασία με μαχαίρι και πιρούνι από βιοπλαστικό για την τοποθέτηση και λήψη φαγητού. ....	37
Εικόνα 3.1	Γενική αντίδραση κατιοντικού πολυμερισμού. ....	42
Εικόνα 4.2	Γενικός μηχανισμός ζωντανού ριζικού πολυμερισμού. ....	43
Εικόνα 4.3	Ριζικός πολυμερισμός μεταφοράς ατόμου. ....	43
Εικόνα 5.1	Σύμβολο ανακύκλωσης. ....	46
Εικόνα 5.2	Κάδοι αποκομιδής υλικών. ....	47
Εικόνα 5.3	Κέντρο διαλογής ανακυκλώσιμων υλικών. ....	47
Εικόνα 5.4	Κέντρο επαναγοράς ανακυκλώσιμων υλικών. ....	48
Εικόνα 5.5	Κέντρο επεξεργασίας ανακύκλωσης πλαστικών PET σε εργοστάσιο στην Ιταλία. ....	49
Εικόνα 5.6	Ιεραρχία Ανακύκλωσης. ....	49
Εικόνα 5.7	Ειδικά διαμορφωμένο μηχάνημα με δίσκους, διαχωρισμού υλικών κατά βάρος. ....	50
Εικόνα 5.8	Ανακυκλώσιμα υλικά και απόβλητα. ....	51

Εικόνα 5.9	Βιομηχανικά απόβλητα .....	54
Εικόνα 5.10	Ηλεκτρονικά απόβλητα .....	55
Εικόνα 5.11	Πλαστικά απόβλητα .....	56

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1	Συνθετικά πολυμερές ανάλογα τη χρονολογία ανακάλυψης. ....	16
Πίνακας 2	Χαρακτηριστικά και χρήσεις θερμοπλαστικών πολυμερών. ....	24
Πίνακας 3	Χαρακτηριστικά και χρήσεις θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών.....	27
Πίνακας 4	Δομή, Ιδιότητες και Χρήσεις Πολυμερών Σταδιακού Πολυμερισμού.....	39
Πίνακας 5	Ομάδα υλικών που ανακυκλώνονται σύμφωνα με τον Ε.Ο.ΑΝ.....	53
Πίνακας 6	Κωδικοί αναγνώρισης πολυμερών υλικών σε συνδυασμό με τη χρησιμότητά τους. ....	62



## Κατάλογος Γραφημάτων

Γράφημα 1 Παραγωγή πλαστικών αποβλήτων ανά τομέα το έτος 2018 (βάσει των στοιχείων που αναφέρονται στο έγγραφο «A circular economy for plastics – A European Overview», PlasticsEurope, 2019) (Επισκόπηση αριθ. 04, Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο 2020).....	66
Γράφημα 2 Τρόποι επεξεργασίας των πλαστικών αποβλήτων στην ΕΕ το έτος 2018 (βάσει στοιχείων του εγγράφου με τίτλο «Plastics – the Facts 2019», PlasticsEurope) (Επισκόπηση αριθ. 04, Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο 2020). ....	67
Γράφημα 3 Ποσοστά ανακύκλωσης των πλαστικών σε επιλεγμένες χώρες υψηλής οικονομίας (Σύμφωνα με το έγγραφο του ΟΟΣΑ 2018, «Improving Markets for Recycled Plastics: Trends,.....	67
Γράφημα 4 Καταγεγραμμένα ποσοστά ανακύκλωσης πλαστικών συσκευασιών το έτος 2017 (βάσει στοιχείων της Eurostat) (Επισκόπηση αριθ. 04, Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο 2020). ....	68
Γράφημα 5 Παραγωγή και ανακύκλωση απορριμμάτων πλαστικών συσκευασιών (βάσει στοιχείων της Eurostat) (Επισκόπηση αριθ. 04, Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο 2020). ....	68
Γράφημα 6 Παραγωγή και ανακύκλωση απορριμμάτων πλαστικών συσκευασιών (βάσει στοιχείων της Eurostat).....	69
Γράφημα 7 Επεξεργασία πλαστικών αποβλήτων στην Ελλάδα, 2010-2016 (βάσει στοιχείων της Eurostat). 69	69
Γράφημα 8 Επεξεργασία και ανακύκλωση πλαστικών αποβλήτων, κιλά ανά άτομο, το έτος 2016 (βάσει στοιχείων της Eurostat). ....	70
Γράφημα 9 Επεξεργασία και ανακύκλωση αποβλήτων, κιλά ανά άτομο και διαχείριση αυτών το έτος 2018 στην Ελλάδα και την ΕΕ (βάσει στοιχείων της Eurostat).....	70
Γράφημα 10 Ανακύκλωση πολυμερών και γενικών αποβλήτων, ανάλογα τον τρόπο διαχείρισής τους, 2018 στην Ελλάδα και την ΕΕ (βάσει στοιχείων της Eurostat).....	70

## Περίληψη

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η βιβλιογραφική επισκόπηση σχετικά με το θέμα της ανακύκλωσης αλλά και ανάκτησης των πολυμερών. Συνοπτικά τα στάδια της εργασίας αυτής είναι ο ορισμός και η ανάλυση της ανακύκλωσης, η αναγνώριση αλλά και η περιγραφή των πολυμερών υλικών και των υποκατηγοριών τους, η μελέτη των μεθόδων του πολυμερισμού αλλά και ο τρόπος ανακύκλωσης των πολυμερών, τα επόμενα στάδια αφορούν την επίδραση που έχει η ανακύκλωση των πολυμερών υλικών στην βιομηχανία αλλά και τα οφέλη, καθώς και την αξιολόγηση διαφόρων αποτελεσμάτων από πρόσφατες έρευνες.

Κατά την αρχική φάση της εργασίας, έγινε μία βιβλιογραφική έρευνα σχετικά με την έννοια του όρου «πολυμερές υλικό» και του όρου «ανακύκλωση» ώστε να υπάρχει η απαραίτητη γνώση και βάση για την συγγραφή αυτής της πτυχιακής εργασίας. Σε δεύτερο χρόνο ακολούθησε η αναγνώριση των υλικών, η χρήση διαφόρων πινάκων, με συγκεκριμένη βιβλιογραφική αναφορά κάθε φορά, με τα υλικά τα οποία έχουν ανακαλυφθεί και έχουν δημιουργηθεί μέχρι σήμερα. Η ταξινόμηση των υλικών ανάλογα τις διάφορες παραμέτρους και τις χρήσεις τους συντέλεσε στην κατανόηση για την κατηγοριοποίησή τους.

Στη συνέχεια με τη βοήθεια της βιβλιογραφίας γίνεται η αναφορά στην διαδικασία της ανακύκλωσης σε μία γενικότερη περίπτωση, στην μεθοδολογία της ανακύκλωσης και στον διαχωρισμό των υλικών που ανακυκλώνονται από αυτά που δεν ανακυκλώνονται. Ακολούθησε η μελέτη σχετικά με τη χρήση της ανακύκλωσης στη βιομηχανία και τον τρόπο που διεξάγεται αυτή σε διάφορα κέντρα που παρέχουν τις προδιαγραφές ώστε να γίνεται η ανακύκλωση διάφορων υλικών και αποβλήτων με σωστό τρόπο.

Τέλος καταγράφηκαν τα οφέλη και οι τρόποι επίδρασης της ανακύκλωσης των πολυμερών υλικών στη βιομηχανία και έγινε η αναφορά κάποιων σημαντικών ερευνητικών στατιστικών που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της διαφοράς που υπάρχει ανάμεσα σε χρόνους.

## Abstract

The purpose of this thesis is the bibliographical overview on the issue of recycling and recovery of polymers. In summary, the stages of this work are the definition and analysis of recycling, the identification and description of polymer materials and their subcategories, the study of polymerization methods and the way polymers are recycled, the next stages concern the impact of the recycling of polymer materials on industry and the benefits, as well as the evaluation of various results from recent research.

During the initial phase of the work, a bibliographical survey was carried out on the concept of the term 'polymer material' and the term 'recycling' in order to provide the necessary knowledge and basis for the writing of this graduate work. In the second year followed the recognition of materials, the use of various tables, with specific bibliographical reference each time, with materials that have been discovered and created to date. The classification of materials according to the different parameters and their uses contributed to the understanding of their categorization.

Then, with the help of the literature, reference is made to the recycling process in a more general case, to the recycling methodology and to the separation of materials recycled from those that are not recycled. This was followed by a study on the use of recycling in industry and how it is carried out in various centers providing the specifications to recycle various materials and waste in the right way.

Finally, the benefits and ways of impacting the recycling of polymer materials on industry were recorded and some important research statistics used to assess the difference between times were reported.

## 1. Εισαγωγή

Αν και η ανακύκλωση μειώνει την αρνητική επίδραση των πλαστικών στο περιβάλλον, τα περισσότερα πλαστικά μπορούν να ανακυκλωθούν μόνο μερικές φορές. Έχουν ανακαλυφθεί στις μέρες μας πολυμερή τα οποία μπορούν να ανακυκλωθούν απεριόριστα, χωρίς αυτό να απαιτεί εντατικές διαδικασίες σε εργαστήριο ή χρήση τοξικών χημικών ουσιών. Το ανακυκλώσιμο αυτό πολυμερές είναι ισχυρό, ανθεκτικό, ελαφρύ και αντέχει την υψηλή θερμοκρασία.

Με την εφεύρεση των συνθετικών πλαστικών υλικών και την ανάπτυξη καινοτόμων προϊόντων από τη βιομηχανία των πλαστικών, η ανθρωπότητα απέκτησε πρόσβαση σε νέα αγαθά με εξαιρετικές ιδιότητες. Η διαθεσιμότητα πρώτης ύλης, το σχετικά χαμηλό κόστος παραγωγής και η χρήση των πλαστικών υλικών σε μεγάλη ποικιλία εφαρμογών έχει συμβάλλει σημαντικά στη βελτίωση των συνθηκών ζωής.

Οι εφαρμογές των πλαστικών αποτελούν πλέον αναπόσπαστο τμήμα σε όλους τους τομείς της καθημερινότητας, όπως η υγεία, η διατροφή, η επικοινωνία και οι μεταφορές. Ωστόσο, ως αποτέλεσμα των εξαιρετικών χαρακτηριστικών των πλαστικών, η διείσδυση τους έχει φτάσει σε επίπεδα που δημιουργούνται σοβαρές προκλήσεις που σχετίζονται με την ορθή περιβαλλοντική τους διαχείριση.

Η διαχείριση των στερεών αποβλήτων είναι ένα σημαντικό παγκόσμιο πρόβλημα, το οποίο επιδεινώνεται προοδευτικά ως υποπροϊόν της συνεχούς οικονομικής ανάπτυξης. Τα πολυμερή υλικά (πλαστικά και ελαστικά) αποτελούν ένα σταθερά αυξανόμενο ποσοστό των αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων που καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής.

Η ανάπτυξη τεχνολογιών για τη μείωση των πολυμερών αποβλήτων, οι οποίες είναι αποδεκτές από περιβαλλοντικής απόψεως, και οι οποίες είναι οικονομικά αποδοτικές, έχει αποδειχθεί ότι είναι μια δύσκολη πρόκληση λόγω μιας πολυπλοκότητας ολόκληρου του εύρους που υπάρχει στην επαναχρησιμοποίηση των πολυμερών. Η καθιέρωση βέλτιστων διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση / ανακύκλωση πολυμερών υλικών παραμένει έτσι μια παγκόσμια πρόκληση.

## 1.1 Ιστορική αναδρομή πολυμερών υλικών

Η ιστορία διαμορφώνεται από τα υλικά που αναπτύσσονται και χρησιμοποιούνται. Πριν από περίπου 15.000 χρόνια, μετατράπηκε το οξείδιο του σιδήρου σε μεταλλικό σίδηρο και η Εποχή του Λίθου έγινε η Εποχή του Σιδήρου. Αιώνες αργότερα, αναμίχθηκε ο χαλκός και ο κασσίτερος και η Εποχή του Σιδήρου έγινε η Εποχή του Χαλκού. Η εισαγωγή του Βακελίτη, το πρώτο συνθετικό πλαστικό στον κόσμο, το 1907 σηματοδότησε την εισαγωγή της Εποχής του Πολυμερούς.



**Εικόνα 1.1** Βακελίτης, το πρώτο πλαστικό κατασκευασμένο από συνθετικά υλικά.

Πιο αναλυτικά, οι χημικοί δεν είχαν καταλάβει πλήρως ούτε είχαν αναγνωρίσει τα πολυμερή μέχρι το 1900. Όμως, ήδη από το 1861, από τον Βρετανό χημικό Thomas Graham είχε σημειωθεί ότι όταν διαλύονται οργανικές ενώσεις σε διαλύματα, μερικές από αυτές, για παράδειγμα η κυτταρίνη, δεν περνούσαν ούτε από τα καλύτερα διηθημένα χαρτιά χωρίς να αφήσουν κολλώδη υπολείμματα.

Η κυτταρίνη είναι ένα σημαντικό δομικό συστατικό του πρωτεύοντος κυτταρικού τοιχώματος των πράσινων φυτών, πολλές φορές φυκών και μυκήτων, όπου το εκκρίνουν ορισμένα είδη βακτηρίων για να σχηματίσουν βιοφιλμ. Χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή χαρτονιού και χαρτιού.

Μικρότερες ποσότητες μετατρέπονται σε μεγάλη ποικιλία παραγωγής προϊόντων όπως το σελοφάν, είναι αδιάλυτη στο νερό και είναι το πιο άφθονο οργανικό πολυμερές στη Γη. Για βιομηχανική χρήση προέρχεται κυρίως από πολύ ξύλου και βαμβάκι. Οι βαμβακερές ίνες, αντιπροσωπεύουν την καθαρότερη φυσική μορφή κυτταρίνης.



**Εικόνα 1.2** Κυτταρίνη σε πυκνή μορφή, ειδική για τοίχους και κλειστές οροφές.



**Εικόνα 1.3** Κυτταρίνη σε χαλαρή μορφή γέμισμα.

Η κυτταρίνη χαλαρής μορφής γέμισματος είναι ειδική για ανοιχτά δάπεδα, όπου διοχετεύεται και αφήνεται να εγκατασταθεί μόνη της. Η διαδικασία γέμισματος μπορεί να πραγματοποιηθεί με ή χωρίς στεγανοποίηση αέρα. Ωστόσο η στεγανοποίηση θα αυξήσει την αποτελεσματικότητα της μόνωσης.<sup>[4][5]</sup>

Ούτε αυτές οι ενώσεις μπορούσαν να καθοριστούν ως κρυσταλλική μορφή. Ο Δόκτωρ Graham πίστευε ότι τέτοιες ουσίες αντιπροσώπευαν μια εντελώς διαφορετική οργάνωση της ύλης. Τα ονόμασε «κolloειδή», από την ελληνική λέξη κόλλα, ένα υλικό το οποίο δεν μπορούσε να διεισδύσει σε λεπτά φίλτρα.

Πολλοί κατασκευαστές τον 19<sup>ο</sup> αιώνα τροποποίησαν κolloειδή υλικά και φυσικά πολυμερή για να σχηματίσουν νέα υλικά. Το 1870, ο Αμερικανός εφευρέτης John Wesley Hyatt χρησιμοποίησε χημικά τροποποιημένη κυτταρίνη για να παράγει ένα εκπληκτικό νέο προϊόν που ονομάζεται ακόμη και σήμερα ζελατίνη (Celluloid), ένα πλαστικό που χρησιμοποιήθηκε για τα πάντα, από τις χτένες μαλλιών έως το υλικό που χρησιμοποιούνταν σε κινηματογραφικές ταινίες.<sup>[3]</sup>



Μέχρι το 1890, ο Count Hilaire de Chardonnet κυκλοφόρησε το πρώτο συνθετικό κλωστοϋφαντουργικό προϊόν, το μετάξι Chardonnet, φτιαγμένο από την περιστροφή νημάτων νιτρικής κυτταρίνης σε τεχνητές ίνες. Αυτά και άλλα πρώιμα πλαστικά κατασκευάστηκαν από ήδη υπάρχοντα υλικά και το επόμενο βήμα θα ήταν η δημιουργία ενός συνθετικού πλαστικού.

Κατά τη διάρκεια της βικτοριανής εποχής (περίοδος της βασιλείας της βασίλισσας Βικτώριας) από τα μέσα του 1837, ήταν εύχρηστο για τους πλούσιους κυρίως να κατέχουν ένα τραπέζι μπιλιάρδου και μια σειρά από μπάλες μπιλιάρδου φτιαγμένες από το καλύτερο και πιο τέλειο ελεφαντόδοντο. Όμως, οι κυνηγοί του 19ου αιώνα είχαν ουσιαστικά αποδεκατίσει τα κοπάδια ελεφάντων της Αφρικής και της Ινδίας, την πηγή δηλαδή όπου έπαιρναν το υλικό του ελεφαντόδοντου.

Μέχρι το 1863, η έλλειψη ελεφαντόδοντου είχε γίνει τόσο κρίσιμη που ένας κατασκευαστής μπιλιάρδου της Νέας Υόρκης προσέφερε ένα έπαθλο των 10.000 δολαρίων στο άτομο που θα μπορούσε να δημιουργήσει ένα χρήσιμο υποκατάστατο.

Οι νικητές ήταν ο John Wesley Hyatt, ένας νεαρός στο Όλμπανι, την πρωτεύουσα της Αμερικάνικης πολιτείας της Νέας Υόρκης και ο αδελφός του, ο Ησαΐας. Δεν έλαβαν ποτέ τα χρήματα, αλλά άλλαξαν την ιστορία, εφευρίσκοντας την ζελατίνη, ένα από τα πρώτα πλαστικά στον κόσμο. Η ζελατίνη δεν έμοιαζε μόνο με ελεφαντόδοντο, αλλά είχε εκπληκτικές ιδιότητες σε κανονικές θερμοκρασίες, ήταν ένα μόνιμο, σκληρό στερεό. Όταν θερμαινόταν, γινόταν μαλακό και μπορούσε να μορφοποιηθεί ή να τυλιχτεί σε φύλλα. Σύντομα έγινε το υλικό της επιλογής για τις μπάλες του μπιλιάρδου αλλά και δεκάδων άλλων προϊόντων.



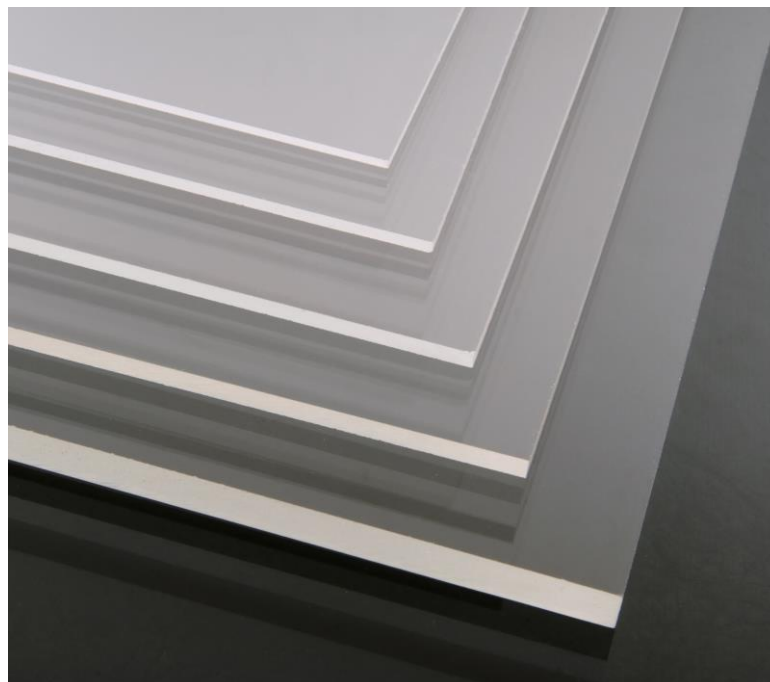
Εικόνα 1.4 Ζελατίνη, ένα από τα πρώτα πλαστικά στον κόσμο, τυλιγμένη σε φύλλα ταινίας.

Οι Hyatts έφτιαξαν υλικά από ζελατίνη εφαρμόζοντας θερμότητα και πίεση σε ένα μείγμα νιτρικής κυτταρίνης και καμφοράς(ένα υλικό στερεό κηρώδες, εύφλεκτο με έντονο άρωμα). Έτσι κατασκευάστηκε ένα πλαστικό με την τροποποίηση φυσικών υλικών. Περισσότερα από 40 χρόνια πέρασαν πριν από την εφεύρεση του πρώτου πλήρους συνθετικού πλαστικού.<sup>[1]</sup>

Τέλος, στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται ονομαστικά τα συνθετικά πολυμερή που ανακαλύφθηκαν κατά χρονολογία.

Συνθετικό Πολυμερές	Χρονολογία
Νιτρική κυτταρίνη	1868
Αναγεννημένη κυτταρίνη	1893
Συμπολυμερή στυρενίου - διενίων, Φαινολικές Ρητίνες	1910
Οξική κυτταρίνη για τα αεροσκάφη	1914
Νιτρική κυτταρίνη για τα αυτοκίνητα	1920
Ίνες οξικής κυτταρίνης	1924
Πλαστικά οξικής κυτταρίνης, παρασκευή PVC	1927
Ρητίνες ουρίας - φορμαλδεΐδης	1929
<b>Αποδοχή της μακρομορίας</b>	<b>1930</b>
Πολυμεθακρυλικός μεθυλεστέρας	1931
Πολύ (οξικό βινύλιο) σε προστατευτικά τζάμια, παραγωγή νάιλον 66	1936
Παραγωγή πολυστυρενίου	1937
Ρητίνες μελαμίνης – φορμαλδεΐδης, νεοπρένιο, πολυσουλφίδια	1939
Παραγωγή πολυαιθυλενίου, πολυβουταδινίου, ακρυλονιτρίλιο – βουταδιένιο, πολυουρεθάνες, στυρένιο – βουταδιένιο, πολυισοβουτυλένιο	1939 - 1945
Εποξειδικές ρητίνες, αφρυλονιτρίλιο – βουταδιένιο – στυρένιο, πολυεστέρες, σιλικόνες, πολυπροπυλένιο, ανιοντικός πολυμερισμός, κατιοντικός πολυμερισμός, TEFLON	1945 - 1960
Αιθυλένιο – προπυλένιο, πολυιμίδια, πολυσουλφόνες, πολυμερισμός μεταφοράς ομάδας, πολυφωσφαζίνες, πολυσυλάνια κ.λ.π.	1960 - 1980

Πίνακας 1 Συνθετικά πολυμερές ανάλογα τη χρονολογία ανακάλυψης.



Εικόνα 1.5 Πολυμεθακρυλικός μεθυλεστέρας, PMMA, όπου στην τώρα εποχή ονομάζεται πλεξιγκλάς στην αγορά.

## 2. Επιστήμη και ταξινόμηση των Πολυμερών

Η επιστήμη των πολυμερών ή η μακρομοριακή επιστήμη είναι ένα δευτερεύον πεδίο της επιστήμης των υλικών που ασχολείται με τα πολυμερή, κυρίως συνθετικά πολυμερή όπως τα πλαστικά και τα ελαστομερή. Ο τομέας της επιστήμης των πολυμερών περιλαμβάνει ερευνητές σε πολλαπλούς κλάδους συμπεριλαμβάνοντας τη χημεία, τη φυσική και τη μηχανική.

Η επιστήμη αυτή αποτελείται λοιπόν, από τρεις κύριες υποκατηγορίες, τη χημεία των πολυμερών ή τη μακρομοριακή χημεία, τη φυσική των πολυμερών και τα χαρακτηριστικά των πολυμερών ανάλογα τη χημική δομή τους, τη μορφολογία και τις φυσικές ιδιότητές τους. Η χημεία των πολυμερών αφορά τη χημική τους σύνθεση και τις χημικές τους ιδιότητες. Η φυσική των πολυμερών ασχολείται με τις φυσικές τους ιδιότητες και τις εφαρμογές τους στη μηχανική.

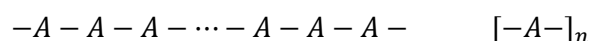
Ο όρος πολυμερές προέρχεται από την ελληνική λέξη πολύς, που σημαίνει πολλά και μέρος, δηλαδή το μέρος ενός κομματιού και αναφέρεται σε μεγάλα μόρια των οποίων η δομή αποτελείται από πολλαπλές επαναλαμβανόμενες μονάδες από όπου προέρχεται ένα χαρακτηριστικό της υψηλής σχετικής μοριακής μάζας των ιδιοτήτων που τις συνοδεύουν. Οι μονάδες που συνθέτουν τα πολυμερή, αντλούνται στην πραγματικότητα από μόρια χαμηλής σχετικής μοριακής μάζας.<sup>[7]</sup>

Τα πολυμερή ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα φυσικά πολυμερή και τα τεχνητά πολυμερή. Στα φυσικά πολυμερή συμπεριλαμβάνονται οι πρωτεΐνες, τα νουκλεϊνικά οξέα, η κελουλόζη (πολυσακχαρίτες) και το φυσικό λάστιχο (πολυισοπρένιο). Στα συνθετικά πολυμερή ανήκουν υλικά με εμπορικές ονομασίες το νάιλον, το ντακρόν (DACRON, παράγωγο του πολυ-αιθυλενο-τερεφθαλικού οξέος), το πλεξιγκλάς, PVC και άλλα.

Το βάρος ενός μακρομορίου πολυμερούς κυμαίνεται από 10.000 έως και περισσότερα από 1.000.000 γραμμάρια (g). Η πλειοψηφία των πολυμερών είναι οργανικά, δηλαδή έχουν ως βάση τον άνθρακα, αλλά ενδέχεται να είναι και ανόργανα όπως παραδείγματος χάριν οι σιλικόνες που έχουν ως βάση ένα δίκτυο Si-O (άμορφη πρασινοκίτρινη ουσία με υαλώδη λάμψη, όπως ανέφερε το χρονικό διάστημα 1850 – 1927 ο χημικός Charles F. Maybery).

Συχνά τα οργανικά πολυμερή καλούνται και ως πλαστικά, είτε προέρχονται από τροποποίηση φυσικών υλών, είτε συντίθενται τεχνητά. Τα οργανικά λοιπόν, πολυμερή διακρίνονται σε θερμοπλαστικά, θερμοσκληρυνόμενα και ελαστομερή. Βρίσκουν μια ευρεία γκάμα εφαρμογών όπως για παράδειγμα για ηλεκτρική μόνωση, σε υλικά συσκευασίας και αντιτριβικές επικαλύψεις μαγειρικών σκευών.

Εάν η δομική ή επαναλαμβανόμενη μονάδα (μονομερές) είναι -A- και ο αριθμός επανάληψης του n, τότε το μόριο του πολυμερούς έχει την μορφή:



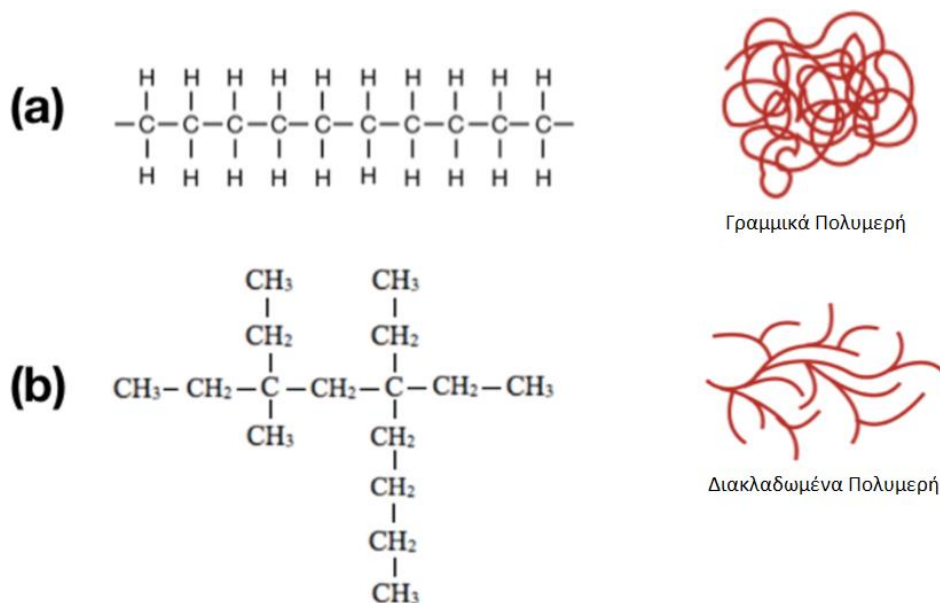
Ο αριθμός επανάληψης (n) ονομάζεται βαθμός πολυμερισμού (DP) και καθορίζει το μήκος της μοριακής αλυσίδας και το μοριακό βάρος του πολυμερούς. Εάν τα μονομερή της ανθρακικής αλυσίδας είναι του ίδιου τύπου, το μακρομόριο καλείται ως ομοπολυμερές, ενώ εάν μετέχουν περισσότερες διακριτές δομικές ομάδες ονομάζεται συμπολυμερές.

Το μοριακό βάρος του πολυμερούς υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη είτε το κατά βάρος ποσοστό ( $f_i$ )κάθε μονομερούς με μοριακό βάρος ( $M_i$ ), είτε τον αριθμό ( $n_i$ ) των υποαλυσίδων με το ίδιο μοριακό βάρος ( $M_i$ ):

$$\text{Μέσου βάρους μοριακό βάρος: } \overline{M}_w = \sum f_i M_i$$

$$\text{Μέσου αριθμού μοριακό βάρος: } \overline{M}_n = \frac{\sum n_i M_i}{\sum n_i}$$

Υπάρχουν διάφορα κριτήρια ταξινόμησης βάσει της ανάπτυξης της ανθρακικής αλυσίδας διακρίνονται σε γραμμικά ή διακλαδωμένα. Τα γραμμικά πολυμερή αποτελούνται από μοριακές αλυσίδες χωρίς διακλαδώσεις και στα διακλαδωμένα πολυμερή υπάρχουν πρωτεύουσες μοριακές αλυσίδες και δευτερεύουσες μικρότερες πλευρικές αλυσίδες που αναπτύσσονται ως κλάδοι των κυρίων αλυσίδων.<sup>[9]</sup>



Εικόνα 2.1 Χημικοί τύποι και μοριακές αλυσίδες γραμμικών και διακλαδωμένων πολυμερών.

## 2.1 Σύνθεση και Δομή Πολυμερών

Η δομή πολυμερούς καθορίζεται από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά του:

- Σύσταση (Constitution).
- Στερεοταξική διεύθυνση / Απεικόνιση (Configuration).
- Σχηματισμός / Διαμόρφωση (Conformation).
- Προσανατολισμός (Orientation).
- Κρυσταλλικότητα (Crystallinity).

Η σύσταση και η στερεοταξική διεύθυνση αποτελούν τη χημική δομή, ενώ ο προσανατολισμός και η κρυσταλλικότητα καθορίζουν τη φυσική δομή του πολυμερούς. Ο σχηματισμός ευρίσκεται ανάμεσα στις δύο δομές, είναι συνέπεια της σύστασης και στερεοταξικής διεύθυνσης και καθορίζει τον προσανατολισμό και την κρυσταλλικότητα της μακρομοριακής ένωσης.

Η χημική δομή περιλαμβάνει τη δόμηση κάθε μακρομορίου χωριστά και επηρεάζει τη χημική του δραστηριότητα, ενώ η φυσική δομή περιλαμβάνει τη δόμηση συγκροτημάτων μορίων και επηρεάζει τις ιδιότητες του κατασκευαστικού υλικού. Από κοινού τα δύο είδη μαζί με την κινητικότητα των μελών της αλυσίδας και των μακρομορίων προσδιορίζουν τις ιδιότητες και τα πεδία εφαρμογών των πολυμερικών υλικών.

A. Σύσταση: Οι παράμετροι της σύστασης πολυμερούς είναι:

- Η σύσταση της ίδιας της πολυμερικής αλυσίδας (τύπος και αλληλουχία των ατόμων της αλυσίδας, δομική μονάδα, επαναλαμβανόμενη δομική μονάδα, βαθμός πολυμερισμού).
- Η σύσταση των υποκατάστατων της πολυμερικής αλυσίδας (είδος πλευρικών και ακραίων ομάδων).
- Ο τρόπος σύνδεσης των αλυσίδων μεταξύ τους (τύπος και βαθμός διακλαδώσεων και διασταρώσεων, σχηματισμός πλέγματος).

B. Στερεοταξική διευθέτηση:

Περιγράφει τη διάταξη των ατόμων της αλυσίδας στο χώρο, τη διευθέτηση των υποκατάστατων γύρω από ένα ορισμένο άτομο και την αλληλουχία / διαδοχή των μικροστερεοταξικών διευθετήσεων μέσα στην αλυσίδα. Καθορίζει δύο είδη στερεοϊσομέρειας: στερεοτακτική κανονικότητα και οπτική ισομέρεια.

Γ. Σχηματισμός / Διαμόρφωση:

Περιγράφει την προτιμώμενη θέση που παίρνουν τα άτομα κατά την περιστροφή τους γύρω από ένα απλό δεσμό (C – C, C – O, C – N) στο χώρο, δεδομένου ότι ο απλός δεσμός λειτουργεί ως άρθρωση επιτρέποντας έναν βαθμό τέτοιας περιστροφής, ενώ οι πολλαπλοί δεσμοί δεν επιτρέπουν καμία περιστροφή ατόμων γύρω από αυτούς.

Κάθε στροφή γύρω από μία άρθρωση δίνει στο μακρομόριο νέα στερεοχημική δομή (σχηματισμός) και στην πολυμερική αλυσίδα υπάρχει πολύ μεγάλος αριθμός τέτοιων σχηματισμών, η σειρά των οποίων καθορίζει τη μορφή της αλυσίδας (εκτεταμένη, αναδιπλωμένη, ελικοειδής, τυχαία αλυσίδα).

Δ. Προσανατολισμός:

Περιγράφει την προτιμώμενη διεύθυνση που ακολουθούν τα μόρια ή συγκροτήματα μορίων σε στερεά κατάσταση σε ειδικές συνθήκες διαμόρφωσης του πολυμερούς. Αναφέρεται κυρίως στην περίπτωση πολυμερικών ινών, φύλλων και φιλμ, τα οποία υπό την επίδραση μηχανικής καταπόνησης (κατ' εξοχήν σε τανυσμό) παρουσιάζουν τμήματα (αλυσίδες και περιοχές) που προσανατολίζονται κατά μήκος της διεύθυνσης φόρτισης. Ο προσανατολισμός δεν οδηγεί απαραίτητα σε κρυστάλλωση, αντίθετα προκαλεί έντονη ανισοτροπία.

Χαρακτηρίζεται από τον βαθμό προσανατολισμού, ο οποίος προσδιορίζεται μέσω δύσκολων, δαπανηρών και χρονοβόρων δοκιμών (σκέδαση ακτίνων – X, σκέδαση φωτός, οπτική διπλοθλαστικότητα, υπέρυθρος διχροϊσμός, πολωμένος φθορισμός, ταχύτητα υπερήχων). Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο προσανατολισμού ο λόγος τανυσμού, που ισούται με το λόγο του μήκους δοκιμίου μετά τον τανυσμό προς το μήκος του πριν τον τανυσμό.



**Ε. Κρυσταλλικότητα:**

Τα στερεά πολυμερή μπορεί να έχουν υψηλό βαθμό τάξης στη διεύθυνση των μορίων ή η τάξη αυτή να ελλείπει. Στην πρώτη περίπτωση το πολυμερές είναι κρυσταλλικό (crystalline), ενώ στη δεύτερη περίπτωση χαρακτηρίζεται ως άμορφο (amorphous).

Τα πολυμερικά υλικά έχουν την τάση να εκτείνονται τελείως σε ευθεία γραμμή. Αυτό, όμως, στην πράξη δεν είναι ο κανόνας, αντίθετα, ελάχιστα πολυμερή το επιτυγχάνουν, π.χ. το λίαν υψηλού μοριακού βάρους πολυαιθυλένιο (UHMWPE) και ορισμένα αραμίδια (Kevlar, Nomex, κλπ.).<sup>[3]</sup>

## 2.2 Ιδιότητες, ταξινόμηση και χαρακτηρισισμός πολυμερών

Η μηχανική συμπεριφορά των πολυμερών στηρίζεται κυρίως σε δύο χαρακτηριστικά, στην ακαμψία τους, δηλαδή την αντίστασή τους, στην ελαστική παραμόρφωση και στην αντοχή τους, δηλαδή την αντίστασή τους στη θραύση. Κάποιες από τις πιο σημαντικές μηχανικές ιδιότητες που απαιτούνται για τη μελέτη των πολυμερών είναι:

- Το μέτρο ελαστικότητας  $E$  (Young's modulus)
- Το όριο διαρροής  $\sigma_y$  (yield strength)
- Η αντοχή σε εφελκυσμό (tensile strength)
- Η επιμήκυνση κατά τη θραύση (elongation at break)

Η συμπεριφορά των πολυμερών στις θερμοκρασιακές αλλαγές περιγράφεται γενικά από δύο τιμές. Τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (glass transition temperature  $T_g$ ) και τη θερμοκρασία τήξης (melting temperature  $T_m$ ).

Το μέτρο ελαστικότητας εκφράζει την ακαμψία του πολυμερούς, το όριο διαρροής εκφράζει την αντοχή του πολυμερούς μέχρι τη στιγμή που τελειώνει η ελαστική και ξεκινάει η πλαστική παραμόρφωση και η αντοχή στον εφελκυσμό εκφράζει την αντοχή του πολυμερούς μέχρι τη θραύση.

Η επιμήκυνση κατά τη θραύση εκφράζει το ποσοστό επιμήκυνσης του πολυμερούς μέχρι τη στιγμή της θραύσης. Η δοκιμή του εφελκυσμού χρησιμοποιείται για την εύρεση μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών. Τις μηχανικές ιδιότητες επηρεάζουν διάφοροι παράγοντες όπως για παράδειγμα η φύση του φορτίου που ασκείται, η διάρκεια του φορτίου, καθώς και οι περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως η θερμοκρασία.

Η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί στην ελάττωση του μέτρου ελαστικότητας, στη μείωση της αντοχής εφελκυσμού και στην αύξηση της ολκιμότητας. Το μοριακό βάρος επηρεάζει την αντοχή στον εφελκυσμό. Με την αύξηση του μοριακού βάρους αυξάνεται και η αντοχή στον εφελκυσμό. Επίσης, αύξηση της κρυσταλλικότητας ενός πολυμερούς γενικά αυξάνει την αντοχή του και το υλικό τείνει να γίνει πιο ψαθυρό.

Η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης  $T_g$  αποτελεί την κρίσιμη θερμοκρασία πάνω από την οποία το πολυμερές συμπεριφέρεται όλκιμα, ενώ κάτω από αυτή συμπεριφέρεται ως ψαθυρό και εύθραυστο υλικό. Η υαλώδης μετάπτωση εμφανίζεται στα άμορφα και ημικρυσταλλικά πολυμερή.



Ως θερμοκρασία τήξης ονομάζουμε τη θερμοκρασία κατά την οποία ένα στερεό πολυμερές με τακτική δομή μοριακών αλυσίδων μετατρέπεται σε παχύρρευστο υγρό με τυχαία δομή. Η κρυσταλλικότητα επηρεάζει και τη θερμοκρασία τήξης. Όσο μεγαλύτερο βαθμό κρυστάλλωσης έχει ένα πολυμερές, τόσο περισσότερη ενέργεια απαιτείται για το διαχωρισμό των μορίων, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η  $T_m$ . Συνεπώς, τα άμορφα πολυμερή έχουν χαμηλότερες  $T_m$ .

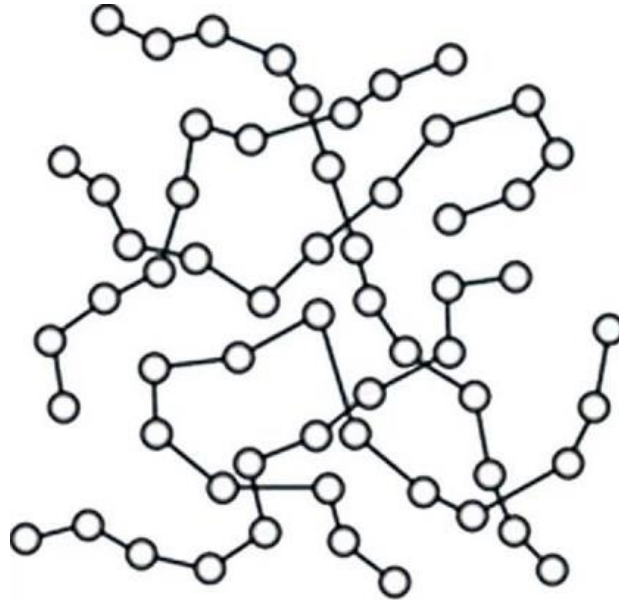
Ο χαρακτηρισμός πολυμερούς καλύπτει πολλές τεχνικές για τον προσδιορισμό της χημικής σύνθεσης, της κατανομής μοριακού βάρους και των φυσικών ιδιοτήτων. Επιλογή κοινών τεχνικών περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Η χρωματογραφία αποκλεισμού μεγέθους (SEC) (ονομάζεται επίσης χρωματογραφία διαπέρασης γέλης), μερικές φορές σε συνδυασμό με τη στατική σκέδαση φωτός, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του μέσου αριθμού μοριακού βάρους και της διασποράς.
- Τεχνικές σκέδασης, όπως σκέδαση στατικού φωτός και σκέδαση νετρονίων μικρής γωνίας, χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των διαστάσεων (ακτίνα περιστροφής) των μακρομορίων σε διάλυμα ή στο τήγμα. Αυτές οι τεχνικές χρησιμοποιούνται επίσης για τον χαρακτηρισμό της τρισδιάστατης δομής των διαχωρισμένων με μικροφάση πολυμερών (συμπολυμερή), πολυμερών μικκυλίων και άλλων υλικών.
- Η σκέδαση ακτίνων Χ ευρείας γωνίας (WAXS) (που ονομάζεται επίσης περίθλαση ακτίνων Χ ευρείας γωνίας) χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της κρυσταλλικής δομής των πολυμερών (ή έλλειψη αυτών).
- Φασματοσκοπία με τεχνικές, συμπεριλαμβανομένων μετασχηματισμού Fourier υπέρυθρη φασματοσκοπία (FTIR), φασματοσκοπία Raman, και φασματοσκοπία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της χημικής σύνθεσης.
- Η θερμιδομετρία διαφορικής σάρωσης (DSC), χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό των θερμικών ιδιοτήτων των πολυμερών, όπως η θερμοκρασία μετάβασης γυαλιού, η θερμοκρασία κρυστάλλωσης και η θερμοκρασία τήξης. Η θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης μπορεί επίσης να προσδιοριστεί με δυναμική μηχανική ανάλυση.
- Η θερμοβαρυμετρία (TGA), είναι μια χρήσιμη τεχνική για την αξιολόγηση της θερμικής σταθερότητας του πολυμερούς.
- Η ρεολογία χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό της συμπεριφοράς ροής και παραμόρφωσης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του ιξώδους, του συντελεστή και άλλων ρεολογικών ιδιοτήτων. Η ρεολογία χρησιμοποιείται επίσης συχνά για τον προσδιορισμό της μοριακής αρχιτεκτονικής (μοριακό βάρος, κατανομή μοριακού βάρους, διακλάδωση) και για την κατανόηση του τρόπου επεξεργασίας του πολυμερούς.<sup>[16]</sup>

### 2.2.1 Θερμοπλαστικά πολυμερή

- Μεγάλου μήκους γραμμικές ή διακλαδωμένες αλυσίδες, οι οποίες εμπλέκονται μεταξύ τους, χωρίς τη δημιουργία ισχυρών δεσμών.
- Μεταξύ ατόμων διαφορετικών αλυσίδων αναπτύσσονται ασθενείς δεσμοί.

- Με εφαρμογή εφελκυστικής φόρτισης οι αλυσίδες απεμπλέκονται και το πολυμερές εμφανίζει εκτεταμένη περιοχή πλαστικής παραμόρφωσης.
- Ενδέχεται να είναι άμορφα ή κρυσταλλικά, συνήθως μικτής μικροδομής.
- Με τη θέρμανση μειώνονται οι μηχανικές ιδιότητές τους, έως την τήξη.
- Ανακυκλώνονται σχετικά εύκολα.<sup>[3]</sup>



Εικόνα 2.2

Μοριακή αλυσίδα θερμοπλαστικού πολυμερές αδύναμων διαμοριακών δυνάμεων.



Εικόνα 2.3

Θερμοπλαστικό πολυμερές που ονομάζεται Πολυτορρη και αποτελείται από μικρές μπίλιες το οποίο λιώνει στους 62°C.

Συμβολισμοί	Τεχνικός χαρακτηρισμός	Είδος επεξεργασίας	Χαρακτηριστικά	Χρήση
PE	Πολυαιθυλένιο		PE μαλακό $d \geq 0.92$ PE σκληρό $d \leq 0.96$ Μερικώς κρυσταλλικό. Ανάλογα προς το φαινόμενο βάρος πτυσσόμενο ή σκληρό. Ανθεκτικό σε διάβρωση και ψύχος	Προστατευτικά έναντι καιρικών συνθηκών φυλλίδια, σωληνώσεις παροχών, αποχετεύσεις, σωληνώσεις μεγάλης διατομής, ηλεκτρικές μονώσεις (HF καλώδιο αντένων)
E/VAC	Συμπολυμερισμένο αιθυλένιο	Με οξεικό βινύλιο κ.α.	Πτυσσόμενο, μαλακό	Στεγανοποιητικά προφίλ, στεγανοποιητικές λωρίδες οικοδομών.
PP	Πολυπροπυλένιο όμοιο με πολυβουτένιο -I (PB)		Σκληρότερο και ανθεκτικότερο σε θερμοκρασίες, λιγότερο ανθεκτικό σε ψύχος αλλιώς όμοιο με PE.	Για ανθεκτικά σε θέρμανση εξαρτήματα, σωλήνες αποχετεύσεως νερών οικιών, θερμάνσεις πατωμάτων δωματίων.
PIB	Πολυισοβουτυλένιο		Ανάλογα με το είδος ελαστικό σε κόμμα (κολλώδη ουσία) μέχρι πλαστικό.	Λωρίδες στεγανοποίησης οικοδομικών, επικαλύψεις σκεπών, ταινίες στεγανώσεως.
TPX	Πολυμεθυλένιο πεντένιο		Διαυγές σαν γυαλί, ανθεκτικό σε έλξη.	Για εσωτερικά υαλοστάσια.
PS SB SAN ABS ASA	Πολυστυρένιο  Συμπολυμερή πλαστικά	Με βουταδένιο (B) ακρυλικό νιτρίλιο (AN ή A) με AN+ ακρυλ. Εστέρα	Σκληρό διαυγές σαν γυαλί λίγο ψαθυρό. Ανθεκτικότερο σε έλξη παρά το PS. Καλά μορφοποιούμενο εν θερμώ. Αντέχει καλά σε καιρικές μεταβολές.	Αφρώδη πλαστικά για μόνωση θερμότητας (Hostapor, Stygoror, Styrofoam). Περικαλύμματα προστατευτικά κράνη, τμήματα εξαρτημάτων, HT-σωλήνες αποχετεύσεως.
PVC PVDC	Χλωριούχο πολυβινύλιο Διχλωριούχο πολυβινύλιο	Υψηλότερη περιεκτικότητα χλωρίου	Σκληρό, αντοχής σε διάβρωση, καλή μορφοποίηση εν θερμώ και συγκολλητό.  Όμοιο με PVC	Είναι το σπουδαιότερο υλικό σωλήνων παροχών, επίσης για εφαρμογές εκτός άλλων σχημάτων κατασκευή βρυσών, προφίλ περσίδων. Αποχετεύσεις χημείου και σωλήνες οχετών.
PVC	Polyblends Αυξάνει την αντοχή σε κρούση	Με προσθήκες που το κάνουν ελαστικότερο	Ανθεκτικότερο σε έλξη και κρούση παρά PVC. Επίσης και στην περιοχή χαμηλών θερμοκρασιών.	Παράθυρα, επικαλύψεις προσόψεων, φωτεινές πλάκες, κυματοειδή φύλλα, υδρορροές, φυλλίδια επικαλύψεων επίπλων.
PVC μαλακό	Χλωριούχο πολυβινύλιο μαλακό	PVC + πλαστικοποιητικές ουσίες	Αναλόγως προς την ποιότητα των πλαστικοποιητικών ουσιών σε είδος δέρματος ή μαλακού κόμμο.	Κάλυψη ηλεκτρικών αγωγών, επίπλων, δομικών προφίλ, κλπ.

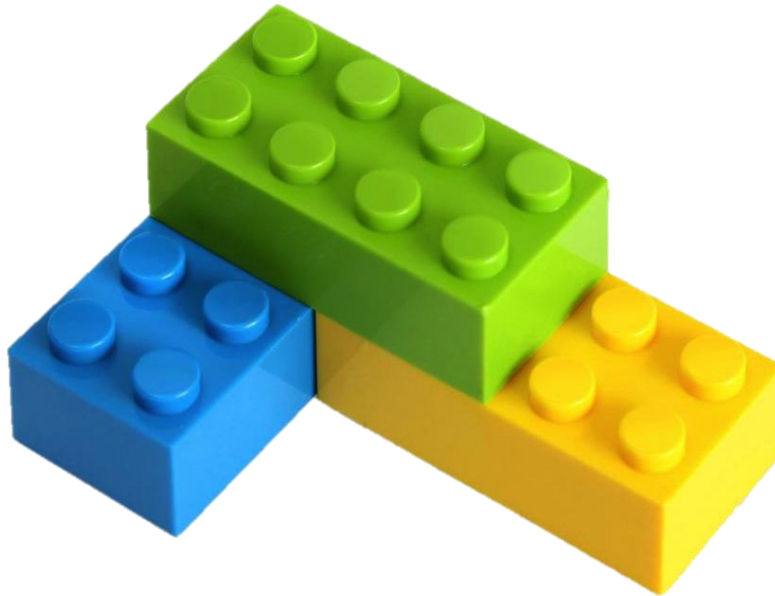
<b>PVF</b>	Φθοριούχο πολυβινύλιο		Αντοχή σε διάβρωση και καιρικές μεταβολές.	Λεπτά φύλλα για επενδύσεις εξωτερικών τοίχων και σκεπών.
<b>PTFE</b>	Πολυτετραφθοριούχο αιθυλένιο		Εξαιρετικής αντοχής σε διάβρωση και σε θερμοκρασίες.	Φυλλίδια ολισθήσεως εδράνων για προκατασκευασμένα τμήματα, μπετόν π.χ. στο σύστημα ρυθμικής ωθήσεως στη κατασκευή γεφυρών.
<b>PVAC</b>	Οξεικό πολυβινύλιο		Διαυγές σαν γυαλί, σχηματίζει εύπλαστες μεμβράνες (φιλμ).	PVAC κ.α. συμπολυμερισμένα πλαστικά, βασική ύλη για κόλλες και μέσα επιχρώσεως ως επί το πλείστον σαν υδάτινες διασπορές.
<b>PMMA</b>	Πολύ-μεθυλμετακρυλικό (ακρυλικό γυαλί)		Σκληρό, λαμπερό, διαφανές σαν γυαλί. Το χυτό μετασχηματίζεται μόνο εν θερμώ.	Διαφανείς τοίχοι, φωταγωγοί, επικαλύψεις προσόψεων, φωτεινών σωμάτων, πρώτη ύλη προστασίας επιφανειών, υαλοπίνακες.
<b>POM</b>	Πολυοξυμεθυλένιο και συγγενή πολυοξεικά		Τελείως κρυσταλλικό, αντοχής σε εφελκυσμό, κερατοειδές μέχρι σκληρό, σταθερό σε θέρμανση.	Αυτά και άλλα πλαστικά είναι «δομικά πλαστικά» για εξοπλισμούς οικοδομών, εξαρτήματα μηχανών, π.χ. Πολυφαινολοξείδιο Noryl, PPO
<b>PA</b>	Πολυαμίδια			
<b>PETP PBTP</b>	Πολυτερεφθαλικά E= αιθυλένιο B= βουτυλένιο		Ανθεκτικά στη φωτιά, λεπτά φυλλίδια.	Φυλλίδια για λωρίδες στεγανοποίησης οικοδομών – Τεχνικά εξαρτήματα.
<b>PC</b>	Πολυανθρακικά		Διαυγές ως γυαλί, ανθεκτικό σε φωτιά και κάμψη.	Λάμπες των δρόμων Άθραυστα υαλοστάσια.
<b>CA CAB CAP</b>	Εστέρες της κυτταρίνης: Οξεικής κυτταρίνης Οξεικοβουτυρικής κυττ. Οξεικοπροπιονικής κυττ.	Εστεροποίηση φυσικής κυτταρίνης από ξύλο ή βαμβάκι	Διαυγές ως γυαλί, αντοχής σε εφελκυσμό διαφόρων ειδών σκληρότητας.	Διαφόρων σχημάτων εξαρτήματα για επιστρώσεις κτιρίων ή επίπλων CAB, επίσης για σωλήνες, διαφανείς τοίχους και φωταγωγούς.
<b>MC CMC</b>	Αιθέρες της κυτταρίνης: Μεθυλική κυτταρίνη Καρβοξυλική-μεθυλική κυτταρίνη	Σχηματισμός αιθέρων κυτταρίνης	Υδατοδιαλυτά συνδετικά μέσα.	Κόλλες ταπετσαρίας, κόλλα ζωγράφων, εσωτερικά κονιάματα

Πίνακας 2

Χαρακτηριστικά και χρήσεις θερμοπλαστικών πολυμερών.

### 2.2.2 Θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή

- Μεγάλου μήκους γραμμικές ή διακλαδωμένες αλυσίδες, οι οποίες διασταυρώνονται μεταξύ τους, δημιουργώντας ισχυρούς τοπικούς δεσμούς και τρισδιάστατα πλέγματα.
- Εμφανίζουν υψηλή μηχανική αντοχή, αλλά χαμηλότερη δυσθραυστότητα από τα θερμοπλαστικά.
- Με τη θέρμανση δεν τήκονται, αλλά αποσυντίθεται.
- Δεν είναι δυνατή η ανακύκλωσή τους.



Εικόνα 2.4 Κύβοι από θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές που χρησιμοποιείται για τη ψυχαγωγία των μικρών παιδιών.

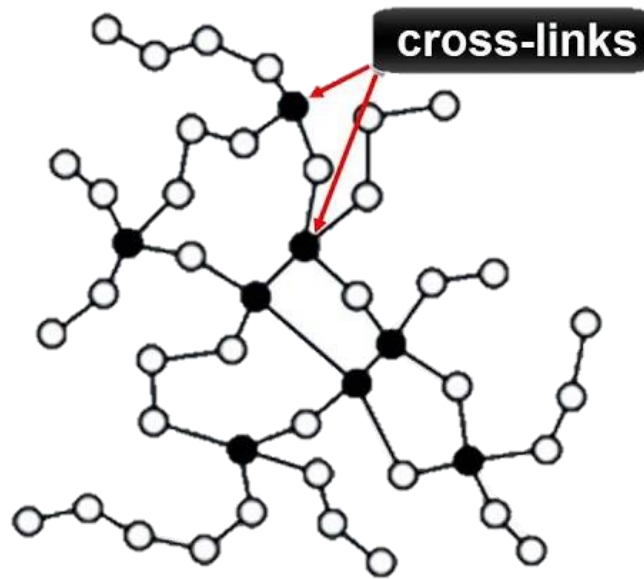
Συμβολισμοί	Τεχνικός Χαρακτηρισμός της ομάδας τεχνητών ρητινών	Χημική δομή και είδος επεξεργασίας	Χαρακτηριστικά	Χρήση
PF	Τεχνητές ρητίνες φαινόλης, φορμαλδεΐδης (φαινοπλάστες)	Novolak, Resol: δυνατόν να καούν, εν μέρει διαλυτά ενδιάμεσα προϊόντα από φαινόλες και φορμαλδεΐδη. Σκλήρυνση με θέρμανση και πίεση, ειδικές ρητίνες εν ψυχρώ με οξέα.  Resit: σκληρυνόμενο πλαστικό φαινόλης.	Στερεές ρητίνες, διαλύτες σε οινόπνευμα εν μέρει σε νερό, δυνατόν να αρραιωθούν.  Ρητίνες φαινόλης - ρεσορσίνης	Κόλλες εν θερμώ, για ανθεκτική σε επιδράσεις συγκολλητή και κόντρα – πλακέ ξυλεία. Συνδεδειγμένο μέσο για σκληρές ινόπλακες και αφρώδη πλαστικά. Βασικά υλικά: νερό και κόλλες ανθεκτικές σε καιρικές μεταβολές.  Εκτός των άλλων πίνακες διακοπών και ασφαλειών (ηλεκτρικοί) μηχανών, π.χ. οδοντωτοί τροχοί, έδρανα. Πάγκοι σταδίων, κάλυψη καθισμάτων, επενδύσεις προσώψεων.
			Τεχνικά ημιπροϊόντα Σκληρό χαρτί Σκληρό ύφασμα Πρεσαριστών στρωμάτων ξύλου	
UF MF	Ρητίνες ουρίας φορμαλδεΐδης  Μελαμίνης φορμαλδεΐδης (γενικό όνομα: αμινοπλάστες)	Υδατοδιαλυτά προκαταρκτικά προϊόντα από ουρία ή μελαμίνη και φορμαλδεΐδη. Σκλήρυνση υπό πίεση και θέρμανση με χρησιμοποίηση ελαφρώς όξινων καταλυτών.	Στερεό σαν θρύψαλα ή σκόνη συχνά σε υδάτινα διαλύματα. Ενισχυτικό υλικό γομώσεως υταρίνης λιγότερο ανθεκτικό στο νερό τυπ. 31, καλύτερα ανθεκτικό σε υγρασία, για πιατικά με διάφορα προσθετικά υλικά. Σκληρός χάρτης με PF πυρήνα, MF με έγχρωμες διακοσμητικές πλάκες.	Ψυχρές ή θερμές κόλλες, ανθεκτικές σε υγρασία μέχρι νερό. UF – συνδεδειγμένο μέσο για μοριοσανίδες, αφρώδη της στιγμής για θερμομονώσεις. Χρωματικές κατασκευές για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, επιπλοποιία, επενδύσεις.  Πλάκες για τοίχους και έπιπλα.



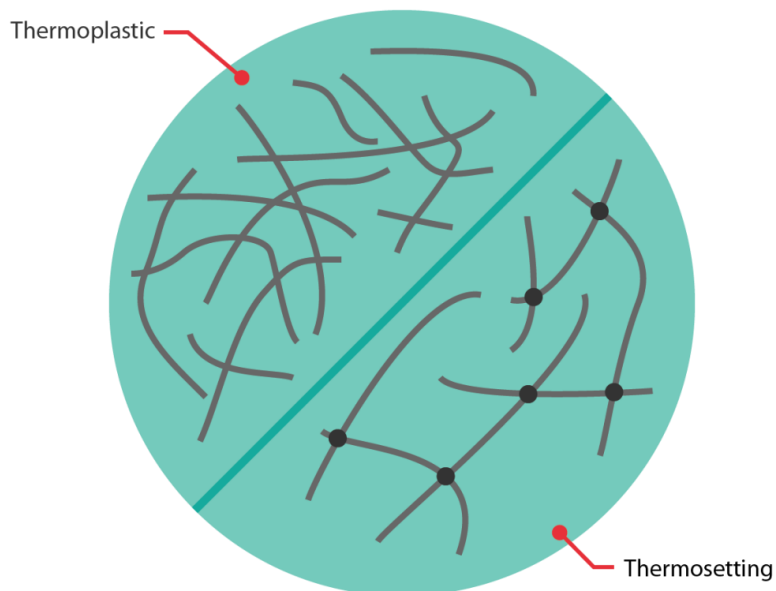
<b>UP</b> <b>EP</b>	Ακόρεστοι πολυεστέρες Εποξεικές ρητίνες κ.α. χωρίς πίεση «σκληρυνόμενες ρητίνες»	UP (πολυεστέρες διαλυμένοι σε στυρόλιο + καταλύτες). EP (+Αμινοσκληρυντές) είναι τεχνητές ρητίνες, οι οποίες μετά από ανάμειξη με ορισμένες ουσίες χωρίς πίεση εν θερμώ ή εν ψυχρώ σκληρύνονται.	Τα υγρά ή τηγμένα μείγματα πρέπει να επεξεργαστούν σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα με ενισχυτικά ή προσθήκες. Όταν σκληρυνθούν οι EP τότε είναι ανθεκτικότερες σε διαβρώσεις και θερμοκρασίες παρά σαν UP.	Είναι συνδυαστικά μέσα για τα σκυροδέματα με τεχνητές ρητίνες, για πλαστικά δάπεδα, για παρκέ διαρκείας, κόλλες για κατασκευαστικώς επιβαρυμένα μέταλλα, πετρώματα και μπετόν και σε συνδυασμό με υαλοϋφανση για επενδύσεις υπογείων κατασκευών με τη μέθοδο του ψεκασμού.
<b>GFK</b> <b>GF-UP</b> <b>GF-EP</b>	Ενισχυμένες με υαλούφανση πλαστικές Τεχνητές ρητίνες (30 – 80% γυαλί)	Τεχνητές ρητίνες ως ανωτέρω ενισχυμένες με υαλοϋφανση – υαλοπλήματα, υαλοπλέγματα υαλοβάμβακα	Κατά μήκος και διαγωνίως κυματοειδείς, διαφανείς πλάκες με ίνες αλλά επίσης εξαρτήματα διαφόρου μορφής, σωλήνες, προφίλ	Διαφανείς τοίχοι και σκεπές, φωταγωγοί, κατασκευαστικά προφίλ, φαρδιές σωλήνες σιλό ζωοτροφών, δεξαμενές ελαίων θερμάνσεως.
<b>PUR</b>	Πολυουρεθάνη	Προπαρασκευαστικά προϊόντα Desmorphene (πολυαλκοόλες) Desmodure (πολυισοκυανιούχα) αντιδρούν μεταξύ τους προς σκληρά ή ελαστικά προϊόντα	Εξαιρετική ποικιλία κατασκευής πλαστικών με εκάστοτε ειδική τεχνική επεξεργασία	Συνδυαστικά μέσα για επιστρώσεις πατωμάτων, ελαστικά αθλητικά όργανα, ειδικές κόλλες, σκληρά και μαλακά αφρώδη υλικά και υλικά σαν ελαστικό κόμμι.
<b>SI</b>	SI σιλικόνες		Εξαιρετικής αντοχής σε θερμοκρασίες, υγρασία, στερεά ειδικά προϊόντα αδιάβροχα κ.λπ.	Ρητίνες σιλικόνης, λακ καμινάδων, καουτσούκ σιλικόνης, ηλεκτρικής μονώσεως, στεγανώσεις αρμών. Άλατα σιλικόνης, προστατευτικά τοίχων από την υγρασία.

Πίνακας 3 Χαρακτηριστικά και χρήσεις θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών.

Σε συνδυασμό με τον παραπάνω πίνακα, ελαστομερή είναι μερικά PUR και SI προϊόντα καθώς και βουλκανισμένα συνθετικά καουτσούκ, όπως το πολυχλωροπρένιο (CR), νιτρίλια του καουτσούκ (NBR), πολυσουλφίδια του καουτσούκ. Επίσης δεν παρουσιάζονται ονόματα πρώτων υλών για φαινοπλάστες και αμινοπλάστες επειδή αυτά κυκλοφορούν υπό τεχνικές ονομασίες (τυπικές). Ιστορικά γνωστές ονομασίες είναι οι βακελίτες, όπως αναφέρονται και στο κεφάλαιο της ιστορικής αναδρομής παραπάνω, ειδικώς για PF προϊόντα, το PolIporas για UF πεσσαριστές μάζες.<sup>[3]</sup>



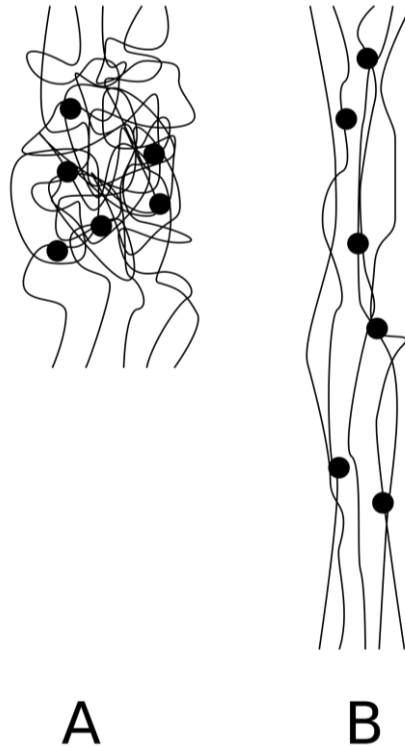
Εικόνα 2.5 Μοριακή αλυσίδα θερμοσκληρυνόμενου πολυμερές με ισχυρούς ομοιοπολικούς δεσμούς μεταξύ της αλυσίδας, με σταυρωτούς σύνδεσμους.



Εικόνα 2.6 Διαφορά μοριακής αλυσίδας μεταξύ θερμοπλαστικού και θερμοσκληρυνόμενου πολυμερές.

### 2.2.3 Ελαστομερή πολυμερή

- Μεγάλου μήκους γραμμικές με διακλαδωμένες αλυσίδες.
- Με εκφυλιστική φόρτιση, υφίστανται πολύ μεγάλες αντιστρεπτές παραμορφώσεις (υπερελαστικότητα).<sup>[3]</sup>



Εικόνα 2.7 Μοριακή αλυσίδα ελαστομερούς πολυμερούς: (Α) είναι ένα πολυμερές χωρίς πίεση, (Β) είναι το ίδιο πολυμερές υπό πίεση που όταν αφαιρεθεί η πίεση, επιστρέφει στη διαμόρφωση Α.



Εικόνα 2.8 Εξαρτήματα σύνδεσης υδραυλικών συστημάτων κατασκευασμένα από ελαστομερή πολυμερές.

#### 2.2.4 Σύνθετα και Αφρώδη πολυμερή

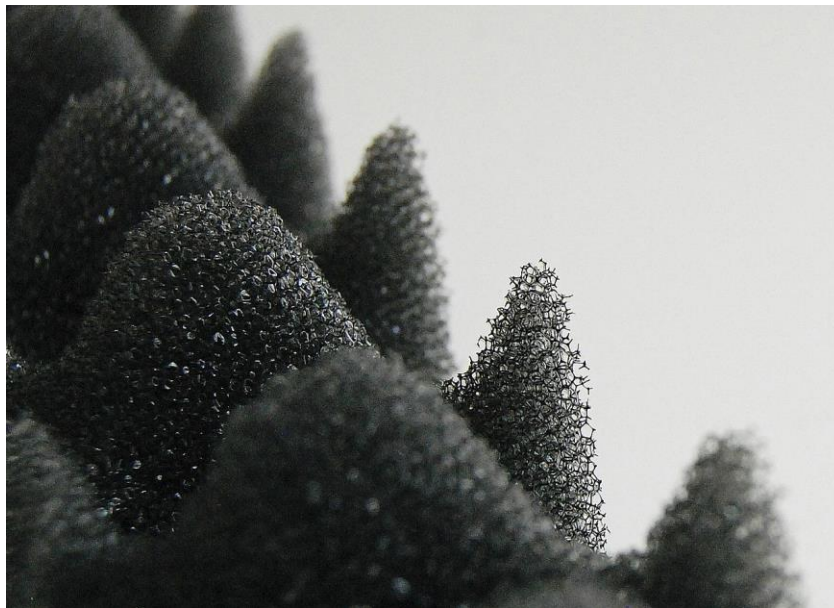
Στην κατηγορία των υλικών αυτής της γενιάς συγκαταλέγονται και τα σύνθετα υλικά που ήδη παρουσιάζουν ευρύτατη εφαρμογή σε πολλούς κατασκευαστικούς τομείς. Αν και η ιδέα της κατασκευής και της χρήσης συνθέτων υλικών ανάγεται στην αρχαιότητα, η ανάπτυξη νέων τεχνικών, η χρήση νέων πρώτων υλών και η ποικιλία των συνδυασμών των υλικών αυτών οδήγησε στην ανάπτυξη βελτιωμένων υλικών, ενώ η έρευνα προς την κατεύθυνση αυτή συνεχίζεται με αυξανόμενο ρυθμό.

Η βασική ιδέα στην ανάπτυξη ενός σύνθετου υλικού είναι η φυσική ανάμιξη σε μακροσκοπική κλίμακα δύο ή περισσότερων υλικών και η δημιουργία ενός νέου υλικού με τελικές ιδιότητες διαφορετικές από τις αντίστοιχες των υλικών που το αποτελούν. Με την κατάλληλη επιλογή των αρχικών υλικών καθώς και της τεχνικής ανάμιξής τους μπορεί να κατασκευαστεί ένα σύνθετο υλικό με τις εκάστοτε επιθυμητές τελικές ιδιότητες.

Πολλά πλαστικά μπορούν να πάρουν τη μορφή αφρού αφού τους προσθέσουμε ειδικά διογκωτικά πρόσθετα κατά τη φάση της μορφοποίησής τους. Τα αφρώδη πολυμερή (foams) μπορούν να θεωρηθούν ως σύνθετα υλικά. Συνήθως πρόκειται για κυψελοειδή σκελετό πολυμερούς στον οποίο βρίσκονται εγκλωβισμένες φυσαλίδες αερίου, κυρίως CO<sub>2</sub> ή αέρα.

Τα αφρώδη πολυμερή βρίσκονται στη φύση σε αφθονία και έχουν σπογγώδη μορφή. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αφρωδών φυσικών πολυμερών είναι το ξύλο, ο φελλός, το κοράλλι. Διαφέρουν στο γεγονός ότι η φαινόμενη πυκνότητά τους διαφέρει από την πυκνότητα που θα είχαν αν ήταν συμπαγή. Στα αφρώδη πολυμερή η ελαστική παραμόρφωση οφείλεται στη μικροδομή του πολυμερούς και όχι στο ίδιο το υλικό.

Τα αφρώδη πολυμερή παρουσιάζουν υψηλή ειδική αντοχή (λόγος αντοχής προς βάρος), καλή συμπεριφορά στη θλίψη ενώ κατά την κρούση έχουν την ικανότητα να απορροφούν μεγάλα ποσοστά ενέργειας. Χρησιμοποιούνται συχνά ως μονωτικά.<sup>[3]</sup>



Εικόνα 2.9 Αφρώδες πολυμερές.

Στο κεφάλαιο 2 λοιπόν, αναλύθηκε η επιστήμη των πολυμερών και περιεγράφηκαν ονομαστικά πως ταξινομούνται τα πολυμερή σε κατηγορίες ανάλογα την ανάπτυξη των αλυσίδων τους. Στα παρακάτω κεφάλαια που ακολουθούν αναλύονται οι μέθοδοι πολυμερισμού και οι αντιδράσεις του.

### 3. Πλαστική ύλη

Τα πλαστικά είναι ένα ευρύ φάσμα συνθετικών ή ημι-συνθετικών υλικών που χρησιμοποιούν πολυμέρη ως κύριο συστατικό. Η πλαστικότητα τους (πλαστική παραμόρφωση) καθιστά δυνατή την χύτευση, την εξώθηση ή τη συμπίεση των πλαστικών σε στερεά αντικείμενα διαφόρων σχημάτων. Αυτή η προσαρμοστικότητα, καθώς και ένα ευρύ φάσμα άλλων ιδιοτήτων, όπως το ελαφρύ, ανθεκτικό, εύκαμπτο και φθινό στην παραγωγή, έχει οδηγήσει στην ευρεία χρήση του.



Εικόνα 3.1 Μικροί κόκκοι από πλαστική ύλη.

Τα πλαστικά κατασκευάζονται συνήθως μέσω ανθρώπινων βιομηχανικών συστημάτων. Τα περισσότερα σύγχρονα πλαστικά προέρχονται από πετροχημικά με βάση τα ορυκτά καύσιμα όπως το φυσικό αέριο ή το πετρέλαιο. Ωστόσο, οι πρόσφατες βιομηχανικές μέθοδοι χρησιμοποιούν παραλλαγές κατασκευασμένες από ανανεώσιμα υλικά, όπως παράγωγα καλαμποκιού ή βαμβακιού.

Στις ανεπτυγμένες χώρες, περίπου το ένα τρίτο του πλαστικού χρησιμοποιείται στη συσκευασία και περίπου το ίδιο σε κτίρια, σε εφαρμογές όπως σωληνώσεις, υδραυλικά ή πλαίσια από βινύλιο. Άλλες χρήσεις περιλαμβάνουν αυτοκίνητα (έως 20% πλαστικό), έπιπλα και παιχνίδια. Στον αναπτυσσόμενο κόσμο, οι εφαρμογές του πλαστικού μπορεί να διαφέρουν. Το 42% της κατανάλωσης της Ινδίας χρησιμοποιείται στη συσκευασία.

Στον ιατρικό τομέα, τα εμφυτεύματα πολυμερούς και άλλες ιατρικές συσκευές προέρχονται τουλάχιστον εν μέρει από πλαστικό. Παγκοσμίως, περίπου 50 κιλά πλαστικού παράγονται ετησίως ανά άτομο, με την παραγωγή να διπλασιάζεται κάθε 10 χρόνια.

Η επιτυχία και η κυριαρχία των πλαστικών που ξεκίνησαν στις αρχές του 20ού αιώνα προκάλεσαν εκτεταμένα περιβαλλοντικά προβλήματα, λόγω του αργού ρυθμού αποσύνθεσής τους στα φυσικά οικοσυστήματα. Προς τα τέλη του 20ού αιώνα, η βιομηχανία των πλαστικών προώθησε την ανακύκλωση προκειμένου να ανακουφίσει τις περιβαλλοντικές ανησυχίες ενώ συνεχίζει να παράγει παρθένο πλαστικό.

Τα περισσότερα πλαστικά περιέχουν οργανικά πολυμερή. Η συντριπτική πλειονότητα αυτών των πολυμερών σχηματίζεται από αλυσίδες ατόμων άνθρακα, με ή χωρίς τη σύνδεση ατόμων οξυγόνου, αζώτου ή θείου. Αυτές οι αλυσίδες περιλαμβάνουν πολλές επαναλαμβανόμενες μονάδες που σχηματίζονται από μονομερή.

Κάθε αλυσίδα πολυμερούς αποτελείται από αρκετές χιλιάδες επαναλαμβανόμενες μονάδες. Η αλυσίδα ραχοκοκαλιάς είναι το μέρος της αλυσίδας που βρίσκεται στο κύριο μονοπάτι, συνδέοντας μαζί έναν μεγάλο αριθμό επαναλαμβανόμενων μονάδων. Για να προσαρμοστούν οι ιδιότητες ενός πλαστικού, διαφορετικές μοριακές ομάδες που ονομάζονται πλευρικές αλυσίδες συνδέονται από αυτήν την ραχοκοκαλιά. Συνήθως συνδέονται από τα μονομερή πριν τα ίδια τα μονομερή συνδεθούν μεταξύ τους για να σχηματίσουν την αλυσίδα του πολυμερούς. Η δομή αυτών των πλευρικών αλυσίδων επηρεάζει τις ιδιότητες του πολυμερούς.

Τα πλαστικά ταξινομούνται συνήθως από τη χημική δομή της ραχοκοκαλιάς και των πλευρικών αλυσίδων του πολυμερούς. Σημαντικές ομάδες που ταξινομούνται με αυτόν τον τρόπο περιλαμβάνουν τα ακρυλικά, τους πολυεστέρες, τις σιλικόνες, τις πολυουρεθάνες και τα αλογονωμένα πλαστικά.

Τα πλαστικά, μπορούν επιπλέον να ταξινομηθούν από τις φυσικές τους ιδιότητες, όπως τη σκληρότητα, την πυκνότητα, την αντοχή στον εφελκυσμό, τη θερμική αντίσταση και τη θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης.

Επίσης ταξινομούνται ανάλογα την αντοχή τους και τις αντιδράσεις τους σε διάφορες ουσίες και διεργασίες, όπως έκθεση σε οργανικούς διαλύτες, οξείδωση και ιοντίζουσα ακτινοβολία. Άλλες ταξινομήσεις πλαστικών βασίζονται σε ποιότητες σχετικές με την κατασκευή ή το σχεδιασμό προϊόντων για συγκεκριμένο σκοπό. Παραδείγματα περιλαμβάνουν θερμοπλαστικά, θερμοσυστήματα, αγωγικά πολυμερή, βιοαποικοδομήσιμα πλαστικά, πλαστικά μηχανικής και ελαστομερή.<sup>[15]</sup>

### 3.1 Άμορφα και κρυσταλλικά πλαστικά

Πολλά πλαστικά είναι τελείως άμορφα (χωρίς πολύ υψηλή μοριακή δομή), συμπεριλαμβανομένων θερμοσυστατικών, πολυστυρολίου και μεθακρυλικού μεθυλεστέρα (PMMA). Τα κρυσταλλικά πλαστικά εμφανίζουν ένα σχήμα ατόμων με ταχύτερη απόσταση, όπως πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE), τερεφθαλικό πολυβουτυλένιο (PBT) και πολυαιθέρα κετόνης (PEEK).





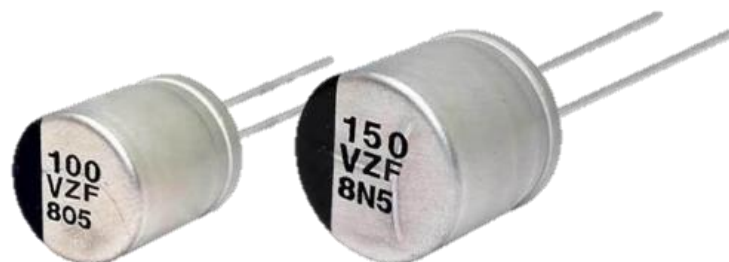
Εικόνα 3.2 Πλαστικό δοχείο από κρυσταλλικό πλαστικό πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας HDPE.

Ωστόσο, ορισμένα πλαστικά είναι μερικώς άμορφα και μερικώς κρυσταλλικά σε μοριακή δομή, δίνοντάς τους τόσο σημείο τήξεως όσο και μία ή περισσότερες υαλώδεις μεταβάσεις (η θερμοκρασία πάνω από την οποία αυξάνεται ουσιαστικά η έκταση της εντοπισμένης μοριακής ευκαμψίας). Αυτά τα λεγόμενα ημι-κρυσταλλικά πλαστικά περιλαμβάνουν πολυαιθυλένιο, πολυπροπυλένιο, πολυβινυλοχλωρίδιο, πολυαμίδια (νάιλον), πολυστέρες και μερικές πολυουρεθάνες.<sup>[15]</sup>

### 3.2 Αγωγή πολυμερή

Αγωγή πολυμερή είναι τα οργανικά πολυμερή (πολυμερές που αποτελείται από πολύ μεγάλα μόρια) που συμπεριφέρονται ως αγωγός ηλεκτρισμού. Τέτοιες ενώσεις μπορεί να έχουν μεταλλική αγωγιμότητα ή μπορεί να είναι ημιαγωγοί. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των αγωγικών πολυμερών είναι η δυνατότητα επεξεργασίας τους, κυρίως με διασπορά, ένα σύστημα στο οποίο τα κατανεμημένα σωματίδια ενός υλικού διασκορπίζονται σε μία συνεχή φάση ενός άλλου υλικού.

Τα αγωγή πολυμερή γενικά δεν είναι θερμοπλαστικά, δηλαδή, δεν διαμορφώνονται με θερμότητα. Όμως, όπως τα μονωτικά πολυμερή, είναι οργανικά υλικά. Μπορούν να προσφέρουν υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, αλλά δεν παρουσιάζουν παρόμοιες μηχανικές ιδιότητες με άλλα πολυμερή που διατίθενται στο εμπόριο. Οι ηλεκτρικές ιδιότητες μπορούν να βελτιωθούν χρησιμοποιώντας τις μεθόδους της οργανικής σύνθεσης και με προηγμένες τεχνικές διασποράς.



Εικόνα 3.3 Ηλεκτρονικά εξαρτήματα που ονομάζονται πυκνωτές αγωγικών πολυμερών, μακράς διάρκειας, φιλικά προς το περιβάλλον, με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

Τα αγώγιμα πολυμερή συντίθενται σε αντιστατικά υλικά και έχουν ενσωματωθεί σε εμπορικές οθόνες και μπαταρίες. Η βιβλιογραφία προτείνει ότι είναι επίσης πολλά υποσχόμενα σε οργανικά ηλιακά κύτταρα, τυπωμένα ηλεκτρονικά κυκλώματα, οργανικές διόδους εκπομπής φωτός, ενεργοποιητές, ηλεκτροχρωμίες, υπεραισθητήρες, χημικούς αισθητήρες, συστοιχίες χημικών αισθητήρων και βιοαισθητήρες, εύκαμπτες διαφανείς οθόνες, ηλεκτρομαγνητική θωράκιση και πιθανώς αντικατάσταση για το δημοφιλές διαφανές αγωγό οξειδίου κασσιτέρου ινδίου (ITO).

Μια άλλη χρήση είναι για απορροφητικές επικαλύψεις μικροκυμάτων, ιδιαίτερα επιχρίσματα απορροφητικών ραντάρ σε αεροσκάφη Stealth (που έχουν κατασκευαστεί για να αποφεύγουν την ανίχνευση). Τα αγώγιμα πολυμερή κερδίζουν μεγάλη έλξη σε νέες εφαρμογές με όλο και πιο πολλά επεξεργάσιμα υλικά με καλύτερες ηλεκτρικές και φυσικές ιδιότητες και χαμηλότερο κόστος.

Οι νέες νανοδομημένες μορφές αγώγιμων πολυμερών ιδιαίτερα, αυξάνουν αυτό το πεδίο με την υψηλότερη επιφάνειά τους και την καλύτερη ικανότητα διασποράς. Οι ερευνητικές εκθέσεις έδειξαν ότι στα νανοδομημένα αγώγιμα πολυμερή με τη μορφή νανοϊνών και νανοσπόγγων, βελτιώθηκαν σημαντικά οι τιμές χωρητικότητας σε σύγκριση με τα αντίστοιχα μη νανοδομημένα.

Με τη διαθεσιμότητα σταθερών και αναπαραγώγιμων διασπορών, το PEDOT και η πολυανιλίνη έχουν αποκτήσει ορισμένες εφαρμογές μεγάλης κλίμακας. Ενώ το PEDOT (πολυαιθυλενοδιοξυθειοφαίνιο) χρησιμοποιείται κυρίως σε αντιστατικές εφαρμογές και ως ένα διαφανές αγώγιμο στρώμα με τη μορφή PEDOT: PSS – πολυστερίνη σουλφονικό οξύ, η πολυανιλίνη χρησιμοποιείται ευρέως για την κατασκευή τυπωμένων κυκλωμάτων ως το τελικό φινιρίσμα, για την προστασία του χαλκού από τη διάβρωση και την αποτροπή της κολλητότητάς του.

Επιπλέον, η πολυϊνδόλη αρχίζει επίσης να προσελκύει την προσοχή για διάφορες εφαρμογές λόγω της υψηλής δραστηριότητάς του, της θερμικής σταθερότητας και των αργών ιδιοτήτων αποικοδόμησης από τους ανταγωνιστές, την πολυανιλίνη και την προπυρόλη.

Μειονέκτημα παρουσιάζεται δεδομένου ότι τα περισσότερα αγώγιμα πολυμερή απαιτούν οξείδωση, οι ιδιότητες της προκύπτουσας κατάστασης είναι ζωτικής σημασίας. Τέτοια υλικά είναι όμοια με άλατα (πολυμερές άλας), το οποίο μειώνει τη διαλυτότητά τους σε οργανικούς διαλύτες και νερό και συνεπώς την επεξεργασιμότητά τους. Επίπλέον, η φορτισμένη οργανική ραχοκοκαλιά είναι συχνά ασταθής έναντι της ατμοσφαιρικής υγρασίας

Η κακή δυνατότητα επεξεργασίας για πολλά πολυμερή απαιτεί την εισαγωγή διαλυτοποιημένων ή υποκατάστατων, η οποία μπορεί να περιπλέξει περαιτέρω τη σύνθεση. Πειραματικά και θεωρητικά θερμοδυναμικά στοιχεία δείχνουν ότι τα αγώγιμα πολυμερή μπορεί και να είναι πλήρως και κυρίως αδιάλυτα, ώστε να μπορούν να υποστούν επεξεργασία μόνο με διασπορά.<sup>[15]</sup>

### 3.3 Βιοαποικοδομήσιμα πλαστικά και Βιοπλαστικά

Τα βιοαποικοδομήσιμα πλαστικά είναι πλαστικά που αποικοδομούνται (διασπώνται) κατά την έκθεση σε ηλιακό φως ή υπεριώδη ακτινοβολία, νερό ή υγρασία, βακτήρια, ένζυμα ή τριβή του ανέμου. Η επίθεση από έντομα είτε σκουλήκια, μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως μία μορφή βιοαποικοδόμησης.

Ο όρος βιοαποικοδομήσιμα πλαστικά αναφέρεται σε υλικά που διατηρούν τη μηχανική τους αντοχή κατά τη διάρκεια της πρακτικής χρήσης, αλλά διασπώνται σε ενώσεις χαμηλού βάρους και μη τοξικά υποπροϊόντα μετά τη χρήση τους. Αυτή η ανάλυση, γίνεται δυνατή μέσω μιας επίθεσης μικροοργανισμών στο υλικό, το οποίο είναι συνήθως ένα μη υδατοδιαλυτό πολυμερές. Τέτοια υλικά μπορούν να ληφθούν μέσω χημικής σύνθεσης, ζύμωσης από μικροοργανισμούς και από χημικά τροποποιημένα φυσικά προϊόντα.

Η βιοαποικοδόμηση πλαστικών γίνεται με πολύ μεταβλητούς ρυθμούς. Τα υδραυλικά με βάση το PVC επιλέγονται για το χειρισμό λυμάτων, επειδή το PVC αντιστέκεται στη βιοαποικοδόμηση. Μερικά υλικά συσκευασίας από την άλλη πλευρά αναπτύσσουν εύκολη υποβάθμιση κατά την έκθεσή τους στο περιβάλλον.



Εικόνα 3.4 Σακούλα από βιοαποικοδομήσιμο ή αλλιώς βιοδιασπώμενο πλαστικό, για τη χρήση τοποθέτησης πατάτας, αμύλου.

Παραδείγματα συνθετικών πολυμερών που βιοαποικοδομούνται γρήγορα περιλαμβάνουν πολυκαπρολακτόνη (PCL), άλλους πολυεστέρες και αρωματικούς εστέρες, λόγω του ότι οι εστερικοί δεσμοί τους είναι ευαίσθητοι σε προσβολή από το νερό. Ένα σημαντικό παράδειγμα είναι ο πολυτριουδροξυβουτυρικός εστέρας, το ανανεώσιμο πολυαλακτικό οξύ. Άλλες είναι η κυτταρίνη με βάση την οξική κυτταρίνη και τη νιτρική κυτταρίνη.

Υπό συνθήκες χαμηλού οξυγόνου τα πλαστικά διασπώνται πιο αργά. Η διαδικασία ανάλυσης μπορεί να επιταχυνθεί σε ειδικά σχεδιασμένο σωρό κομποστοποίησης. Τα πλαστικά με βάση το άμυλο θα αποικοδομηθούν εντός δύο έως τεσσάρων μηνών σε ένα δοχείο λυψασματοποίησης στο σπίτι, ενώ το πολυγαλακτικό οξύ είναι σε μεγάλο βαθμό μη αποσυντιθέμενο, απαιτώντας υψηλότερες θερμοκρασίες.

Τα σύνθετα πολυκαπρολακτόνης και πολυκαπρολακτόνης αμύλου αποσυντίθενται βραδύτερα, αλλά η περιεκτικότητα σε άμυλο επιταχύνει την αποσύνθεση αφήνοντας πίσω μια πορώδη πολυκαπρολακτόνη υψηλής επιφάνειας. Ωστόσο, χρειάζονται πολλοί μήνες. Το 2016, ένα βακτήριο που ονομάζεται *Ideonella sakaiensis* βρέθηκε να βιοαποικοδομεί PET.

Ο όρος «κομποστοποίηση» χρησιμοποιείται συχνά ως ανεπίσημος όρος για να περιγράψει τη βιοαποικοδόμηση των υλικών συσκευασίας. Υπάρχουν νομικοί ορισμοί για τη λιπασματοποίηση, τη διαδικασία των υλικών συσκευασίας. Τέσσερα κριτήρια προσφέρονται από την Ευρωπαϊκή Ένωση:

1. **Χημική σύνθεση:** η πτητική ύλη και τα βαρέα μέταλλα καθώς και το φθόριο πρέπει να είναι περιορισμένα.
2. **Βιοαποικοδομησιμότητα:** η μετατροπή μεγαλύτερη από το 90% του αρχικού υλικού σε διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub>, νερό και μέταλλα με βιολογικές διεργασίες εντός 6 μηνών.
3. **Διάσπαση:** τουλάχιστον το 90% της αρχικής μάζας πρέπει να αποσυντίθεται σε σωματίδια που είναι ικανά να διέλθουν από κόσκινο με διαστάσεις 2x2 mm.
4. **Ποιότητα:** απουσία τοξικών ουσιών και άλλων ουσιών που εμποδίζουν τη λιπασματοποίηση.

Από την άλλη πλευρά, τα βιοπλαστικά είναι πλαστικά υλικά που παράγονται από ανανεώσιμες πηγές βιομάζας όπως, φυτικά λίπη και έλαια, άμυλο αραβοσίτου, άχυρα, ροκανίδια, πριονίδια, ανακυκλωμένα απορρίμματα τροφίμων, κ.λπ.. Βιοπλαστικό υλικό μπορεί να γίνει και από γεωργικά παραπροϊόντα και επίσης απόχρησιμοποιούμενα πλαστικά (δηλαδή πλαστικά μπουκάλια και άλλα δοχεία) χρησιμοποιώντας μικροοργανοσμούς.

Συνήθως τα βιοπλαστικά παράγονται από παράγωγα σακχάρου, όπως άμυλο, κυτταρίνη και γαλακτικό οξύ. Τα κοινά πλαστικά, όπως τα ορυκτά καύσιμα (καύσιμο που σχηματίζεται από φυσικές διεργασίες, όπως η αναερόβια αποσύνθεση των θαμμένων νεκρών οργανισμών, που ονομάζονται επίσης πολυμερή πετροβάμβακα) προέρχονται από πετρέλαιο ή φυσικό αέριο.

Από το 2014, τα βιοπλαστικά αντιπροσώπευαν περίπου το 0,2 % της παγκόσμιας αγοράς πολυμερών (300 εκατομμύρια τόνοι). Αν και τα βιοπλαστικά δεν είναι εμπορικά σημαντικά, η έρευνα συνεχίζεται σε αυτό το θέμα. Εκτός από την αποσύνθεση από τη βιομηχανία πετροχημικών, τα βιοπλαστικά είναι ελκυστικά επειδή είναι βιοαποικοδομήσιμα ή βιοδιασπώμενα. Δεν είναι όλα τα βιολογικά πλαστικά βιοαποικοδομήσιμα ούτε βιοαποικοδομούνται πιο εύκολα από τα πλαστικά προϊόντα που προέρχονται από ορυκτά καύσιμα.

Τα βιοπλαστικά χρησιμοποιούνται για είδη μιας χρήσης, όπως συσκευασίες με πιάτα, μαχαιροπήρουνα, γλάστρες, μπολ και καλαμάκια. Λίγες εμπορικές εφαρμογές υπάρχουν για βιοπλαστικά. Το κόστος και η απόδοση παραμένουν σε προβληματισμό. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της Ιταλίας, όπου οι βιοαποικοδομήσιμες πλαστικές σακούλες για τους αγοραστές είναι υποχρεωτικές από το 2011 με την εισαγωγή συγκεκριμένου νόμου.



**Εικόνα 3.5** Συσκευασία με μαχαίρι και πιρούνι από βιοπλαστικό για την τοποθέτηση και λήψη φαγητού.

Πέρα από τα δομικά υλικά, αναπτύσσονται ηλεκτροενεργά βιοπλαστικά που υπόσχονται να μεταφέρουν ένα είδος οργανικής ηλεκτρικής (ένα πεδίο της επιστήμης των υλικών σχετικά με το σχεδιασμό, τη σύνθεση, το χαρακτηρισμό και την εφαρμογή οργανικών μορίων ή πολυμερών που εμφανίζουν επιθυμητές ηλεκτρονικές ιδιότητες όπως η αγωγιμότητα).

Τα βιοπολυμερή διατίθενται ως επικαλύψεις για χαρτί και όχι ως τα πιο κοινά πετροχημικά επιχρίσματα. Τα βιοπλαστικά που ονομάζονται drop-in bioplastics είναι χημικά πανομοιότυπα με τα αντίστοιχα ορυκτά καύσιμα, αλλά κατασκευάζονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τα βιο – PET, βιοπροπυλένιο, βιο – PP και βιολογικά νάιλον.

Τα βιοπλαστικά που χρησιμοποιούνται είναι εύκολο να εφαρμοστούν τεχνικά, καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί η υπάρχουσα υποδομή. Μια ειδική βιολογική βάση επιτρέπει την παραγωγή προϊόντων που δεν μπορούν να ληφθούν μέσω παραδοσιακών χημικών αντιδράσεων και μπορούν να δημιουργήσουν προϊόντα που έχουν μοναδικές και ανώτερες ιδιότητες, σε σύγκριση με εναλλακτικές λύσεις με βάση τα ορυκτά. <sup>[15][23][24]</sup>

#### 4. Μελέτη μεθόδων πολυμερισμού

Ο πολυμερισμός, είναι η διαδικασία συνδυασμού πολλών μικρών μορίων γνωστών ως μονομερών με ομοιοπολικά συνδεδεμένη αλυσίδα. Κατά τη διαδικασία του πολυμερισμού, ορισμένες χημικές ομάδες μπορεί να χαθούν από κάθε μονομερές. Αυτό συμβαίνει στον πολυμερισμό πολυεστέρα PET.

Τα μονομερή είναι τερεφθαμικό οξύ και αιθυλενογλυκόλη, που αντιστοιχεί στο συνδυασμό δύο μονομερών με την απώλεια δύο μορίων νερού. Το ξεχωριστό κομμάτι κάθε μονομερούς που ενσωματώνεται στο πολυμερές είναι γνωστό ως επαναλαμβανόμενη ομάδα ή υπόλειμμα μονομερούς.

Οι συνθετικές μέθοδοι γενικά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τον πολυμερισμό σταδιακής ανάπτυξης και τον πολυμερισμό αλυσίδας. Η βασική διαφορά μεταξύ των δύο είναι ότι στον πολυμερισμό της αλυσίδας, τα μονομερή προστίθενται στην αλυσίδα ένα κάθε φορά, όπως στο πολυστυρένιο, ενώ στις αλυσίδες μονομερών πολυμερισμού σταδιακής ανάπτυξης μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους άμεσα.



Ο πολυμερισμός σταδιακής ανάπτυξης μπορεί να χωριστεί σε πολυσυμπύκνωση, στην οποία σχηματίζεται υποπροϊόν χαμηλής γραμμομοριακής μάζας σε κάθε στάδιο αντίδρασης. Νεότερες μέθοδοι όπως ο πολυμερισμός πλάσματος, δεν ταιριάζουν σε καμία από τις δύο κατηγορίες. Συνθετικές αντιδράσεις πολυμερισμού μπορούν να διεξαχθούν με ή χωρίς καταλύτη. Η εργαστηριακή σύνθεση βιοπολυμερών είναι ένας τομέας εντατικής έρευνας.

Ανάλογα με το μηχανισμό που ακολουθούν οι αντιδράσεις πολυμερισμού μπορούν να διαχωριστούν σε:

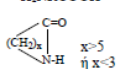
- Αντιδράσεις σταδιακού πολυμερισμού (step-growth polymerization)
- Αντιδράσεις αλυσιδωτού πολυμερισμού (chain polymerization)

Κατά το σταδιακό πολυμερισμό γίνεται σταδιακή αντίδραση μεταξύ οποιονδήποτε μοριακών ειδών που υπάρχουν στο μίγμα της αντίδρασης ανεξάρτητα από το μέγεθός τους (μονομερών, ολιγομερών, μεγαλύτερου μεγέθους αλυσίδες).


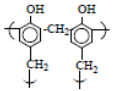



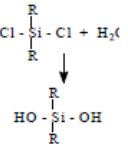

Κατά τον αλυσιδωτό πολυμερισμό, η μακρομοριακή αλυσίδα αναπτύσσεται με την ταχύτατη προσθήκη μονομερών πάνω σε ένα δραστικό κέντρο. Το δραστικό κέντρο μπορεί να είναι ελεύθερη ρίζα, ιόν (ανιόν, κατιόν) ή σύμπλοκος ένωση. Στην περίπτωση αυτή το μονομερές αντιδρά γενικά με την άκρη μιας αναπτυσσόμενης αλυσίδας μακρομορίου. Επειδή η αλυσίδα αναπτύσσεται με πολύ γρήγορους ρυθμούς, το σύστημα πολυμερισμού περιλαμβάνει μεγάλα μακρομόρια και μονομερή που δεν έχουν αντιδράσει. Ενδιάμεσα προϊόντα δεν μπορούν να απομονωθούν.<sup>[9][10][3]</sup>

#### 4.1 Σταδιακές αντιδράσεις πολυμερισμού

Πιο αναλυτικά, οι σταδιακές αντιδράσεις χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι αντιδράσεις στις οποίες λαμβάνουν μέρος δύο μονομερή, που το καθένα διαθέτει δύο όμοιες δραστικές ομάδες. Στην δεύτερη κατηγορία σταδιακών αντιδράσεων τα μονομερή έχουν δύο διαφορετικές δραστικές ομάδες.<sup>[9][10][3]</sup>

Όνομασία	Δομική μονάδα	Μονομερή ή μονομερές	Ιδιότητες (Χρήσεις)
Πολυαμίδια ή Nylon	$-(NH-R-NH-CO-R'-CO)-$	$H_2NRNH_2 + HOOCR'COOH$ $H_2NRNH_2 + ClOCR'COCl$ $H_2NRCOOH$ 	Καλή αντοχή στον εφελκυσμό και στην τριβή. Καλή ελαστικότητα. Αντίσταση στην υγρασία και διαλύτες (Ίνες, πλαστικά)
Πολουρεθάνες	$-(OROCO-NH-R'-NH-CO)-$	$HO-R-OH + O=C=N-R'-N=C=O$	Καλή αντοχή στην τριβή. Καλή ελαστικότητα. Καλή αντίσταση στα ορυκτέλαια, διαλύτες κ.λ.π. (Ελαστομερή, ίνες, επικαλυπτικά και αφρώδη πλαστικά)
Πολουρίες	$-(NH-R-NH-CO-NH-R'-NH-CO)-$	$H_2N-R-NH_2 + O=C=N-R'-N=C=O$	Υψηλό $T_g$ . Καλή αντίσταση στα ορυκτέλαια και διαλύτες. (Μικρή βιομηχανική εφαρμογή)
Πολυεστέρες	$-(O-R-O-CO-R'-CO)-$	$HO-R-OH + HOOC-R'-COOH$ $HO-R-OH + ClCO-R'-COCl$ $HO-R-COOH$	Υψηλό $T_g$ και $T_m$ . Καλές μηχανικές ιδιότητες. Καλή αντίσταση στους διαλύτες και στα ορυκτέλαια (φίλμ, ίνες)



Πολυαιθέρες	-(R-O)-		Καλές μηχανικές ιδιότητες. (Θερμοπλαστικά, φιλμ)
Πολυανθρακικά	-(O-R-O-CO)-	HO-R-OH + Cl-CO-Cl	Καλές μηχανικές ιδιότητες. Σταθερότητα στη θέρμανση και οξείδωση. Αυτόσβεση. (Θερμοπλαστικά)
Πολυακετάλες	-(O-R-O-CH2)-	HO-R-OH + R'O-CH2-OR'	Μέτριες φυσικές ιδιότητες (Μικρή βιομηχανική εφαρμογή)
Πολυανυδρίτες	-(CO-R-CO-O)-	HOOC-R-COOH	Μέτριο T <sub>g</sub> και T <sub>m</sub> . Μέτριες μηχανικές ιδιότητες (Μικρή βιομηχανική εφαρμογή)
Ρητίνες φαινόλης – φορμαλδεΐδης		 + HCOH	Καλές διηλεκτρικές ιδιότητες. Καλή αντίσταση στη θερμότητα και στους περισσότερους διαλύτες (ηλεκτρικά είδη, κόλλες)
Πολυσουλφίδια	-(R-S <sub>x</sub> )- 	Cl-R-Cl + Na <sub>2</sub> S <sub>x</sub> Cl-R-Cl + Na <sub>2</sub> S <sub>4</sub>	Κακή αντίσταση στη θερμότητα. Κακές μηχανικές ιδιότητες. Εξαιρετική αντίσταση στα ορυκτέλαια, στους διαλύτες, στο O <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , κ.λ.π. (κόλλες)
Πολυσιλοξάνες ή σιλικόνες			Καλές φυσικές ιδιότητες σε χαμηλές και υψηλές θερμοκρασίες. Καλή αντίσταση στο O <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , στους διαλύτες, στα ορυκτέλαια, κ.λ.π. (ελαστομερή, κόλλες, χειρουργικά εργαλεία)
Πολυφωσφορικά		HO-R-OH + Cl-P(=O)(Cl)-R	Καλή αντοχή στη θερμότητα και στην καύση (κόλλες για γυαλί, κ.λ.π.)

Πίνακας 4 Δομή, Ιδιότητες και Χρήσεις Πολυμερών Σταδιακού Πολυμερισμού.

#### 4.1.1 Βιομηχανικές μέθοδοι σταδιακού πολυμερισμού

Οι βιομηχανικές μέθοδοι σταδιακού πολυμερισμού ανήκουν στις παρακάτω τρεις κατηγορίες:

1. Πολυμερισμός μάζας ή τήγματος (Mass ή Bulk ή Melt polymerization)
2. Πολυμερισμός διαλύματος (Solution polymerization) και
3. Πολυμερισμός στη μεσεπιφάνεια δύο υγρών (Interfacial polymerization).

Ο πολυμερισμός μάζας ή τήγματος είναι η παλαιότερη και πιο διαδεδομένη βιομηχανική μέθοδος σταδιακού πολυμερισμού. Κατά τη μέθοδο αυτή τα μονομερή αναμιγνύονται με τον καταλύτη, το μίγμα θερμαίνεται λίγο πιο πάνω από τη θερμοκρασία τήξεως (300 – 350 °C) και ελαττώνεται η πίεση. Η ελάττωση της πίεσης είναι αναγκαία για να απομακρύνονται εύκολα τα μικρά μόρια που σχηματίζονται κατά τον πολυμερισμό και έτσι λαμβάνεται πολυμερές με το επιθυμητό μοριακό βάρος.

Συνήθως ο πολυμερισμός τήγματος διαρκεί από μερικές ώρες ως μερικές μέρες. Η μέθοδος αυτή περιορίζεται σε μονομερή και πολυμερή που είναι σταθερά σε μεγάλες θερμοκρασίες. Στη βιομηχανία με αυτή τη μέθοδο παρασκευάζονται τα περισσότερα από τα Nylon και ο πολυτερεφθαλικός αιθυλενεστέρας (PET).

Ο πολυμερισμός διαλύματος χρησιμοποιεί πιο δραστικά μονομερή από τη μέθοδο του τήγματος και έτσι δεν απαιτούνται μεγάλες θερμοκρασίες. Συνήθως, ο πολυμερισμός γίνεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Τα μικρά μόρια απομακρύνονται ή με ελάττωση της πίεσης ή συνήθως με την προσθήκη μιας βάσης π.χ. πυριδίνη κ.λπ.. Τα μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι ότι τα μονομερή έχουν μεγάλο κόστος και απαιτούνται πρόσθετες εγκαταστάσεις για την ανακύκλωση του διαλύτη.

Στη βιομηχανία αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται όταν πρέπει να διατεθεί στην αγορά το πολυμερές σε μορφή διαλύματος (π.χ. κόλλες), στον ίδιο διαλύτη που έγινε ο πολυμερισμός, οπότε αποφεύγεται η ανακύκλωση του διαλύτη.

Ο πολυμερισμός στη μεσεπιφάνεια δύο υγρών χρησιμοποιείται όταν τα δραστικά μονομερή διαλύονται σε δύο υγρά που δεν αναμιγνύονται και το ένα από τα δύο υγρά είναι συνήθως νερό. Η αντίδραση γίνεται στη μεσεπιφάνεια των δύο υγρών και το σχηματιζόμενο πολυμερές στη μεσεπιφάνεια απομακρύνεται συνεχώς. Στη βιομηχανία με αυτή τη μέθοδο παρασκευάζονται τα πολυανθρακικά και το Nylon – 6,10.

Ο πολυμερισμός αυτός δεν ακολουθεί την κινητική των σταδιακών αντιδράσεων. Τα μονομερή αντιδρούν με το αναπτυσσόμενο, στη μεσεπιφάνεια των δύο υγρών, μακρομόριο και όχι με τα άλλα μονομερή, γιατί δεν μπορούν να περάσουν τη μεμβράνη του πολυμερούς και να φθάσουν στην άλλη φάση.<sup>[9][10][3]</sup>

## 4.2 Αλυσιδωτές αντιδράσεις πολυμερισμού

Με αλυσιδωτές αντιδράσεις πολυμερίζονται συνήθως τα βινυλικά και τα διενικά μονομερή. Οι αλυσιδωτές αντιδράσεις πολυμερισμού γίνονται με τη βοήθεια ορισμένων χημικών ενώσεων (π.χ. βουτυλολίθιο) που ονομάζονται απαρχητές. Ο ιοντικός πολυμερισμός διακρίνεται σε ανιοντικό, όταν το αναπτυσσόμενο μακρομόριο είναι φορτισμένο αρνητικά και σε κατιοντικό, όταν το αναπτυσσόμενο μακρομόριο είναι φορτισμένο θετικά.

Η εκλογή του κατάλληλου απαρχητή εξαρτάται από τους υποκαταστάτες Χ και Ψ. Η εκλογή του κατάλληλου απαρχητή εξαρτάται κυρίως από τον υποκαταστάτη Ψ. Γενικά πρέπει να λαμβάνονται υπόψη η ηλεκτρονική συμπεριφορά του Ψ, αν δηλαδή είναι δέκτης ή δότης ηλεκτρονίων και η πιθανότητα συντονισμού του Ψ με διπλό δεσμό.

Αν το υποκαταστάτης Ψ είναι δέκτης ηλεκτρονίων, τότε ο ανιοντικός πολυμερισμός ευνοείται και πρέπει να χρησιμοποιηθεί για τον πολυμερισμό. Στην αντίθετη περίπτωση που ο υποκαταστάτης Ψ συμπεριφέρεται ουδέτερα, δηλαδή δεν είναι ούτε δότης ούτε δέκτης ηλεκτρονίων, τότε ευνοείται ο πολυμερισμός με ελεύθερες ρίζες και πρέπει να χρησιμοποιηθεί για τον πολυμερισμό του μονομερούς ένας απαρχητής που δίνει ελεύθερες ρίζες, π.χ. βενζοϋλοϋπεροξειδίο.<sup>[9][10][3]</sup>

### 4.2.1 Πολυμερισμός με ελεύθερες ρίζες

Από βιομηχανική άποψη ο πολυμερισμός με ελεύθερες ρίζες είναι ο σπουδαιότερος, γιατί τα περισσότερα βιομηχανικά πολυμερή παρασκευάζονται με τη βοήθεια ελεύθερων ριζών. Ο πολυμερισμός με ελεύθερες ρίζες γίνεται σε τρία στάδια.

Στο πρώτο στάδιο η έναρξη του πολυμερισμού μπορεί να γίνει με τη βοήθεια ορισμένων χημικών ενώσεων που δίνουν ελεύθερες ρίζες ή ακόμα με την επίδραση θερμότητας και φωτός. Ο μηχανισμός δημιουργίας ελεύθερων ριζών, από την επίδραση θερμότητας πάνω σε μονομερή, δεν είναι ακόμα πολύ καλά εξακριβωμένος.

Σε μερικές περιπτώσεις όπως παραδείγματος χάριν στο θερμικό πολυμερισμό του αιθυλενίου, πιστεύεται ότι οι αρχικές ρίζες παράγονται από τα υπεροξείδια που δημιουργούνται με οξείδωση του διπλού δεσμού του μονομερούς. Σε άλλες πάλι περιπτώσεις θερμικού πολυμερισμού, εν απουσία αέρα, πιστεύεται ότι οι αρχικές ελεύθερες ρίζες δημιουργούνται από τη σύγκρουση των μορίων του μονομερούς.

Η δημιουργία ελεύθερων ριζών από την επίδραση του φωτός γίνεται με τη βοήθεια ορισμένων φωτοευαίσθητων χημικών ενώσεων, όπως π.χ. τριφαινυλομεθυλο – αζωβενζολίου. Στο δεύτερο στάδιο γίνεται η διάδοση μορίων μονομερούς, που προσθέτονται με πολλή μεγάλη ταχύτητα στις πρωταρχικές ρίζες που σχηματίζονται στο στάδιο της έναρξης του πολυμερισμού.

Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο του πολυμερισμού με ελεύθερες ρίζες γίνεται ο τερματισμός του πολυμερισμού. Οι μακρόριζες που δημιουργούνται στο στάδιο της διάδοσης μπορούν να καταστραφούν οποιαδήποτε στιγμή, είτε με συνένωση δύο μακροριζών είτε να ανακατανομή δηλαδή με μεταφορά υδρογόνου από μακρόριζα σε μακρόριζα.

Στις περισσότερες περιπτώσεις πολυμερισμού με ελεύθερες ρίζες ο τερματισμός γίνεται και με τους δυο τρόπους συγχρόνως. Σε μερικές όμως περιπτώσεις, ο τερματισμός γίνεται είτε με συνένωση είτε με ανακατανομή. Ο τρόπος τερματισμού μπορεί αν βρεθεί από τον προσδιορισμό του αριθμού των ομάδων ανά μακρομόριο. Ο τερματισμός μπορεί ακόμα να γίνει, ανάλογα με τις συνθήκες πολυμερισμού, με μεταφορά υδρογόνου ή άλλου ατόμου στην αναπτυσσόμενη μακρόριζα από το διαλύτη, το μονομερές ή το πολυμερές.<sup>[9][10][3]</sup>

### 4.3 Ανιοντικός πολυμερισμός

Ανιοντικός πολυμερισμός είναι εκείνο το είδος πολυμερισμού στον οποίο συμμετέχουν μονομερή που σταθεροποιούν αρνητικό φορτίο στο μόριό τους. Τα μονομερή αυτά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Στην πρώτη είναι ολεφίνες που έχουν υποκαταστάτες που σταθεροποιούν αρνητικό φορτίο (καρβανιόντα) μέσω δομών συντονισμού και συνήθως είναι άπολα μονομερή όπως στυρένιο, βουταδιένιο, ισοπρένιο, αλλά και πολικά μονομερή όπως βινυλοπυριδίνη, ακρυλικά μονομερή, βουταδιένιο και βινυλοκετόνες.

Βινυλικά μονομερή με πολικούς υποκαταστάτες δεν μπορούν να πολυμεριστούν με ανιοντικό πολυμερισμό, επειδή η μεγάλη δραστικότητα των καρβοκατιόντων που χρησιμοποιούνται σαν απαρχητές δίνει αντιδράσεις τερματισμού με τους πολικούς υποκαταστάτες.

- Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα κυκλικά μονομερή όπως το αιθυλενοξείδιο, οι κυκλοσιλοξάνες, λακτόνες και λακτάμες.

Ο ανιοντικός πολυμερισμός αποτελεί ίσως τον πιο διαδεδομένο και περισσότερο μελετημένο τρόπο «ζωντανού» πολυμερισμού. Ανήκει στην κατηγορία των αλυσωτών αντιδράσεων πολυμερισμού και πραγματοποιείται με την προσθήκη μονομερών σε ενεργά κέντρα που φέρουν μερικό ή ολικό αρνητικό φορτίο.

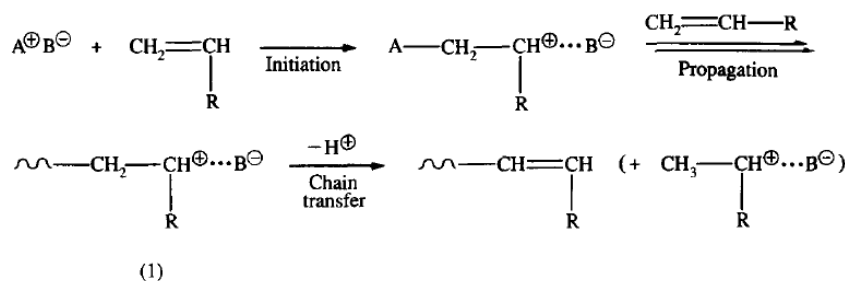
Για να χαρακτηριστεί ένας πολυμερισμός σαν «ζωντανός», θα πρέπει να ικανοποιούνται τα εξής κριτήρια:

1. Πλήρης πολυμερισμός του μονομερούς,
2. Γραμμικότητα του μοριακού βάρους με την απόδοση του πολυμερισμού,
3. Στοιχειομετρικός έλεγχος του μοριακού βάρους,
4. Μικρή κατανομή μοριακών βαρών,
5. Σύνθεση κατά συστάδες συμπολυμερών με την διαδοχική προσθήκη μονομερών.

Το κύριο χαρακτηριστικό του ανιοντικού πολυμερισμού είναι η έλλειψη του σταδίου τερματισμού. Αποτελείται από δύο στάδια: α) το στάδιο της έναρξης και β) το στάδιο της διάδοσης. Τα στάδια αυτά για τον πολυμερισμό π.χ. του στυρενίου με απαρχητή δευτεροταγές βουτυλολίθιο (sec-BuLi).<sup>[9][10][3]</sup>

#### 4.4 Κατιοντικός πολυμερισμός

Ο κατιοντικός πολυμερισμός είναι μία αντίδραση πολυμερισμού προσθήκης όπου η διάδοση γίνεται μέσω ενός καρβανιόντος στην οποία συμμετέχουν ένα μονομερές και ένας απαρχητής σύμφωνα με την αντίδραση:



Εικόνα 4.1 Γενική αντίδραση κατιοντικού πολυμερισμού.

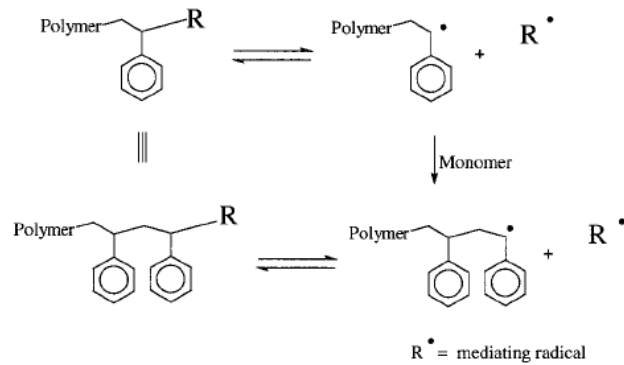
Γενικά τα ενεργά καρβανιόντα είναι πολύ δραστικά με συνέπεια να είναι ασταθή και να υπόκεινται σε πλευρικές αντιδράσεις όπως αντιδράσεις μεταφοράς και τερματισμού. Η κυριότερη αντίδραση είναι η μεταφορά στο μονομερές. Εξαιτίας του θετικού φορτίου το β-άτομο H του (1) είναι όξινο. Τα μονομερή που μπορούν να πολυμεριστούν κατιοντικά είναι βασικά ή πυρηνόφιλα και κατά συνέπεια η απόσπαση H από το μονομερές είναι κατά κάποιο τρόπο μία αναπόφευκτη αντίδραση τερματισμού.<sup>[9][10][3]</sup>

#### 4.5 Ζωντανός ριζικός πολυμερισμός

Ο ριζικός πολυμερισμός παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα έναντι των ιοντικών πολυμερισμών, όπως ο αριθμός των διαφορετικών μονομερών που μπορούν να πολυμεριστούν με ελεύθερες ρίζες, καθώς επίσης και οι συνθήκες πολυμερισμού δεν είναι τόσο απαιτητικές και για αυτό μπορούν να επιτευχθούν σε βιομηχανικά συστήματα (αντιδραστήρες). Για παράδειγμα ριζικός πολυμερισμός μπορεί να λάβει χώρα παρουσία νερού (απαιτείται μόνο ο ολικός αποκλεισμός του οξυγόνου) και σε μία βολική περιοχή θερμοκρασιών (0-120 °C).<sup>[9][10][3]</sup>

##### 4.5.1 Ζωντανός ριζικός πολυμερισμός με την χρήση νιτροξειδικών ριζών

Στο παρακάτω σχήμα δίνεται ο γενικός μηχανισμός για τον επιτυχή ζωντανό πολυμερισμό. Σε αυτό το γενικό μηχανισμό, ο αντιστρεπτός τερματισμός της αναπτυσσόμενης πολυμερικής αλυσίδας είναι το κρίσιμο στάδιο για την μείωση της ολικής συγκέντρωσης των διαδομένων ριζών στο άκρο των πολυμερικών αλυσίδων.



Εικόνα 4.2 Γενικός μηχανισμός ζωντανού ριζικού πολυμερισμού.

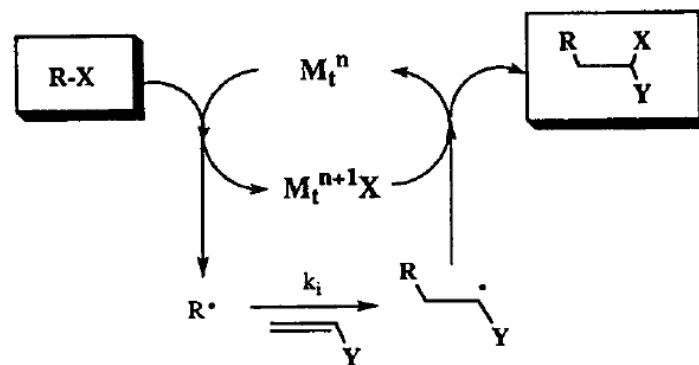
Απουσία άλλων αντιδράσεων που να οδηγούν σε έναρξη πολυμερισμού νέων πολυμερικών αλυσίδων, η συγκέντρωση των ενεργών κέντρων στο άκρο των αλυσίδων είναι πολύ μικρή, μειώνοντας τις μη αντιστρεπτές αντιδράσεις τερματισμού, όπως αντιδράσεις ανακατανομής και συνένωσης.

Όλες οι πολυμερικές αλυσίδες θα εκκινούσαν μόνο από τα επιθυμητά ενεργά κέντρα και η διάδοση θα γινόταν με ζωντανό τρόπο, οδηγώντας σε μεγάλους βαθμούς πολυμερισμού για ολόκληρη την διαδικασία πολυμερισμού, δίνοντας καλά καθορισμένα πολυμερή. Η φύση της ρίζας  $R^\bullet$  είναι κρίσιμη για την επίτευξη του ζωντανού ριζικού πολυμερισμού. [9][10][3]

#### 4.5.2 Ζωντανός ριζικός πολυμερισμός μεταφοράς ατόμου (ΡΠΜΑ)

Σημαντική πρόοδος στην ανάπτυξη και κατανόηση συστημάτων ελεγχόμενου «ζωντανού» ριζικού πολυμερισμού υπάρχει τα τελευταία χρόνια. Το κοινό χαρακτηριστικό όλων αυτών των μεθόδων είναι η δημιουργία μίας δυναμικής ισορροπίας στο σύστημα πολυμερισμού μεταξύ μίας μικρής συγκέντρωσης ριζών και μίας μεγαλύτερης συγκέντρωσης αδρανών μορίων.

Τα αδρανή αυτά μόρια στην μέθοδο ζωντανού ριζικού πολυμερισμού είναι οι αλκοξυαμίνες, ενώ στον ζωντανό ριζικό πολυμερισμό μεταφοράς ατόμου είναι τα αλκυλαλογονίδια. Σε αυτήν την αντίδραση μία ένωση μετάλλου μετάπτωσης δρα σαν φορέας ατόμου αλογόνου σε μία αντιστρεπτή διαδικασία όπως φαίνεται στην αντίδραση του παρακάτω σχήματος.



Εικόνα 4.3 Ριζικός πολυμερισμός μεταφοράς ατόμου.

Διαρκής εναλλαγή μεταξύ των  $M_i^n$  και  $M_i^{n+1}$  οδηγεί σε δημιουργία ελεύθερων ριζών οι οποίες στη συνέχεια αντιδρούν με ένα αλκένιο για την σύνθεση της επιθυμητής ένωσης. Η υψηλή απόδοση της αντίδρασης (>90 %) οφείλεται στην μικρή συγκέντρωση των ελεύθερων ριζών που οδηγεί στην μείωση των αντιδράσεων τερματισμού. Σαν καταλύτες χρησιμοποιούνται είτε αλογονίδια του ρουθινίου παρουσία αλκοξειδίων του αργιλίου. <sup>[9][10][3]</sup>

#### 4.5.2.1 Απαρχητές

Σαν απαρχητές έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες αλογονούχες ενώσεις. Για παράδειγμα σαν απαρχητές μπορούν να δράσουν:

1. Πολυαλογονούχες ενώσεις ( $\text{CCl}_4$ ,  $\text{HCCl}_3$ )
2. Αλκυλαλογονίδια με υποκαταστάτες στον α-C όπως άρυλο, άλλυλο, καρβόνυλο ή σουλφόνυλο ομάδες.
3. Ενώσεις με ασθενείς δεσμούς αλογόνων όπως N-X, S-X, O-X.

Μεγαλομοριακές ενώσεις με ακραία ομάδα αλογόνου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν απαρχητές δίνοντας συμπολυμερή κτά συστάδες ενώ αν χρησιμοποιηθούν πολυμερή με πλευρικές ομάδες αλογόνου λαμβάνονται εμβολιασμένα πολυμερή. Ο παράγοντας που καθορίζει την εκλογή του απαρχητή είναι ο λόγος της φαινόμενης σταθεράς ταχύτητας έναρξης προς τη φαινόμενη σταθερά ταχύτητας διάδοσης.

#### 4.5.2.2 Καταλύτες

Υπάρχουν αρκετές προϋποθέσεις για την χρησιμοποίηση κάποιου μετάλλου σε Ριζικό Πολυμερισμό Μεταφοράς Ατόμου.

1. Το μέταλλο θα πρέπει να συμμετέχει σε κύκλο μεταφοράς ενός ηλεκτρονίου για να ευνοείται η μεταφορά ατόμου παρά η οξειδωτική προσθήκη / αναγωγική απόσταση.
2. Το μέταλλο πρέπει να έχει υψηλή εκλεκτικότητα για την ομάδα X και χαμηλή για την αλκυλική ρίζα. Στην αντίθετη περίπτωση συμβαίνουν αντιδράσεις μεταφοράς (απόσταση β-H) και σχηματισμός οργανομεταλλικών ενώσεων.
3. Η εσωτερική σφαίρα σύνταξης του  $M_i^n$  πρέπει να έχει τη δυνατότητα να συμπεριλάβει έναν ακόμα υποκαταστάτη, τον X, ώστε να είναι δυνατή η μεταφορά ατόμου. Ο Cu και ο Fe φαίνεται να είναι τα πιο κατάλληλα μέταλλα.

Ένας άλλος καθοριστικός παράγοντας είναι το είδος του υποκαταστάτη που χρησιμοποιείται. Οι υποκαταστάτες αυξάνουν τη διαλυτότητα του μετάλλου και επηρεάζουν άμεσα τη χημεία του συστήματος (οξειδοαναγωγική αντίδραση). Επίσης μεταβάλουν την εκλεκτικότητα μέσω στερεοχημικών και ηλεκτρονιακών αλληλεπιδράσεων, επιδρώντας στην ισορροπία μεταξύ ενεργών και αδρανών ειδών. <sup>[9][10][3]</sup>

## 4.6 Καταλυτικός πολυμερισμός

Η μεγάλη συμβολή των καταλυτικών αντιδράσεων πολυμερισμού συνιστάται στην παραγωγή πολυολεφίνων, τόσο σε εργαστηριακό όσο και σε βιομηχανικό επίπεδο. Η ποσότητα των πολυολεφίνων, κυρίως πολυαιθυλενίου και πολυπροπυλενίου, καλύπτει το 60-70 % της παγκόσμιας παραγωγής πολυμερών.



Η πρώτη βιομηχανική μέθοδος παραγωγής πολυαιθυλενίου αναφέρθηκε το 1933 από τους Fawcett και Gibson στην εταιρία ICI. Σε θερμοκρασίες 200 °C και πιέσεις μεγαλύτερες από 1000 bar πραγματοποιείται ριζικός πολυμερισμός του αιθυλενίου με ίχνη οξυγόνου ως απαρχητή.

Το προϊόν είναι διακλαδισμένο και χαρακτηρίζεται ως πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας, LDPE. Η πρώτη πιλοτική μονάδα παραγωγής LDPE λειτούργησε το 1939 στην Μεγάλη Βρετανία για την παραγωγή μονωτικών επικαλύψεων σε σύρματα μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος.

Η πρώτη επανάσταση στην παραγωγή πολυολεφίνων καταγράφηκε τη δεκαετία του 1950 με την ανάπτυξη των καταλυτών Ziegler-Natta στο εργαστήριο του K.Ziegler στο Ινστιτούτο Max-Planck (Institute for coal research at Müllheim).

Τα καταλυτικά αυτά συστήματα ονομάστηκαν μικτοί καταλύτες ή καταλύτες Ziegler. Το 1954 αναφέρθηκε ο συμπολυμερισμός αιθυλενίου – προπυλενίου προς κομμωδη προϊόντα με καταλύτες του βαναδίου, ενώ στις 11 Μαρτίου του ίδιου έτους ο G. Natta ανακοίνωσε τον πολυμερισμό του προπυλενίου με παρόμοια καταλυτικά συστήματα.

Γρήγορα ανακαλύφθηκε η δυνατότητα που παρέχει η μέθοδος αυτή του καταλυτικού πολυμερισμού στον έλεγχο της στερεοχημείας των παραγόμενων πολυμερών. Επιστέγασμα των προσπαθειών αυτών ήταν η απονομή του βραβείου Nobel στους Ziegler και Natta το 1963. <sup>[9][10][3]</sup>

## 5. Ανακύκλωση

Η ανακύκλωση είναι η διαδικασία μετατροπής των αποβλήτων σε νέα υλικά και αντικείμενα. Η δυνατότητα ανακύκλωσης ενός υλικού εξαρτάται από την ικανότητά του να αποκτά τις ιδιότητες που είχε όταν ήταν στην αρχική του κατάσταση. Είναι μια εναλλακτική λύση για τη διαχείριση των αποβλήτων που μπορεί να εξοικονομήσει υλικό και να μειώσει τις εκπομπές αερίων στην ατμόσφαιρα. Η ανακύκλωση μπορεί να αποτρέψει την σπατάλη χρήσιμων υλικών και να μειώσει την κατανάλωση πρώτων υλών, καταλήγοντας έτσι στην ελαχιστοποίηση της χρήσης ενέργειας, της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της ρύπανσης των υδάτων.

Η ανακύκλωση αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα για την σύγχρονη μείωση των αποβλήτων και είναι το τρίτο στοιχείο της ιεραρχίας αποβλήτων «Μείωση αποβλήτων , Επαναχρησιμοποίηση και Ανακύκλωση». Έτσι, η ανακύκλωση στοχεύει στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα, αντικαθιστώντας τις εισροές πρώτων υλών και ανακατευθύνει τα απόβλητα από το οικονομικό σύστημα. Υπάρχουν ορισμένα πρότυπα ISO που σχετίζονται με την ανακύκλωση, όπως για παράδειγμα το ISO 15270: 2008 για τα απορρίμματα πλαστικών και το ISO 14001: 2015 για τον έλεγχο περιβαλλοντικής διαχείρισης της πρακτικής ανακύκλωσης. <sup>[12] [18]</sup>



Εικόνα 5.1 Σύμβολο ανακύκλωσης.

### 5.1 Διαδικασία, Μέθοδοι Ανακύκλωσης και Συλλογής

Η διαδικασία της ανακύκλωσης περιλαμβάνει τρία (3) κύρια βήματα, τα οποία σχηματίζουν κύκλο ή βρόχο, όπως και το σύμβολο της ανακύκλωσης. Το πρώτο είναι η συλλογή των ανακυκλώσιμων υλικών, το δεύτερο είναι η επεξεργασία των εκάστοτε υλικών και η μετατροπή τους σε προϊόντα ανακυκλωμένου περιεχομένου και το τρίτο είναι η αγορά των ανακυκλωμένων προϊόντων.

Και τα τρία (3) αυτά βήματα είναι πολύ σημαντικά για το κλείσιμο του βρόχου. Όταν υπάρχει έλλειψη έστω και ενός από τα τρία βήματα, τα οφέλη που προσφέρονται από την ανακύκλωση μειώνονται σημαντικά.

Τα τρία αυτά βήματα, ισχύουν για όλα τα ανακυκλώσιμα υλικά. Παρ'όλα αυτά, το δεύτερο βήμα της διαδικασίας μπορεί να ποικίλει ανάλογα τη μέθοδο και τους διαφορετικούς τύπους ανακυκλώσιμων. Παρακάτω περιγράφονται τα βήματα αναλυτικά.

1. **Βήμα 1:** Οι μέθοδοι συλλογής ενδέχεται να διαφέρουν από κοινότητα σε κοινότητα. Ωστόσο, υπάρχουν τέσσερις κυριότεροι μέθοδοι συλλογής, δηλαδή η εναπόθεση σε κάδους αποκομιδής υλικών, η συλλογή σε κέντρα παράδοσης και διαλογής (συστήματα που έχουν τα κατάλληλα μέσα να συλλέγουν τα ανακυκλώσιμα υλικά), η συλλογή σε κέντρα επαναγοράς (συστήματα όπου αγοράζουν ανακυκλώσιμα υλικά) και συλλογή από προγράμματα που δημιουργούνται για την κατάθεση και την επιστροφή χρημάτων από τη διαδικασία ανακύκλωσης υλικών.

Μετά τη συλλογή, τα ανακυκλώσιμα υλικά στη συνέχεια αποστέλλονται σε κατάλληλες εγκαταστάσεις ανάκτησης για να ταξινομηθούν και να προετοιμαστούν σε εμπορεύσιμα προς πώληση σε εταιρίες μεταποίησης προϊόντων.



Εικόνα 5.2 Κάδοι αποκομιδής υλικών.



Εικόνα 5.3 Κέντρο διαλογής ανακυκλώσιμων υλικών.



Εικόνα 5.4 Κέντρο επαναγοράς ανακυκλώσιμων υλικών.

2. **Βήμα 2:** Στο δεύτερο στάδιο της διαδικασίας, τα ανακυκλώσιμα υλικά υποβάλλονται σε επεξεργασία. Μόλις λοιπόν, ξεκαθαριστούν και ταξινομηθούν γίνεται η επεξεργασία τους, ώστε να ανακτήσουν ξανά τις πρώτες ύλες όπου με τη σειρά τους χρησιμοποιούνται έπειτα στην κατασκευή νέων ανακυκλωμένων προϊόντων.

Όλα τα ανακυκλώσιμα υλικά πρέπει να διασπώνται, να λιώνουν ή να υγροποιούνται στα βασικά στοιχεία τους πριν μετατραπούν σε νέα υλικά, είτε να αναμειχθούν με παρθένους πόρους και να μετατραπούν σε νέα υλικά.

Ωστόσο, η μέθοδος επεξεργασίας ποικίλλει ανάλογα το υλικό που ανακυκλώνεται. Παραδείγματος χάριν, τα ανακυκλώσιμα υλικά όπως το γυαλί, τα δοχεία αργιλίου και ο χάλυβας πρέπει να λιώσουν σε μία υγρή μορφή και να αναδιαμορφωθούν έπειτα στα νέα προϊόντα.

Τα ανακυκλώσιμα υλικά όπως το γυαλί που ξανάαναφέρεται παραπάνω (ανάλογα τη επαναχρησιμοποίηση), το χαρτί και ορισμένα πλαστικά πρέπει να συνθλιφθούν ή να τεμαχιστούν, ως μέρος της επεξεργασίας για να εξαχθούν τα βασικά στοιχεία τους ή οι πρώτες ύλες (π.χ. ίνες σε χαρτί) για τη χρήση στην παραγωγή νέων προϊόντων.





Εικόνα 5.5 Κέντρο επεξεργασίας ανακύκλωσης πλαστικών PET σε εργοστάσιο στην Ιταλία.

3. **Βήμα 3:** Το τρίτο και τελευταίο βήμα της διαδικασίας ανακύκλωσης περιλαμβάνει την αγορά ανακυκλωμένων προϊόντων, όπου και ολοκληρώνει το βρόχο. Όλο και περισσότερα από τα σημερινά προϊόντα κατασκευάζονται με συνολικό ή μερικό ανακυκλωμένο περιεχόμενο. Είτε ένας απλός καταναλωτής, είτε ένας μέρος μιας κυβέρνησης ή ενός οργανισμού επιχειρήσεων, έχει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή της ανακύκλωσης με επιτυχία. Καθώς οι καταναλωτές απαιτούν πιο φιλικά προς το περιβάλλον προϊόντα, οι κατασκευαστές συνεχίζουν να καλύπτουν τη ζήτηση αυτή με την παραγωγή υψηλής ποιότητας ανακυκλωμένων προϊόντων.<sup>[19]</sup>

### Ιεραρχία Ανακύκλωσης



Εικόνα 5.6 Ιεραρχία Ανακύκλωσης.

### 5.2 Ταξινόμηση υλικών ανακύκλωσης

Μετά τη συλλογή των ανακυκλώσιμων υλικών, αυτά μεταφέρονται σε ειδική εγκατάσταση για να γίνει ανάκτηση των υλικών τους και μετά ταξινομούνται οι διάφοροι τύποι υλικών. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, υπάρχουν πάνω από τριακόσιες (300) εγκαταστάσεις όπου γίνεται η ανάκτηση υλικών.

Αυτό γίνεται σε μια σειρά σταδίων, όπου τα περισσότερα στάδια περιλαμβάνουν αυτοματοποιημένες διαδικασίες, έτσι ώστε ένα φορτίο υλικού να μπορεί να ταξινομηθεί πλήρως σε λιγότερο από μισή ώρα. Σε κάποιες εγκαταστάσεις τα υλικά ταξινομούνται αυτόματα και η ανακύκλωση ονομάζεται μονής ροής. Η αυτόματη ταξινόμηση μπορεί να βοηθηθεί από τον κλάδο της ρομποτικής και της μηχανικής μάθησης.

Αρχικά, τα υλικά που ανακυκλώνονται, απομακρύνονται από το όχημα που τα συλλέγει και τοποθετούνται σε μεταφορικές ταινίες. Μεγάλα κομμάτια όπως χαρτόνια και πλαστικές σακούλες αφαιρούνται με το χέρι σε αυτό το στάδιο, καθώς μπορούν να προκαλέσουν εμπλοκή στα μηχανήματα αργότερα.

Στη συνέχεια, αυτοματοποιημένα μηχανήματα όπως ειδικά διαμορφωμένοι δίσκοι και ταξινομητές αέρα διαχωρίζουν τα ανακυκλώσιμα υλικά κατά βάρος, χωρίζοντας το ελαφρύτερο χαρτί και το πλαστικό από το βαρύτερο γυαλί και το μέταλλο. Το χαρτόνι αφαιρείται από το μικτό χαρτί και συλλέγονται οι πιο συνηθισμένοι πλαστικών, PET (τερεφθαλμικό πολυαιθυλένιο) και HDPE (πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας).<sup>[12][22]</sup>



Εικόνα 5.7 Ειδικά διαμορφωμένο μηχανήμα με δίσκους, διαχωρισμού υλικών κατά βάρος.

Αυτός ο διαχωρισμός γίνεται συνήθως με το χέρι αλλά πλέον έχει γίνει αυτοματοποιημένος σε ορισμένα κέντρα ταξινόμησης όπως ένας φασματοσκοπικός σαρωτής χρησιμοποιείται για τη διαφοροποίηση μεταξύ διαφορετικών τύπων χαρτιού και πλαστικού με βάση τα απορροφούμενα μήκη κύματος και στη συνέχεια γίνεται εκτροπή του κάθε υλικού στο σωστό κανάλι συλλογής. Στα πλαστικά υπάρχει ασυμβατότητα μεταξύ τους λόγω διαφορών στη χημική τους σύσταση. Τα πολυμερή μόρια απωθούν το ένα το άλλο αντί να αναμειγνύονται, όπως συμβαίνει με το λάδι και το νερό.

Ισχυροί μαγνήτες χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό σιδηρούχων μετάλλων, όπως σιδήρου, χάλυβα και κασσίτερου. Τα μη σιδηρούχα μέταλλα εκτοξεύονται από μαγνητικά ρεύματα που δημιουργούνται από ένα μαγνητικό πεδίο και απωθούνται έξω από τη σειρά της ανακύκλωσης.



Τέλος το γυαλί ταξινομείται σύμφωνα με το χρώμα του, καφέ, πορτοκαλί, πράσινο ή διαυγές. Μπορεί να ταξινομηθεί είτε με το χέρι, είτε όπως αναφέρεται και παραπάνω μέσω αυτόματου μηχανήματος που χρησιμοποιεί φίλτρα για τη ανίχνευση διαφορετικών χρωμάτων. Τα γυάλινα θραύσματα τα οποία είναι μικρότερα από 10 χιλιοστά (mm), (0.39 ίντσες) δεν μπορούν να ταξινομηθούν αυτόματα και αναμειγνύονται μαζί.

Αυτή η διαδικασία ανακύκλωσης, καθώς και η επαναχρησιμοποίηση του ανακυκλωμένου υλικού έχει αποδειχθεί επωφελής επειδή μειώνει την ποσότητα των αποβλήτων που αποστέλλονται σε χώρους υγειονομικής ταφής, εξοικονομεί φυσικούς πόρους, εξοικονομεί ενέργεια, μειώνει τις εκπομπές αερίων και βοηθά ακόμη και στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας.<sup>[12]</sup>

### 5.3 Ανακυκλώσιμα υλικά και απόβλητα

Τα ανακυκλώσιμα υλικά περιλαμβάνουν πολλά είδη γυαλιού, χαρτιού, χαρτονιού, μετάλλου, πλαστικού, ελαστικών, υφασμάτων, μπαταριών αλλά και διάφορων ηλεκτρονικών. Η κομποστοποίηση ή άλλη επαναχρησιμοποίηση βιοαποικοδομήσιμων αποβλήτων, όπως τα απορρίμματα τροφίμων ή κήπων, είναι και αυτά ένα είδος ανακύκλωσης. Η ανακύκλωση ενός υλικού θα παρήγαγε μια νέα τροφοδοσία του ίδιου υλικού, για παράδειγμα, ένα μεταχειρισμένο χαρτί που προέρχεται από ένα γραφείο θα μετατραπεί σε ένα νέο χαρτί ή θα χρησιμοποιηθεί ως αφρός πολυστυρενίου. Αυτό επιτυγχάνεται κατά την ανακύκλωση ορισμένων τύπων υλικών, όπως μεταλλικών κουτιών, τα οποία μπορούν να επαναχρησιμοποιούνται συνεχώς, χωρίς την απώλεια των ιδιοτήτων τους.

Ωστόσο, αυτό είναι δύσκολο κάποιες φορές ή πολύ ακριβό (σε σύγκριση με την παραγωγή του ίδιου προϊόντος από πρώτες ύλες ή άλλες πηγές), οπότε η ανακύκλωση πολλών προϊόντων ή υλικών συνεπάγεται την επαναχρησιμοποίησή τους στην παραγωγή διαφορετικών υλικών.<sup>[12]</sup>



Εικόνα 5.8

Ανακυκλώσιμα υλικά και απόβλητα.

Σε παρακάτω κεφάλαιο αναφέρεται η ανακύκλωση των πλαστικών υλικών μιας πολύ μεγάλης κατηγορίας υλικών που ανακυκλώνονται. Στον πίνακα φαίνεται μια ομάδα διάφορων άλλων υλικών τα οποία μπορούν να ανακυκλωθούν σύμφωνα με τον Ελληνικό Οργανισμό Ανακύκλωσης (Ε.Ο.ΑΝ.).<sup>[22]</sup>

Ομάδα Υλικών	Υλικό
Χαρτί	Βιβλία
	Έντυπα, εφημερίδες, περιοδικά
	Σακούλες χάρτινες
	Χαρτί A4
Γυαλί	Κουιά χάρτινα από γάλα, κουτιά πίτσας, κλπ, καθαρά (χωρίς υπολείμματα τροφών ή υγρών)
	Βαζάκια τροφίμων
	Μπουκάλια ποτών
	Μέταλλο, Λευκοσίδηρος, Αλουμίνιο
Πλαστικό	Δοχεία ελαιόλαδου, φέτας, κλπ.
	Αλουμινένια κουτάκια μύρας, αναψυκτικών, κλπ.
	Γάλα εβαπορέ, Κονσέρβες διάφορες (καθαρές)
	Κεσεδάκια από γιαούρτι, βούτυρο, κλπ (καθαρά)
Βιοαπόβλητα	Μπουκάλια νερού, αναψυκτικών
	Μπουκάλια από σαμπουάν
	Μπουκάλια από γάλα
	Πλαστικά ταψάκια και τάπερ
	Πλαστικές θήκες
	Πλαστικές θήκες CD/DVD
Εξοπλισμός ανταλλαγής θερμότητας	Πλαστικές σακούλες
	Οργανικά υλικά κουζίνας, κλπ.
Οθόνες και εξοπλισμός που περιέχει οθόνες με επιφάνεια μεγαλύτερη των 100 cm <sup>2</sup>	Ψυγεία, καταψύκτες, μηχανήματα αυτόματης διανομής προϊόντων σε ψύξη, συσκευές κλιματισμού, συσκευές αφύγρανσης, αντλίες θέρμανσης, θερμάστρες που περιέχουν λάδι και άλλες συσκευές ανταλλαγής θερμότητας που χρησιμοποιούν ρευστά πλην του νερού για την ανταλλαγή θερμότητας
Οθόνες και εξοπλισμός που περιέχει οθόνες με επιφάνεια μεγαλύτερη των 100 cm <sup>2</sup>	Οθόνες, τηλεοράσεις, κορνίζες LCD, φορητοί υπολογιστές (laptops), μικρού μεγέθους φορητοί υπολογιστές (notebooks)
Λαμπτήρες	Ευθείς λαμπτήρες φθορισμού, συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού (compact), λαμπτήρες φθορισμού, λαμπτήρες εκκενώσεως υψηλής έντασης, συμπεριλαμβανομένων των λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης και των λαμπτήρων αλογονούχων μετάλλων, λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης, λαμπτήρες LED

<p>Μεγάλου μεγέθους εξοπλισμός (οποιαδήποτε εξωτερική διάσταση μεγαλύτερη από 50 cm)</p>	<p>Πλυντήρια ρούχων, στεγνωτήρια ρούχων, πλυντήρια πιάτων, συσκευές μαγειρικής, ηλεκτρικές κουζίνες, ηλεκτρικά μάτια, φωτιστικά είδη, εξοπλισμός αναπαραγωγής ήχου και εικόνων, μουσικός εξοπλισμός (εξαιρουμένων των εκκλησιαστικών οργάνων), συσκευές χρησιμοποιούμενες για πλέξιμο και ύφανση, μεγάλοι υπολογιστές (mainframes), μεγάλες μηχανές εκτύπωσης, φωτοαντιγραφικά μηχανήματα, κερματοδέκτες τυχερών παιχνιδιών, μεγάλες ιατρικές συσκευές, μεγάλα όργανα παρακολούθησης και ελέγχου, μεγάλα μηχανήματα αυτόματης διανομής προϊόντων και χρημάτων, φωτοβολταϊκά πλαίσια (panels).</p>
<p>Μικρού μεγέθους εξοπλισμός (καμιά εξωτερική διάσταση μεγαλύτερη από 50 cm)</p>	<p>Ηλεκτρικές σκούπες, σκούπες χαλιών, συσκευές ραπτικής, φωτιστικά είδη, φούρνοι μικροκυμάτων, ανεμιστήρες, ηλεκτρικά σίδερα, φρυγανιέρες, ηλεκτρικά μαχαίρια, ηλεκτρικοί βραστήρες, ρολόγια, ηλεκτρικές ξυριστικές μηχανές, ζυγαριές, συσκευές περιποίησης μαλλιών και σώματος, αριθμομηχανές, ραδιόφωνα, κάμερες μαγνητοσκόπησης (βιντεοκάμερες), μαγνητοσκόπια (συσκευές αναπαραγωγής εικόνας), συσκευές ηχογράφησης υψηλής πιστότητας (hi-fi), μουσικά όργανα, εξοπλισμός αναπαραγωγής ήχου και εικόνων, ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά παιχνίδια, αθλητικός εξοπλισμός, υπολογιστές για ποδηλασία, καταδύσεις, τρέξιμο, κωπηλασία κλπ., ανιχνευτές καπνού, συσκευές θερμορύθμισης, θερμοστάτες, μικρά ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά εργαλεία, μικρές ιατρικές συσκευές, μικρά όργανα παρακολούθησης και ελέγχου, μικρά μηχανήματα αυτόματης διανομής προϊόντων, μικρές συσκευές με ενσωματωμένα φωτοβολταϊκά πλαίσια</p>
<p>Μικρού μεγέθους εξοπλισμός πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών (καμιά εξωτερική διάσταση μεγαλύτερη από 50cm)</p>	<p>Κινητά τηλέφωνα, GPS, αριθμομηχανές τσέπης, δρομολογητές (routers), προσωπικοί υπολογιστές, εκτυπωτές, τηλέφωνα.</p>
<p>Μπαταρίες</p>	<p>Μολύβδου – θειϊκού οξέως (βιομηχανικές, αυτοκινήτων)</p>
	<p>Φορητές (μίας χρήσης, αλκαλικές, λιθίου, επαναφορτιζόμενες, κουμπιά)</p>
<p>Αυτοκίνητα</p>	<p>Παλιά οχήματα</p>
	<p>Ελαστικά αυτοκινήτων</p>
	<p>Απόβλητα λιπαντικών ελαίων</p>

Πίνακας 5

Ομάδα υλικών που ανακυκλώνονται σύμφωνα με τον Ε.Ο.ΑΝ.

### 5.3.1 Ανακύκλωση βιομηχανικών αποβλήτων

Τα βιομηχανικά απόβλητα είναι τα απόβλητα που παράγονται από τη βιομηχανική δραστηριότητα και περιλαμβάνουν οποιοδήποτε υλικό που καθίσταται άχρηστο κατά τη διάρκεια μιας κατασκευής, όπως αυτής των εργοστασίων, των ελαιοτριβείων και των εξορυκτικών εργασιών.



Εικόνα 5.9 Βιομηχανικά απόβλητα.

Οι τύποι βιομηχανικών αποβλήτων περιλαμβάνουν χαλίκια, τοιχοποιία και σκυρόδεμα, θραύσματα μετάλλων, λάδι, διαλύτες, χημικά, απορρίμματα ξυλείας ακόμη και φυτικά υλικά. Μπορεί να είναι στερεά, ημιστερεά ή σε υγρή μορφή. Μπορεί επίσης να είναι επικίνδυνα (ορισμένα τοξικά) ή μη επικίνδυνα απόβλητα. Ενδέχεται να μολύνουν το περιβάλλον το κοντινό έδαφος ή τα παρακείμενα υδάτινα σώματα και τα υπόγεια, τις λίμνες, τα ρυάκια, τα ποτάμια ή τα παράκτια ύδατα.

Τα βιομηχανικά απόβλητα αναμειγνύονται συχνά σε αστικά απόβλητα, καθιστώντας δύσκολη την ακριβή αξιολόγησή τους. Τα επικίνδυνα απόβλητα, τα χημικά, τα βιομηχανικά στερεά και τα αστικά στερεά απόβλητα είναι ταξινομήσεις των αποβλήτων που χρησιμοποιούνται από κυβερνήσεις σε διαφορετικές χώρες.

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων μπορούν να επεξεργάζονται ορισμένα βιομηχανικά απόβλητα, δηλαδή εκείνα που αποστέλλονται από συμβατικούς ρύπους, όπως το βιοχημικό οξυγόνο (BOD) (ποσότητα διαλυμένου οξυγόνου, που απαιτείται από τους αερόβιους βιολογικούς οργανισμούς για τη διάσπαση οργανικού υλικού που υπάρχει σε ένα δεδομένο δείγμα νερού).

Τα βιομηχανικά απόβλητα που περιέχουν τοξικούς ρύπους ή υψηλές συγκεντρώσεις άλλων ρύπων (όπως η αμμωνία) απαιτούν εξειδικευμένα συστήματα επεξεργασίας. Τα βιομηχανικά απόβλητα μπορούν να ταξινομηθούν βάσει των χαρακτηριστικών τους σε:

- Απόβλητα σε στερεή μορφή, αλλά ορισμένοι ρύποι εντός υγρής ή ρευστής μορφής, π.χ. βιομηχανία πιάτων ή πλύσης ορυκτών ή άνθρακα.
- Διαλυμένα απόβλητα και ο ρύπος να είναι σε υγρή μορφή, π.χ. η γαλακτοκομική βιομηχανία.



Όταν γίνεται επεξεργασία των βιομηχανικών αποβλήτων, αυτά μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν ή να απελευθερωθούν σε αποχετεύσεις ή σε επιφανειακά ύδατα στο περιβάλλον. Η πιο συχνή χρήση επεξεργασμένων αποβλήτων αφορά τις αγροτικές εφαρμογές, όπως π.χ. το νερό που από την επεξεργασία των αποβλήτων, χρησιμοποιείται για την άρδευση, σε ορισμένες περιπτώσεις. Στη βιομηχανία οι κυριότερες χρήσεις του νερού από την επεξεργασία υγρών αποβλήτων είναι στην ψύξη, στη μεταποίηση και τη βαριά βιομηχανία.

Τα βιοδιασπάσιμα απόβλητα, όπως τα υπολείμματα τροφίμων ή τα απόβλητα κήπων, είναι επίσης ανακυκλώσιμα με τη βοήθεια μικροοργανισμών μέσω της λιπασματοποίησης (επαναχρησιμοποίηση σε λιπάσματα μετά από επεξεργασία).<sup>[13]</sup>

### 5.3.2 Ανακύκλωση ηλεκτρονικών αποβλήτων

Τα ηλεκτρονικά απόβλητα αποτελούνται από απορριφθείσες ηλεκτρικές ή ηλεκτρονικές συσκευές. Τα χρησιμοποιημένα ηλεκτρονικά προορίζονται για ανακαίνιση, επαναχρησιμοποίηση, μεταπώληση, ανακύκλωση διάσωσης μέσω ανάκτησης υλικών.

Η ανακύκλωση είναι ουσιαστικό στοιχείο της διαχείρισης ηλεκτρονικών αποβλήτων. Η σωστή εκτέλεση, θα πρέπει να μειώνει σημαντικά τη διαρροή τοξικών υλικών στο περιβάλλον και να μετριάσει την εξάντληση των φυσικών πόρων. Ωστόσο, λιγότερο από το 20% των ηλεκτρονικών αποβλήτων ανακυκλώνεται επισήμως, με το 80% είτε να καταλήγει σε χώρους υγειονομικής ταφής ή να ανακυκλώνεται ανεπίσημα.



Εικόνα 5.10 Ηλεκτρονικά απόβλητα.

Τρόποι επεξεργασίας των ηλεκτρονικών απορριμμάτων είναι η τήξη, η καύση και η έκπλυση οξέων με το διαχωρισμό μετάλλων αξίας. Η συμβατική μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι μηχανικός τεμαχισμός και διαχωρισμός, όμως η απόδοση ανακύκλωσης είναι χαμηλή. Εναλλακτικές μέθοδοι όπως η κρυογονική (συμπεριφορά υλικών σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες) αποσύνθεση έχουν μελετηθεί για ανακύκλωση πλακέτας τυπωμένων κυκλωμάτων και ορισμένες άλλοι μέθοδοι που βρίσκονται σε ερευνητικό στάδιο.

Η σωστή απόρριψη των ηλεκτρονικών και η επαναχρησιμοποίηση μπορεί να βοηθήσει στην πρόληψη προβλημάτων υγείας, στη μείωση εκπομπών αερίων που βλάπτουν το περιβάλλον και δημιουργούν νέες θέσεις εργασίας. Η επαναχρησιμοποίηση και η ανακαίνιση προσφέρουν μια πιο φιλική προς το περιβάλλον και κοινωνικά συνειδητή εναλλακτική λύση έναντι των διαδικασιών ανακύκλωσης.<sup>[13]</sup>

### 5.3.3 Ανακύκλωση πλαστικών υλικών

Η ανακύκλωση πλαστικών είναι η διαδικασία ανάκτησης απορριμμάτων ή απορριμμάτων πλαστικών και επανεπεξεργασίας σε λειτουργικά και χρήσιμα προϊόντα. Ο στόχος της ανακύκλωσης του πλαστικού είναι να μειώσει τα υψηλά ποσοστά ρύπανσης ενώ παράλληλα γίνεται μικρότερη κατανάλωση στα παρθένα υλικά που χρησιμοποιούνται για να παράγουν ολοκαίνουρια πλαστικά προϊόντα. Αυτή η προσέγγιση βοηθά στη διατήρηση πόρων που εκτρέπει τα πλαστικά από χώρους υγειονομικής ταφής ή απρόβλεπτους προορισμούς, όπως ωκεανούς.



Εικόνα 5.11 Πλαστικά απόβλητα.

Τα πλαστικά είναι ανθεκτικά, ελαφριά και φθηνά υλικά. Μπορούν εύκολα να διαμορφωθούν σε διάφορα προϊόντα που βρίσκουν χρήσεις σε μια πληθώρα από εφαρμογές. Κάθε χρόνο, περισσότεροι από τετρακόσια είκοσι (420) εκατομμύρια τόνοι πλαστικών κατασκευάζονται σε όλον τον κόσμο. Κατά συνέπεια, η επαναχρησιμοποίηση, η ανάκτηση και η ανακύκλωση πλαστικών είναι πολύ σημαντικές διαδικασίες. Για ορισμένους τύπους πλαστικών, το ίδιο κομμάτι πλαστικού μπορεί να ανακυκλωθεί μόνο περίπου δύο με τρεις φορές πριν μειωθεί η ποιότητά του στο σημείο που δεν μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί.

Υπάρχουν λοιπόν έξι κοινοί τύποι πλαστικών. Παρακάτω φαίνονται μερικά προϊόντα που βρίσκονται για κάθε πλαστικό:

- **PS (Πολυστυρένιο):** κύπελλα αφρού ζεστών ροφημάτων, πλαστικά μαχαιροπίρουνα, δοχεία γιαουρτιού κ.α.
- **PP (Πολυπροπυλένιο):** κουτιά μεσημεριανού γεύματος, δοχεία φαγητού σε πακέτο, δοχεία παγωτού, κ.α.
- **LDPE (Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας):** κάδοι απορριμμάτων, σάκοι, κ.α.



- **PVC (Πλαστικοποιημένο χλωριούχο πολυβινύλιο ή χλωριούχο πολυβινύλιο):** μπουκάλια χυμού ή αποσπώμενα, κ.α.
- **HDPE (Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας):** δοχεία σαμπουάν ή μπουκάλια που περιέχουν γάλα, κ.α.
- **PET (Τερεφθαλμικό πολυαιθυλένιο):** δοχεία χυμού φρούτων και αναψυκτικών, κ.α.

Ορισμένοι τυπικοί τρόποι ανακύκλωσης πλαστικού αναφέρονται και περιγράφονται στην παρακάτω ροή του κειμένου:

Φυσική ανακύκλωση: Μερικά πλαστικά επαναδιαμορφώνονται για να σχηματίσουν νέα πλαστικά αντικείμενα. Για παράδειγμα, τα μπουκάλια νερού από PET μπορούν να μετατραπούν σε πολυεστέρα που προορίζεται για ρούχα. Ένα μειονέκτημα αυτού του τύπου ανακύκλωσης είναι ότι το μοριακό βάρος του πολυμερούς μπορεί να αλλάξει περαιτέρω και τα επίπεδα των ανεπιθύμητων ουσιών στο πλαστικό μπορούν να αυξηθούν.

Χημική ανακύκλωση: Ορισμένα πολυμερή, είναι εφικτό να μετατραπούν ξανά σε μονομερή, για παράδειγμα το PET μπορεί να κατεργαστεί με αλκοόλη και καταλύτη για να σχηματίσει ένα τερεφθαλμικό διαλκύλιο. Ο τερεφθαλμικός διεστέρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί με αιθυλενογλυκόλη για το σχηματισμό ενός πολυμερούς πολυεστέρα, καθιστώντας έτσι δυνατή τη χρήση του καθαρού πολυμερούς ξανά.

Πυρόλυση: Η πυρόλυση είναι μία από τις δύο κύριες διαδικασίες ανακύκλωσης πρώτων υλών. Στην πυρόλυση, υπάρχουν δύο διαφορετικές διαδικασίες, οι οποίες είναι η θερμική πυρόλυση και η καταλυτική πυρόλυση. Τα τελικά προϊόντα αυτών των διεργασιών είναι το υγρό λάδι, το πλούσιο σε υδρογονάνθρακα αέριο και ο άνθρακας.

Συγκριτικά με τη διαδικασία θερμικής πυρόλυσης, η διαδικασία καταλυτικής πυρόλυσης έχει την παρουσία ενός καταλύτη. Διαφορετικοί καταλύτες, όπως η καταλυτική πυρόλυση ρευστού (FCC) ή ο φυσικός ζεόλιθος (NZ) αναμιγνύονται με το δείγμα τροφοδοσίας στον αντιδραστήρα πυρόλυσης προκειμένου να βελτιωθεί το ποσοστό απόδοσης προϊόντος της καταλυτικής πυρόλυσης.<sup>[13]</sup>

#### 5.4 Ανακύκλωση στον κλάδο των πολυμερών υλικών

Ένας πιθανός στόχος για την ανακύκλωση πολυμερούς θα ήταν οποιαδήποτε διαδικασία που εκτρέπει το πολυμερές απόβλητο σε οποιοδήποτε μέρος ή χρήση, εκτός από χώρους υγειονομικής ταφής. Ωστόσο, ορισμένες επιλογές ανακύκλωσης μπορεί να είναι μακριά από τη βέλτιστη ή ακόμη και ανεπιθύμητη. Για παράδειγμα, εάν μια συγκεκριμένη μέθοδος εξάλειψης των πολυμερών αποβλήτων απαιτεί εξαιρετικά υψηλή κατανάλωση ενέργειας, αυτό μπορεί βασικά να είναι αντικαθιστώντας ένα περιβαλλοντικό πρόβλημα με ένα άλλο.

Ακόμα κι αν το περιβάλλον είναι υγιές, εάν η διαδικασία είναι πολύ ακριβή, θα είναι μια συνολική επιβάρυνση για τις οικονομικές συνθήκες και δεν είναι η πιο επιθυμητή λύση. Η ιδανική λύση θα ήταν και περιβαλλοντικά αποδεκτή και θα λειτουργούσε ιδανικά ως κερδοφόρα επιχείρηση, όπως και με την ανακύκλωση αλουμινίου. Όπως περιγράφεται στην επόμενη ενότητα, ωστόσο, η φύση των μακροσκοπικών υλικών παρουσιάζει ειδικές προκλήσεις για την αποτελεσματική ανακύκλωση με σημαντικές εξελίξεις στην τεχνολογία ανακύκλωσης.

Η ανακύκλωση υλικών είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει διαδικασίες στις οποίες η μακρομοριακή δομή διατηρείται βασικά ανέπαφη και το υλικό μεταμορφώνεται σε ένα νέο προϊόν. Μπορεί να γίνει κάποια τροποποίηση της μοριακής δομής ή και της μορφολογίας του υλικού που σκοπός είναι η βελτίωσης της απόδοσης. Εάν η ανακύκλωση υλικών μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά, αυτή είναι η πιο επιθυμητή προσέγγιση, δεδομένου ότι μπορεί να απαιτεί το ελάχιστο ποσό δαπάνης και ενέργειας αλλά και επεξεργασίας και ενδεχομένως θα έχει ως αποτέλεσμα ένα προϊόν με εύλογη αξία, πιθανότατα να πλησιάζει εκείνο του αρχικού αντικειμένου. Ωστόσο, είναι τεχνολογικά η πιο δύσκολη προσέγγιση.[29][28]

#### 5.4.1 Μελέτη μεθόδων ανακύκλωσης πολυμερών

Μετά από την προσπάθεια να μειωθούν τα απορρίμματα με λιγότερη κατανάλωση συσκευασιών, τα πολυμερή που τελικά απορρίπτονται από τους καταναλωτές στους κάδους πρέπει να συλλεχθούν και να διαχωριστούν από τα μη πολυμερή και κατά προτίμηση, να διαχωριστούν κατά είδος πολυμερούς.

Σημαντικός είναι ο διαχωρισμός και η απόρριψη με τα κοινά σκουπίδια των μη ανακυκλώσιμων πλαστικών, κυρίως των βιοαποικοδομήσιμων σακουλών που χρησιμοποιούνται τα τελευταία χρόνια από πολλά καταστήματα και δεν είναι ανακυκλώσιμες. Τα υπόλοιπα μετακαταναλωτικά πολυμερή μπορούν τότε να ανακυκλωθούν. Υπάρχουν τέσσερα επίπεδα (βαθμοί) ανακύκλωσης:

Πρωτογενής ανακύκλωση: η επαναχρησιμοποίηση του αντικειμένου (προϊόντος).

Μερικά πλαστικά γενικά μπορούν να συλλεχθούν, να πλυθούν και να ξαναγεμισθούν, όπου προσοχή χρειάζεται για τις προδιαγραφές καθαριότητας και αποστείρωσης για περιέκτες τροφίμων που είναι αυστηρές και μερικά πλαστικά μπορεί να μην αντέξουν τις απαιτούμενες θερμοκρασίες. Πρωτογενής ανακύκλωση γίνεται και για το απόβλητο στις βιομηχανίες μορφοποίησης πολυμερών.

Δευτερογενής ανακύκλωση: τα πλαστικά απορρίμματα πλένονται για να απομακρυνθούν ρύποι / ακαθαρσίες που πιθανόν να περιέχουν, κονιορτοποιούνται, λιώνονται και αναμορφοποιούνται σε νέα πλαστικά προϊόντα. Αυτή είναι μια επιτυχής τεχνολογία για πλαστικά που χρησιμοποιούνται σε μεγάλες ποσότητες – πολυαιθυλένια και PET. Π.χ τεράστιες ποσότητες πολυαιθυλενίου χρησιμοποιείται σε πλαστικές σακούλες και σε μπουκάλια υγρών σαπουνιών και τροφίμων.

Το υλικό αυτό ανακυκλώνεται σε σακούλες σκουπιδιών, σωλήνες και σακούλες καταστημάτων τροφίμων, φιλμ κάλυψης θερμοκηπίων, κ.λπ. Τα μπουκάλια αναψυκτικών και νερού αποτελούνται σχεδόν αποκλειστικά από PET, το οποίο ανακυκλώνεται στην παραγωγή στην παραγωγή μπουφάν από φλιν, ίνες, κ.λπ.. Ένα μπουφάν παράγεται από περίπου 50 μπουκάλια νερού.

Η δευτερογενής ανακύκλωση μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε θερμοπλαστικά πολυμερή, όχι σε θερμοσκληρυνόμενα. Προβλήματα μπορούν αν επέλθουν από πιθανές επιμολύνσεις στο υλικό και για αυτό τα ανακυκλωμένα πλαστικά δεν χρησιμοποιούνται συνήθως σε άμεση επαφή με τρόφιμα ή ποτά. Από τεχνολογική άποψη υπάρχουν δύο επιφυλάξεις: πρώτον τα πολυμερή είναι οργανικά υλικά και η αναθέρμανσή τους για την δευτερογενή ανακύκλωση μπορεί να οδηγήσει σε μερική αποσύνθεση και χειροτέρευση των ιδιοτήτων τους.

Δεύτερον, διαφορετικά πολυμερή δεν μπορούν να αναμειχθούν εύκολα και τα απλά κράματά τους παρουσιάζουν χειρότερες ιδιότητες από τα συστατικά τους. Καθώς υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι πολυμερών που χρησιμοποιούνται (και απορρίπτονται) τα απορρίμματα πρέπει να μπορούν να διαχωρίζονται και να ταυτοποιούνται ανά τύπο πολυμερούς, με ακρίβεια, με ταχύτητα και χαμηλό κόστος, ώστε η δευτερογενής ανακύκλωση να είναι οικονομικά κερδοφόρα ως διεργασία.

Τα ανακυκλωμένα πολυμερή (θερμοπλαστικά, θερμοσκληρυνόμενα και ελαστομερή) μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως ενίσχυση σε άλλα υλικά. Και εδώ χρειάζεται πλύσιμο και κονιορτοποίηση και κατόπιν το ένα πολυμερές αναμιγνύεται με το άλλο για να δράσει ως αδρανές ή αναμιγνύεται με ανόργανα υλικά (π.χ. τσιμέντο). Το κονιορτοποιημένο πολυμερές δεν πρέπει να έχει αρνητικές επιπτώσεις στις ιδιότητες του υλικού της μήτρας.

Οι κατασκευαστές του αφρού πολυουρεθάνης μπορούν με επιτυχία να κονιορτοποιούν τον αφρό από παλιά καθίσματα αυτοκινήτων και να τον ανακατεύουν ως πρόσθετο / ενίσχυση στον νέο αφρό για καινούρια καθίσματα. Αυτός ο τρόπος δευτερογενούς ανακύκλωσης χρησιμοποιείται για πολλά ελαστομερή και θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή που δεν μπορούν να λιώσουν και να αναμορφοποιηθούν.

Τριτογενής ανακύκλωση: από – πολυμερισμός προς μονομερή. Αυτή η επεξεργασία του πολυμερούς με κατάλληλα χημικά αντιδραστήρια ώστε να σπάσει το μακρομόριο στα μονομερή του (αποπολυμερισμός). Τα μονομερή αυτά καθαρίζονται και ανα-πολυμερίζονται για να σχηματίσουν νέα μη υποβαθμισμένα πολυμερή, έτοιμα για μορφοποίηση σε νέα προϊόντα. Πολλή έρευνα λαμβάνει χώρα για την τριτογενή ανακύκλωση θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών και ελαστομερών.

Η παραγωγή νέων πολυμερών με αποπολυμερισμό και ανα-πολυμερισμό των μονομερών δεν γίνεται προς το παρόν σε ευρεία βιομηχανική κλίμακα γιατί δεν είναι οικονομική ακόμα, καθώς απαιτεί συνήθως μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Η πυρόλυση είναι μια άλλη μέθοδος για το χημικό μετασχηματισμό των πολυμερών απορριμμάτων σε βιομηχανικά χρήσιμες χημικές ουσίες ή καύσιμα υψηλής ποιότητας και αξίας. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει τη θέρμανση μέρους των απορριμμάτων χρησιμοποιώντας την καύση των υπολοίπων ως πηγή ενέργειας.

Τεταρτογενής ανακύκλωση: καύση και ανάκτηση ενέργειας. Αυτή είναι η ελεγχόμενη καύση των πολυμερών απορριμμάτων σε ειδικά σχεδιασμένους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς και η χρήση της θερμογόνου δύναμής τους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αστικής τηλεθέρμανσης. Πολλές Ευρωπαϊκές χώρες χρησιμοποιούν αυτή τη μέθοδο για την ανακύκλωση των πολυμερών με ενεργειακές αποδόσεις έως 90%. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι τα πολυμερή παρήχθησαν από πετρέλαιο.

Τα περισσότερα πολυμερή έχουν θερμογόνο δύναμη υψηλότερη από τον άνθρακα. Με τη μέθοδο αυτή, λοιπόν, χρησιμοποιούνται τα πλαστικά προϊόντα και ως αποταμιευτές ενέργειας. Μετά τη ζωή τους ως πλαστικά προϊόντα ξαναπαράγεται η ενέργεια που θα παραγόταν αν καιγόταν το πετρέλαιο από το οποίο παρήχθησαν. Οι σύγχρονες μονάδες καύσης απορριμμάτων είναι απόλυτα ασφαλείς στην εκπομπή ρύπων καθώς λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες όπου η δημιουργία, π.χ. διοξινών δεν είναι δυνατή.[21][19][20]

#### 5.4.2 Κωδικοί αναγνώρισης ανακύκλωσης πολυμερών υλικών



Υπάρχουν επτά ομάδες πλαστικών πολυμερών, όπου η κάθε μία έχει συγκεκριμένες ιδιότητες, χρησιμοποιούνται παγκοσμίως για εφαρμογές συσκευασίες. Κάθε ομάδα πλαστικού πολυμερούς μπορεί να αναγνωριστεί με τον δικό του κωδικό αναγνώρισης (PIC), συνήθως έναν αριθμό ή μια συντομογραφία γραμμάτων.






Για παράδειγμα το πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας μπορεί να αναγνωριστεί με τον αριθμό «4» ή τα γράμματα “LDPE”. Το PIC εμφανίζεται μέσα σε ένα σύμβολο ανακύκλωσης με τρία βέλη. Το PIC εισήχθη από την εταιρία πλαστικών βιομηχανιών, το 1988, για να παρέχει ένα ομοιόμορφο σύστημα για την αναγνώριση διαφόρων τύπων πολυμερών και να βοηθήσει τις εταιρίες ανακύκλωσης να διαχωρίσουν διάφορα πλαστικά για επανεπεξεργασία.

Οι κατασκευαστές πλαστικών προϊόντων υποχρεούνται να χρησιμοποιούν ετικέτες PIC σε ορισμένες χώρες ανά περιοχές και μπορούν εθελοντικά να επισημάνουν τα προϊόντα τους με το PIC όπου δεν υπάρχουν απαιτήσεις. Ο τύπος πλαστικού που χρησιμοποιεί ένα αντικείμενο μπορεί να αναγνωριστεί με βάση κωδικούς που βρίσκονται συνήθως στη βάση ή στο πλάι, συμπεριλαμβανομένων των συσκευασιών και των δοχείων τροφίμων ή χημικών.

Οι περισσότεροι υποθέτουν ότι επειδή υπάρχει ένας κωδικός ρητίνης στο δοχείο, μπορεί να ανακυκλωθεί λόγω της ομοιότητάς του με το σύμβολο ανακύκλωσης. Ωστόσο, η ASTM International, ο τυπικός οργανισμός που είναι υπεύθυνος για το διεθνές σύμβολο δηλώνει ρητά ότι η χρήση του κωδικού αναγνώρισης ρητίνης σε κατασκευασμένο πλαστικό αντικείμενο δεν συνεπάγεται ότι το προϊόν είναι ανακυκλωμένο ή ότι υπάρχουν συστήματα για την αποτελεσματική επεξεργασία του, για αποκατάσταση ή επαναχρησιμοποίηση.

Παρακάτω εμφανίζεται ο πίνακας με κάποια παγκοσμίως γνωστά πολυμερή πλαστικά υλικά, με τους κωδικούς αναγνώρισης τους.<sup>[15]</sup>

Κωδικός αναγνώρισης	Τύπος πολυμερούς	Ιδιότητες	Κοινές εφαρμογές συσκευασίας	Θερμοκρασίες τήξης και υάλου (°C)
	Τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET, PETE)	Σαφήνεια, αντοχή, σκληρότητα, εμπόδιο στο αέριο και την υγρασία.	Μπουκάλια αναψυκτικών, νερού και σαλάτας, φυσικοβούτυρο και βάζα μαρμελάδας, καπάκια παγωτού μικρά μη βιομηχανικά ηλεκτρονικά.	Tm = 250 Tg = 76
	Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE)	Σκληρότητα, αντοχή στην υγρασία, διαπερατότητα στο αέριο.	Σωλήνες νερού, αγωγοί φυσικού αερίου και πυρκαγιάς, αγωγοί ηλεκτρικών και επικοινωνιών, δακτύλιοι χούλα χουπ, κουβάδες πέντε γαλονιών, γάλα, μπουκάλια χυμού και νερού, σακίδια παντοπωλείου, μερικά	Tm = 130 Tg = -125

			μπουκάλια σαμπουάν / καλλωπισμού.	
	Χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC)	Ευελιξία, ευκολία ανάμειξης, αντοχή, σκληρότητα.	Συσκευασία κυψέλης για είδη εκτός τροφής. προσκόλληση ταινιών για χρήση εκτός τροφίμων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συσκευασίες τροφίμων με την προσθήκη των πλαστικοποιητών που απαιτούνται για να καταστήσει το εύκαμπτο PVC άκαμπτο. Οι χρήσεις εκτός συσκευασίας είναι ηλεκτρική μόνωση καλωδίων, άκαμπτες σωληνώσεις και δίσκους βινυλίου.	Tm = 240 Tg = 85
	Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LDPE)	Ευκολία επεξεργασίας, αντοχή, σκληρότητα, ευελιξία, ευκολία στεγανοποίησης, εμπόδιο στην υγρασία.	Κατεψυγμένες τσάντες τροφίμων συμπιέσιμα μπουκάλια, π.χ. μέλι, μουστάρδα. Φιλμ, εύκαμπτα καπάκια δοχείου	Tm = 120 Tg = -125
	Πολυπροπυλένιο (PP)	Αντοχή, αντοχή στη θερμότητα σκληρότητα, χημικό, γράσο και λάδι, ευπροσάρμοστο, εμπόδιο στην υγρασία.	Επαναχρησιμοποιήσιμα είδη μικροκυμάτων μαγειρικά σκεύη; δοχεία γιαουρτιού, μαργαρίνης, δοχεία για φούρνο μικροκυμάτων μιας χρήσης, ποτήρια μιας χρήσης.	Tm = 173 Tg = -10
	Πολυστυρένιο (PS)	Ευελιξία, σαφήνεια, εύκολα διαμορφωμένη.	Κουτιά αυγών συσκευασία φυσικιών ποτήρια μίας χρήσης, πιάτα, δίσκοι και μαχαιροπήρουνα. δοχεία αναλώσιμης χρήσης.	Tm = 240 (μόνο ισοτακτικό) Tg = 100 (ατακτικό και ισοτακτικό)
	Άλλο (συχνά πολυανθρακικό ή ABS)	Εξαρτάται από πολυμερή ή από συνδυασμό πολυμερών.	Μπουκάλια ποτών, μπουκάλια γάλακτος μωρού. Χρήσεις μη συσκευασίας για πολυανθρακικό, συμπαγείς δίσκους, τζάμια «άθραυστα», περίβλημα ηλεκτρονικών συσκευών, φακούς (συμπεριλαμβανομένων των γυαλιών ηλίου),	Πολυανθρακικό: Tg = 145 Tm = 225

			γυαλιά οράσεως, προβολείς αυτοκινήτων, πίνακες οργάνων.	
--	--	--	--	--

Πίνακας 6

Κωδικοί αναγνώρισης πολυμερών υλικών σε συνδυασμό με τη χρησιμότητά τους.

## 6. Ο πολυμερισμός στη βιομηχανία και την οικονομία

Η βιομηχανία των πλαστικών κατασκευάζει πολυμερή υλικά, συνήθως αποκαλούμενα ως πλαστικά και προσφέρει υπηρεσίες που είναι πολύ σημαντικές για μια σειρά βιομηχανιών, όπως συσκευασίες, κτίρια και κατασκευές, ηλεκτρονικά, αεροδιαστημικά και μεταφορές. Είναι μέρος της χημικής βιομηχανίας, καθώς το ορυκτέλαιο είναι το κύριο συστατικό των πλαστικών και θεωρείται ως μέρος της βιομηχανίας των πετροχημικών.

Εκτός από την παραγωγή πλαστικών, η μηχανική πλαστικών αποτελεί σημαντικό μέρος του βιομηχανικού τομέα. Το τελευταίο πεδίο κυριαρχείται από τα πλαστικά μηχανικής ως πρώτη ύλη, επειδή έχουν καλύτερες μηχανικές και θερμικές ιδιότητες, από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα πλαστικά του εμπορίου.

Η παραγωγή πολυμερών είναι ένας από τους πιο σημαντικούς τομείς της εφαρμοσμένης χημείας, λόγω του σημαντικού οικονομικού και κοινωνικού αντίκτυπου. Τα πολυμερή ως υλικά υπάρχουν σχεδόν σε κάθε τομέα της ανθρώπινης δραστηριότητας. Περιλαμβάνονται από βασικά υλικά, όπως πολυαιθυλένιο ή PVC (πολυβινυλοχλωρίδιο), έως και εξαιρετικά εξειδικευμένα και ακριβά υλικά για απελευθέρωση φαρμάκων ή εφαρμογές που σχετίζονται με τον διαστημικό τομέα.<sup>[28]</sup>

Η οικονομία σχετικά με την επεξεργασία των πλαστικών καθορίζεται ανάλογα με τον τύπο της διαδικασίας. Τα πλαστικά μπορούν να υποστούν επεξεργασία με τις ακόλουθες μεθόδους: μηχανική κατεργασία, χύτευση με συμπίεση, χύτευση με μεταφορά, χύτευση με έγχυση, εξώθηση, περιστροφική χύτευση, χύτευση με εμφύσηση – χτύπημα, θερμοδιαμόρφωση - θερμοσχηματισμό, απλή χύτευση, σφυρηλάτηση και χύτευση αφρού.

Οι μέθοδοι επεξεργασίας επιλέγονται με βάση το κόστος εξοπλισμού, το ρυθμό παραγωγής, το κόστος εργαλείων και τον όγκο κατασκευής. Οι μέθοδοι υψηλού εξοπλισμού και κόστους εργαλείων χρησιμοποιούνται συνήθως για μεγάλους όγκους παραγωγής, ενώ οι μέθοδοι χαμηλού μεσαίου εξοπλισμού και κόστους εργαλείων χρησιμοποιούνται για χαμηλούς όγκους παραγωγής.

Η χύτευση με συμπίεση, με μεταφορά, με έγχυση, η σφυρηλάτηση και η χύτευση με αφρό έχουν υψηλό κόστος εξοπλισμού και εργαλείων. Οι διαδικασίες χαμηλότερου κόστους είναι η κατεργασία, η εξώθηση, η περιστροφική χύτευση, η χύτευση με χτύπημα, η θερμοδιαμόρφωση και η απλή χύτευση.

Παρακάτω αναφέρονται περιγραφικά κάποιες πτυχές και κόστη ανάλογα την επεξεργασία που γίνεται στα πλαστικά. Παραδείγματος χάριν σχετικά με τα αποικοδομήσιμα πλαστικά, τα οποία αναλύονται εκτενέστερα σε παρακάτω κεφάλαιο, είναι τα πλαστικά που έχουν ως βάση το πετρέλαιο σε συνδυασμό με διάφορα πρόσθετα, όπως μέταλλα μετάπτωσης και άλατα μετάλλων, προωθούν τη διαδικασία κατακερματισμού του πλαστικού όταν εκτίθεται σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον, όπως είναι σε υψηλές θερμοκρασίες ή πλούσιο σε οξυγόνο και με τον τρόπο αυτό παρατείνεται η χρονική περίοδος.



Ο κατακερματισμός εκθέτει μια μεγαλύτερη επιφάνεια του πλαστικού σε αποικίες βακτηρίων που τελικά αποσυνθέτουν το πολυμερές σε συστατικά χαμηλότερης ενεργειακής κατάστασης: διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Ορισμένες λοιπόν, πτυχές που πρέπει να ληφθούν υπόψη σχετικά με αυτήν τη μέθοδο απόρριψης πλαστικών στο τέλος του κύκλου ζωής τους είναι:

- Ο τύπος του πολυμερούς.
- Περιβαλλοντικές συνθήκες: ο χρόνος κατακερματισμού / υποβάθμισης ποικίλλει ανάλογα με τις συνθήκες που δεν είναι πάντα ελεγχόμενες.
- Δυνατότητα ανακύκλωσης υλικού: αυτό το χαρακτηριστικό τίθενται σε κίνδυνο, καθώς η αντοχή του πολυμερούς επηρεάζεται από τα πρόσθετα που επιταχύνουν τον κατακερματισμό.

Σημαντικές οικονομικές πτυχές που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την απόρριψη αποικοδομήσιμων πολυμερών περιλαμβάνουν:

- Κόστος υγειονομικής ταφής αποβλήτων: Εάν τα πλαστικά αντιπροσωπεύουν σημαντικό ποσοστό αποβλήτων σε μια συγκεκριμένη περιοχή, η κατασκευή πλαστικών με βιοαποικοδομήσιμες ιδιότητες μπορεί να είναι κερδοφόρα και οικολογικά φιλική από την απλή διάθεση ενός μη αποικοδομήσιμου πλαστικού. Με τη χρήση αποικοδομήσιμων πολυμερών, μπορεί να αποφευχθεί το κόστος λόγω μεταφοράς αποβλήτων, συντήρησης υγειονομικής ταφής, νέων εκσκαφών υγειονομικής ταφής και ελέγχου περιβαλλοντικών κινδύνων.
- Χαμένο δυναμικό πλαστικό στο τέλος του κύκλου ζωής του: Διεργασίες όπως η ανάκτηση ενέργειας του πλαστικού με αποτέφρωση ή βιολογική επεξεργασία και ανάκτηση υλικών με ανακύκλωση πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγηση της σκοπιμότητας κατασκευής αποικοδομήσιμων πολυμερών.

Άλλη πτυχή σχετικά με το κόστος είναι η εφαρμογή επαναχρησιμοποιημένων πλαστικών δοχείων που προκύπτει ως συνέπεια ανησυχιών σχετικά με τη βιωσιμότητα και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η χρήση ανακυκλώσιμων πλαστικών συσκευασιών είναι επωφελής για το περιβάλλον αλλά είναι πιο ακριβή.

Η υιοθέτηση επαναχρησιμοποιήσιμων πλαστικών εμπορευματοκιβωτίων θα ισοδυναμεί κατά προσέγγιση με την ετήσια αύξηση των 0,058 € / kg των παραδοθέντων αγαθών. Το κόστος που σχετίζεται με επαναχρησιμοποιήσιμα πλαστικά δοχεία είναι το κόστος αγοράς συσκευασιών, το κόστος μεταφοράς, το κόστος εργασίας / χειρισμού, το κόστος διαχείρισης και το κόστος που προκύπτει από απώλειες.

Το κόστος αγοράς συσκευασιών περιλαμβάνει το κόστος των εμπορευματοκιβωτίων, καθώς και κάθε σχετικό κόστος υπηρεσίας. Αυτό το κόστος επαναλαμβάνεται, αλλά ισχύει μόνο μία φορά κάθε 50 κύκλους, που είναι η τυπική διάρκεια ζωής των επαναχρησιμοποιήσιμων πλαστικών δοχείων.

Ένας κύκλος αποτελείται από τα αρχικά στάδια επεξεργασίας πλαστικών δοχείων μέχρι τη χρήση και την ανακύκλωση αυτών των δοχείων από τους καταναλωτές. Το κόστος μεταφοράς είναι ελαφρώς υψηλότερο για επαναχρησιμοποιήσιμα πλαστικά δοχεία σε σύγκριση με την παραδοσιακή χρήση και τα απορριφθέντα πλαστικά δοχεία στο ότι αυτά χρειάζονται επιπλέον μεταφορά σε εγκαταστάσεις ανακύκλωσης.

Τα επαναχρησιμοποιήσιμα πλαστικά δοχεία απαιτούν και ποιοτικό έλεγχο, γεγονός που προσθέτει επιπλέον κόστος εργασίας. Το κόστος διαχείρισης υπάρχει επειδή πρέπει να γίνεται διαχείριση του αριθμού αποθεμάτων αυτών των δοχείων. Το τελικό κόστος των επαναχρησιμοποιήσιμων πλαστικών δοχείων είναι το κόστος που προκύπτει όταν χαθούν τα πακέτα ή υπάρχουν σφάλματα στο σύστημα διαχείρισης.

Και μία τελευταία πτυχή αναφέρεται στην καύση των πλαστικών. Η ανακύκλωση πλαστικών παρουσιάζει τη δυσκολία χειρισμού των μικτών πλαστικών, καθώς τα μη αναμεμιγμένα πλαστικά είναι συνήθως απαραίτητα για τη διατήρηση των επιθυμητών ιδιοτήτων. Η ανάμειξη πολλών πλαστικών έχει ως αποτέλεσμα μειωμένες ιδιότητες υλικού, με ακόμη και λίγο τοις εκατό του πολυπροπυλενίου αναμεμιγμένο με πολυαιθυλένιο, το πλαστικό που παράγεται έχει σημαντικά μειωμένη αντοχή σε εφελκυσμό.

Μια εναλλακτική λύση για την ανακύκλωση αυτών των πλαστικών και εκείνων που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν εύκολα, όπως οι θερμοστάτες, είναι η χρήση αποικοδόμησης για τη διάσπαση των πολυμερών σε μονομερή χαμηλού μοριακού βάρους. Τα προϊόντα αυτή της διαδικασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή πολυμερών υψηλής ποιότητας, αλλά η ενέργεια που αποθηκεύεται στους δεσμούς του πολυμερούς χάνεται κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας.

Επίσης μια εναλλακτική λύση οικονομικά καλή για την απόρριψη των πλαστικών είναι το κάψιμο σε έναν αποτεφρωτήρα. Υπάρχουν αποτεφρωτές ικανοί να καίνε καθαρά πολυμερή και ενώ απαιτούν σημαντική επένδυση κεφαλαίου, η παραγόμενη ενέργεια αντισταθμίζει το οικονομικό αντίκτυπο.

Επειδή τα περισσότερα πλαστικά παράγονται από πετρέλαιο, τα μόριά τους αποτελούνται αποκλειστικά ή κυρίως από άτομα άνθρακα, οξυγόνου και υδρογόνου. Με τον κατάλληλο σχεδιασμό, ένας αποτεφρωτήρας μπορεί να κάψει πλήρως αυτά τα πλαστικά επιτρέποντας την ανάκτηση ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στην αρχική πρώτη ύλη πετρελαίου, η οποία διαφορετικά θα διαφύγει κατά τη διάρκεια διαδικασιών όπως η αποδόμηση.<sup>[29]</sup>

## 6.1 Οφέλη και επίδραση της ανακύκλωσης πολυμερών στη βιομηχανία

Η ευελιξία των πλαστικών μπορεί να ικανοποιήσει σχεδόν οποιαδήποτε απαίτηση από σχεδιαστές και πελάτες. Τα πλαστικά είναι ελαφριά και ανθεκτικά και η ευελιξία τους στο χρώμα, την αφή και το σχήμα δίνει τεράστια πλεονεκτήματα μάρκετινγκ.

Τα πλαστικά αποτελούν μέρος της λύσης για τη διακοπή της αλλαγής του κλίματος. Η βιομηχανία πλαστικών καταναλώνει μόνο το 4 % της παγκόσμιας παραγωγής πετρελαίου ως πρώτη ύλη. Το υπόλοιπο χρησιμοποιείται για ενέργεια και μεταφορά. Η παραγωγή περισσότερων πλαστικών προϊόντων δεν είναι εντατική σε σύγκριση με μέταλλα, γυαλί και χαρτί.

Τα πλαστικά προϊόντα παίζουν σημαντικό ρόλο στην εξοικονόμηση ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας βασίζονται σε πλαστικά, όπως σωλήνες, ανεμογεννήτριες, ηλιακούς συλλέκτες. Μια πλαστική σακούλα ζυγίζει έξι φορές λιγότερο από τα εναλλακτικά υλικά.

Η πράξη της ανακύκλωσης πλαστικών μπορεί να κάνει μια σημαντική διαφορά και είναι ζωτικής σημασίας για τους καταναλωτές να κατανοηθεί η θετική επίδραση της ανακύκλωσης στο περιβαλλοντικό και οικονομικό πεδίο.

Με την κατάλληλη προσέγγιση ανακύκλωσης πλαστικών, οι επιχειρήσεις μπορούν να μειώσουν την παραγωγή επικίνδυνων αποβλήτων, να μειώσουν τα έξοδα για τη διαχείριση των αποβλήτων και να αποκομίσουν σημαντικά κέρδη από την πώληση ανακυκλωμένων προϊόντων που σταδιακά θα κερδίσουν μεγάλη ζήτηση σε διάφορες αγορές.

Παρακάτω ακολουθούν κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα της ανακύκλωσης των πλαστικών στον βιομηχανικό τομέα:

1. Μειώνεται η ρύπανση στα οικοσυστήματα: Τα αέρια για το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένας σημαντικός λόγος για τα αυξανόμενα επίπεδα ρύπανσης στο περιβάλλον. Αποτελούν τον κινητήριο παράγοντα πίσω από την κλιματική αλλαγή. Κατά την κατασκευή των πλαστικών, το πετρέλαιο καίγεται και παράγει τεράστια ποσότητα βλαβερών αερίων θερμοκηπίου. Οι βιομηχανίες των πλαστικών αντί να το κατασκευάζουν από την αρχή, το ανακυκλώνουν και συνεπώς μειώνουν έμμεσα τις εκπομπές των επικίνδυνων αυτών αερίων.

Τα πλαστικά απόβλητα εκτός από τη μόλυνση της γης, του νερού και του εδάφους με επιβλαβείς χημικές ουσίες, είναι επίσης υπεύθυνα για το θάνατο χιλιάδων ζώων στην ξηρά, στο νερό και στη θάλασσα λόγω της κατάποσης. Η ανακύκλωση αυτών των υλικών μειώνει επιπλέον την ποσότητα των πλαστικών απορριμμάτων. Αυτό με τη σειρά του μειώνει τη ρύπανση και σώζει πολλά ζωικά είδη ζωτικής σημασίας για την τροφική αλυσίδα.

2. Απαιτείται λιγότερη ενέργεια και διατηρούνται οι φυσικοί πόροι: Η κατασκευή πλαστικού από το μηδέν απαιτεί πολύ περισσότερη ενέργεια σε σύγκριση με την παραγωγή προϊόντων από ανακυκλωμένο πλαστικό. Η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άλλες σημαντικές απαιτήσεις στην οικονομία.

Επίσης, η διαδικασία κατασκευής απαιτεί φυσικούς πόρους όπως νερό, πετρέλαιο, φυσικό αέριο και άνθρακα ως πρώτη ύλη. Ως εκ τούτου, η ανακύκλωση πλαστικών εξοικονομεί πολύτιμους φυσικούς πόρους. Για παράδειγμα, το πετρέλαιο, το οποίο είναι ζωτικής σημασίας για την παραγωγή νέων πλαστικών προϊόντων είναι – περίπου το 40% της κατανάλωσης πετρελαίου και μπορεί να μειωθεί με απλή ανακύκλωση απορριμμένων και παλαιών απορριμμάτων πλαστικών.

3. Εξοικονόμηση χώρου υγειονομικής ταφής, που λόγω των αποβλήτων μειώνεται γρήγορα: Ο αυξανόμενος ανθρώπινος πληθυσμός σημαίνει ότι η κατοικήσιμη γη γίνεται ολοένα και πιο πολύτιμη κάθε ημέρα που περνά. Η σωστή διαχείριση αποβλήτων μέσω επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης πλαστικών μπορεί να εξοικονομήσει σημαντικό χώρο στους χώρους υγειονομικής ταφής. Με την ανακύκλωση 1 τόνου πλαστικού εξοικονομούνται 7,4 κυβικά μέτρα χώρου υγειονομικής ταφής.
4. Διευκόλυνση της ζήτησης για κατανάλωση ορυκτών καυσίμων: Εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου χρησιμοποιούνται για να τροφοδοτήσουν τη ζήτηση πλαστικών σε ένα μόνο έτος. Η ανακύκλωση πλαστικών είναι η πιο βιώσιμη επιλογή για τη μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων. Δεδομένου ότι το πετρέλαιο είναι ένας πεπερασμένος φυσικός πόρος, η ανακύκλωση πλαστικών και η ανάκτηση όσο το δυνατόν περισσότερων πρώτων υλών, η κατανάλωση πετρελαίου μπορεί να μειωθεί σημαντικά.

Εκτός αυτού, η ανακύκλωση πλαστικών εξοικονομεί επίσης την απαιτούμενη ενέργεια για την παραγωγή νέων υλικών. Ένας τόνος ανακυκλωμένου πλαστικού εξοικονομεί 7.200 kiloWatt / ώρες ηλεκτρικής ενέργειας ή περίπου αρκετή ενέργεια για να διευθύνει ένα νοικοκυριό για επτά μήνες, σύμφωνα με μελέτη του Πανεπιστημίου του Στάνφορντ.

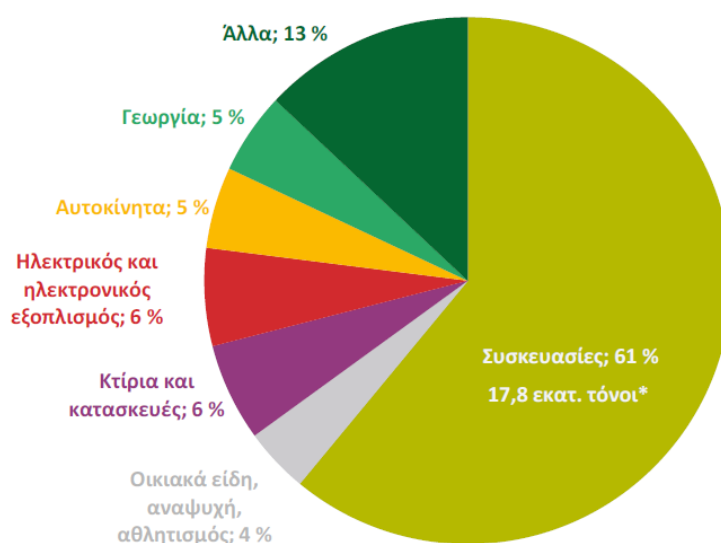
5. Προωθείται μια αειφόρος επιχείρηση τρόπου ζωής που επηρεάζει σημαντικά τον τρόπο ζωής των κοινοτήτων στις οποίες λειτουργούν: Εάν οι επιχειρήσεις συνεργάζονται με τους εσωτερικούς και εξωτερικούς τους ενδιαφερόμενους για την ευαισθητοποίηση και την προώθηση θετικών επιπτώσεων της επαναχρησιμοποίησης και της ανακύκλωσης πλαστικών, είναι υποχρεωμένες να επιφέρουν μια μεγάλη αλλαγή στην προστασία του περιβάλλοντος.<sup>[30]</sup>

## 7. Ερευνητικά στατιστικά αποτελέσματα από την ανακύκλωση πολυμερών υλικών

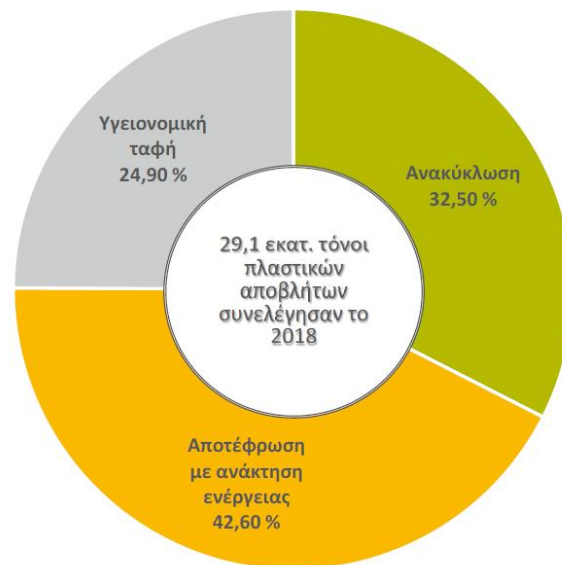
Τα γεγονότα που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο είναι μια ανάλυση των δεδομένων που σχετίζονται με την παραγωγή, τη ζήτηση και τα απόβλητα και τη διαχείριση πλαστικών υλικών ανά τα χρόνια. Οι συγκεκριμένες στατιστικές έρευνες παρέχονται από την πανευρωπαϊκή ένωση PlasticsEurope που εκπροσωπεί κατασκευαστές πλαστικών που δραστηριοποιούνται στην ευρωπαϊκή βιομηχανία πλαστικών.

Στατιστικά με τις παραγωγές των πολυμερών υλικών φαίνονται σε διάφορα γραφήματα σε συνδυασμό με τις χρονολογίες, τα ποσοστά και τα χρήματα τα οποία διατίθενται στην αγορά. Αναφέρονται διάφορες εκτιμήσεις από τον IOBE αλλά και από την Eurostat. Παρακάτω αναφέρονται και οι βιβλιογραφίες που αναγράφουν τα πνευματικά δικαιώματα για τη χρήση των γραφημάτων και των στατιστικών αυτών.

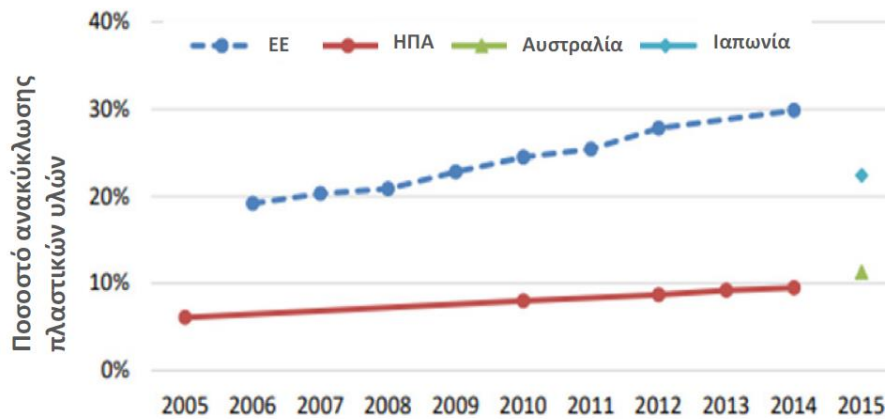
Για αυτό το λόγο επιλέχθηκε σε αυτήν την πτυχιακή εργασία να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα ανά τα χρόνια σχετικά με την ανακύκλωση των πολυμερών και την επίδραση στην οικονομία. Οι πληροφορίες αποτελούν μία επισκόπηση βασισμένη σε δημόσια διαθέσιμες πληροφορίες.<sup>[31][32][33][34]</sup>



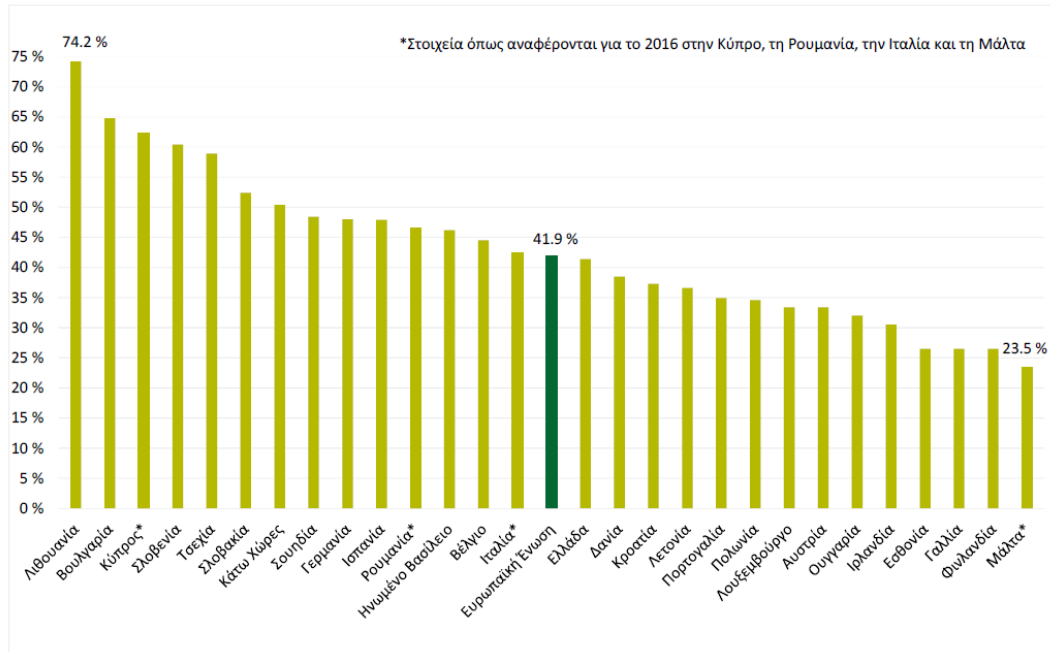
Γράφημα 1 Παραγωγή πλαστικών αποβλήτων ανά τομέα το έτος 2018 (βάσει των στοιχείων που αναφέρονται στο έγγραφο «A circular economy for plastics – A European Overview», PlasticsEurope, 2019) (Επισκόπηση αριθ. 04, Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο 2020).



Γράφημα 2 Τρόποι επεξεργασίας των πλαστικών αποβλήτων στην ΕΕ το έτος 2018 (βάσει στοιχείων του εγγράφου με τίτλο «Plastics – the Facts 2019», PlasticsEurope) (Επισκόπηση αριθ. 04, Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο 2020).



Γράφημα 3 Ποσοστά ανακύκλωσης των πλαστικών σε επιλεγμένες χώρες υψηλής οικονομίας (Σύμφωνα με το έγγραφο του ΟΟΣΑ 2018, «Improving Markets for Recycled Plastics: Trends, Prospects and Policy Responses», OECD Publishing, Paris) (Επισκόπηση αριθ. 04, Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο 2020).



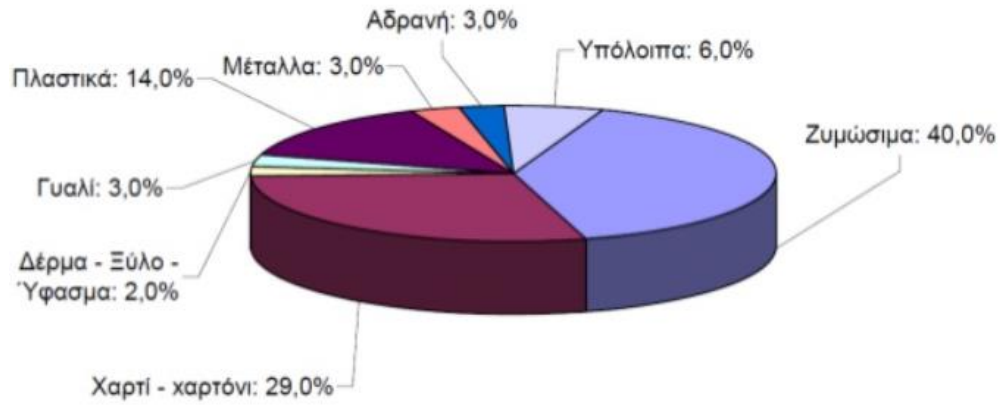
**Γράφημα 4** Καταγεγραμμένα ποσοστά ανακύκλωσης πλαστικών συσκευασιών το έτος 2017 (βάσει στοιχείων της Eurostat) (Επισκόπηση αριθ. 04, Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο 2020).



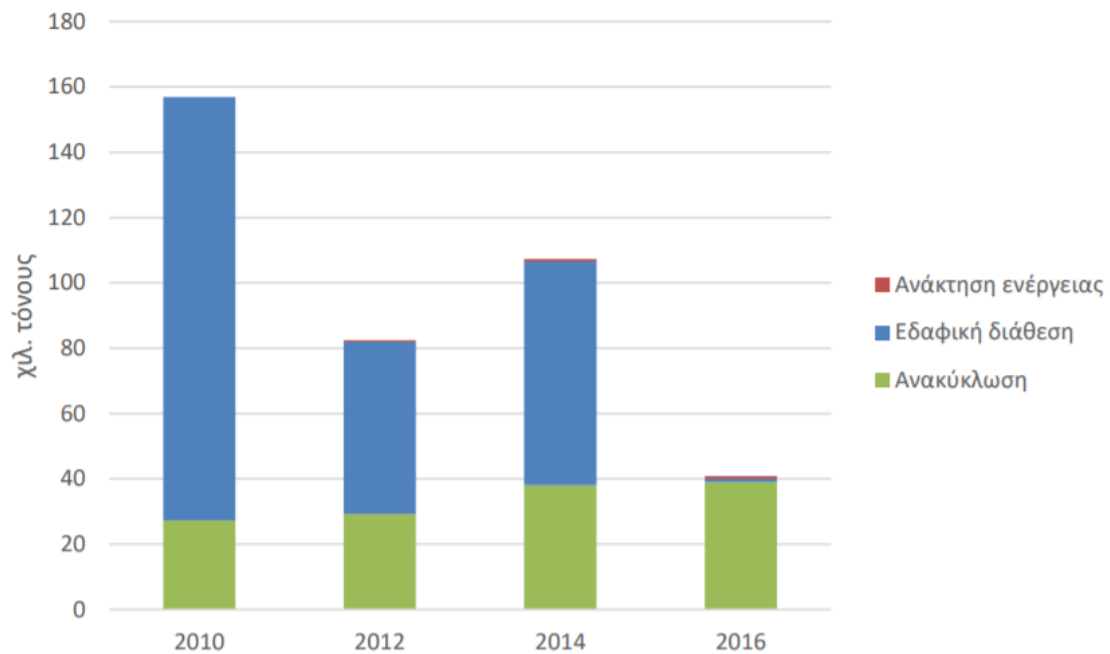
**Γράφημα 5** Παραγωγή και ανακύκλωση απορριμμάτων πλαστικών συσκευασιών (βάσει στοιχείων της Eurostat) (Επισκόπηση αριθ. 04, Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο 2020).

Στην Ελλάδα το πλαστικό καταλαμβάνει το 14% των απορριμμάτων σε γενικό επίπεδο.

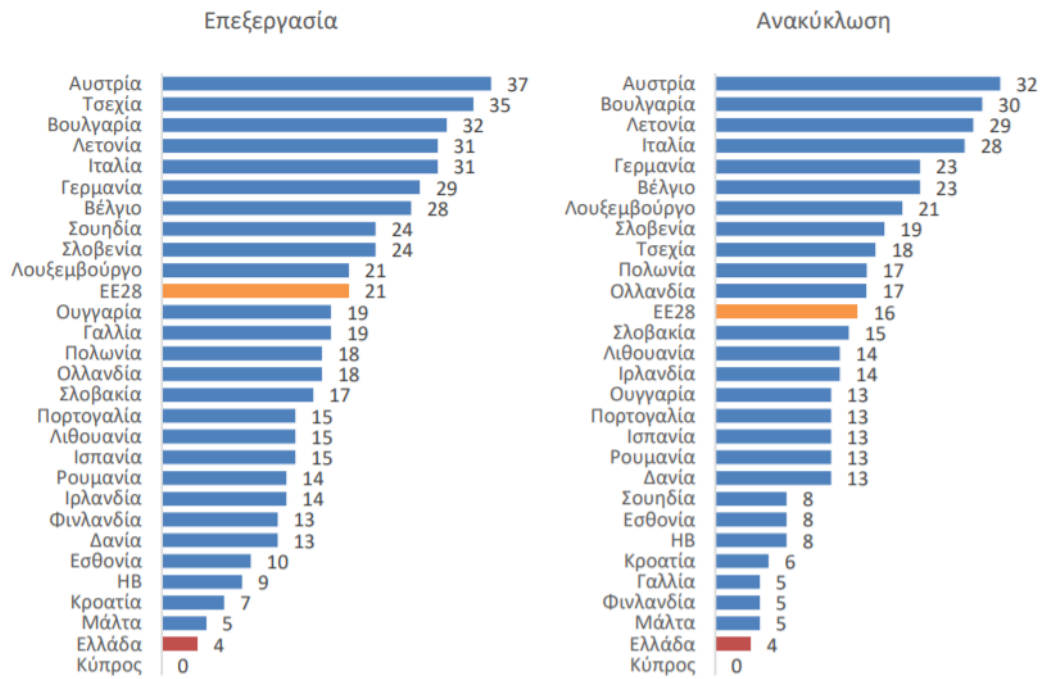




Γράφημα 6 Παραγωγή και ανακύκλωση απορριμμάτων πλαστικών συσκευασιών (βάσει στοιχείων της Eurostat).



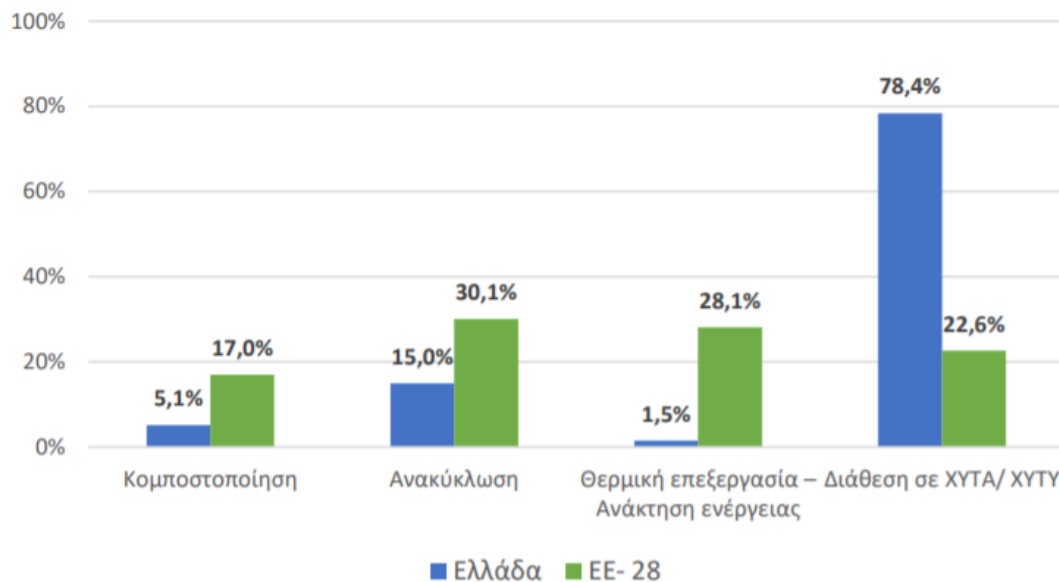
Γράφημα 7 Επεξεργασία πλαστικών αποβλήτων στην Ελλάδα, 2010-2016 (βάσει στοιχείων της Eurostat).



Γράφημα 8 Επεξεργασία και ανακύκλωση πλαστικών αποβλήτων, κιλά ανά άτομο, το έτος 2016 (βάσει στοιχείων της Eurostat).

2018	Παραγωγή		Κομποστοποίηση	Ανακύκλωση	Θερμική επεξεργασία – Ανάκτηση ενέργειας	Διάθεση σε ΧΥΤΑ/ ΧΥΤΥ	Λοιπά
	kg/κάτοικο/έτος *	t/εκατ. € ΑΕΠ					
Ελλάδα	514	28,9	5,1%	15%	1,5%	78,4%	0%
ΕΕ- 28	489	17,2	17%	30,1%	28,1%	22,6%	2,2%

Γράφημα 9 Επεξεργασία και ανακύκλωση αποβλήτων, κιλά ανά άτομο και διαχείριση αυτών το έτος 2018 στην Ελλάδα και την ΕΕ (βάσει στοιχείων της Eurostat).



Γράφημα 10 Ανακύκλωση πολυμερών και γενικών αποβλήτων, ανάλογα τον τρόπο διαχείρισής τους, 2018 στην Ελλάδα και την ΕΕ (βάσει στοιχείων της Eurostat).

Τα πλαστικά τα οποία παραμένουν στη φύση ανάλογα με τα χρόνια είναι:

- Πλαστικό μπουκάλι: 400 – 500 χρόνια.
- Πλαστική σακούλα: 10 – 20 χρόνια.
- Γόπα από τσιγάρο: 5 – 10 χρόνια.
- Πλαστικό καλαμάκι: 200 χρόνια.
- Πλαστικό ποτήρι: 450 χρόνια
- Πλαστική οδοντόβουρτσα: 500 χρόνια

Τα πλαστικά που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα είναι 730.000 τόνοι. Από τα οποία 50.000 δεν συλλέγονται και διαρρέουν στη φύση, τα 70.000 ανακυκλώνονται και τα 610.000 οδηγούνται σε χώρους ταφής.

Το έτος 2019 βρίσκεται ότι κάθε πολίτης της Ελλάδας παράγει περίπου 68 κιλά πλαστικών σκουπιδιών ετησίως. Από αυτά τα 4,5 κιλά δεν συλλέγονται και διαρρέουν στη φύση, τα 6,5 κιλά ανακυκλώνονται και τα 57 κιλά θάβονται.

Τα πλαστικά που δημιουργήθηκαν παγκοσμίως από το 1950 έως και το 2015 ανήκουν στα 8,3 δισεκατομμύρια τόνους, τα πλαστικά που χρησιμοποιούνται ακόμη ως νέα πλαστικά είναι 2,5 δισεκατομμύρια τόνοι και τα ανακυκλωμένα πλαστικά είναι 100 εκατομμύρια τόνοι. Ανακύκλωση έχει γίνει σε 600 εκατομμύρια τόνους, 700 εκατομμύρια νέου πλαστικού και 100 εκατομμύρια τόνοι ανακυκλωμένου πλαστικού έχουν αποτεφρωθεί. Η απόρριψη σε χωματερές και στο περιβάλλον ανήκει στο 4,9 δισεκατομμύρια τόνους πλαστικών.

Το 2018 δημιουργήθηκαν 342 εκατομμύρια τόνοι πλαστικών απορριμμάτων από όπου το 21,3% οδηγήθηκε προς ανακύκλωση, το 21,8% αποτεφρώθηκε και το 53,8% απορρίφθηκε σε χωματερές ή στη φύση. Τα πλαστικά αυτά προήλθαν ανάλογα με το είδος τους: το 17% από άλλους είδους πλαστικά (π.χ. μπουκάλια), το 4% από πλαστικά ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, το 6% από πλαστικά από μέσα μεταφοράς, το 12% από καταναλωτικά αγαθά (παιχνίδια, έπιπλα, κ.λπ.), το 15% από υφάσματα και το 46% από πλαστικά συσκευασίας.<sup>[36]</sup>

## 8. Συμπεράσματα

Στην παρούσα πτυχιακή, επιλέχθηκε να αναπτυχθεί μία αναλυτική βιβλιογραφική αναφορά για την ανακύκλωση των πολυμερών υλικών με στόχο την κατανόηση σημαντικών εννοιών του πολυμερισμού αλλά και των πολυμερών υλικών που υπάρχουν παγκοσμίως. Αναφέρονται επίσης πραγματικά ερευνητικά στατιστικά αποτελέσματα για την επίδραση της ανακύκλωσης των πολυμερών στον βιομηχανικό τομέα.

Συνοπτικά, η ανακύκλωση είναι μια στρατηγική για τη διαχείριση απορριμμάτων στο τέλος του κύκλου ζωής των πλαστικών προϊόντων. Είναι λογικό να αυξάνεται η οικονομία, καθώς και το περιβάλλον και οι πρόσφατες τάσεις δείχνουν σημαντική αύξηση του ρυθμού ανάκτησης και ανακύκλωσης πλαστικών αποβλήτων. Αυτές οι τάσεις είναι πιθανό να συνεχιστούν, αλλά ορισμένες σημαντικές προκλήσεις εξακολουθούν να υφίστανται τόσο από τεχνολογικούς παράγοντες όσο και από ζητήματα οικονομικής ή κοινωνικής συμπεριφοράς που σχετίζονται με τη συλλογή ανακυκλώσιμων αποβλήτων και την αντικατάσταση παρθένου υλικού.

Η ανακύκλωση ενός ευρύτερου φάσματος πλαστικών συσκευασιών μετά τον καταναλωτή, μαζί με τα απορρίμματα πλαστικών από καταναλωτικά αγαθά, θα επιτρέψει περαιτέρω τη βελτίωση των ποσοστών ανάκτησης των πλαστικών απορριμμάτων και γενικά των πολυμερών και την εκτροπή από τους χώρους υγειονομικής ταφής. Σε συνδυασμό με τις προσπάθειες αύξησης της χρήσης και των προδιαγραφών ανακυκλωμένων βαθμών ως αντικατάστασης παρθένου πλαστικού, η ανακύκλωση απορριμμάτων πλαστικών είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος βελτίωσης των περιβαλλοντικών επιδόσεων της βιομηχανίας πολυμερών.

## 9. Βιβλιογραφία

1. ACS, Chemistry for life, National Historic Chemical Landmark, “Bakelite: The World’s First Synthetic Plastic”, Dedicated November 9, 1993, at the National Museum of American History in Washington <https://archive.is/20120722150229/http://portal.acs.org/portal/PublicWebSite/education/whatischemistry/landmarks/bakelite/index.htm>
2. Wikipedia, “Plastic”, <https://en.wikipedia.org/wiki/Plastic>
3. Wikipedia, “Polymer”, <https://en.wikipedia.org/wiki/Polymer#Structure>
4. Wikipedia, “Cellulose”, <https://en.wikipedia.org/wiki/Cellulose>
5. INSULKINGS, Cellulose, “Cellulose Comes In Two Styles”, <https://www.insulkings.com/cellulose/>
6. Σύνθεση και Χαρακτηρισμός Πολυμερών και Κολλοειδών, [https://www.materials.uoc.gr/el/undergrad/courses/ETY343/notes/slides\\_1.pdf](https://www.materials.uoc.gr/el/undergrad/courses/ETY343/notes/slides_1.pdf)
7. Wikipedia, “Science of Polymer”, [https://en.wikipedia.org/wiki/Polymer\\_science](https://en.wikipedia.org/wiki/Polymer_science)
8. IUPAC, Gold Book, “macromolecule (polymer molecule)” <https://goldbook.iupac.org/terms/view/M03667>
9. Πολυμερή: Ονοματολογία Πολυμερών και Ταξινόμηση, <https://docplayer.gr/136603937-Polymeri-onomatologia-polymeron-taxinomisi-polymeres-polla-meri-i-polla-monomeri-i-makromoria.html>
10. Π.Α. Ταραντίλη, Σημειώσεις του Μαθήματος, “Μηχανική Πολυμερών”, Αθήνα 2019
11. Νίκος Χατζηρησιτίδης, Ερμόλαος Ιάτρου, Μαρίνος Πιτσικάλης, Εργ. Βιομηχανικής Χημείας, Τμήμα Χημείας, “Επιστήμη Πολυμερών”, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα 2009
12. Wikipedia, “Recycling”, <https://en.wikipedia.org/wiki/Recycling>
13. Wikipedia, “Industrial waste”, [https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial\\_waste](https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_waste)
14. Wikipedia, “Electronic waste”, [https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic\\_waste](https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_waste)
15. Wikipedia, “Plastic Recycling”, [https://en.wikipedia.org/wiki/Plastic\\_recycling](https://en.wikipedia.org/wiki/Plastic_recycling)
16. Wikipedia, “Polymerization”, <https://en.wikipedia.org/wiki/Polymer>
17. The balance small business, “An Overview of Plastic Recycling”, <https://www.thebalancesmb.com/an-overview-of-plastic-recycling-4018761>
18. The Editors of Encyclopaedia Britannica, revised and updated by Adam Augustyn, Managing Editor, Reference Content., “Recycling”, <https://www.britannica.com/science/recycling>
19. All-recycling-facts.com, “The Recycling Process”, 2009 – 2014, <http://www.all-recycling-facts.com/recycling-process.html>
20. All-recycling-facts.com, “Recycling Waste Collection”, 2009 – 2014, <http://www.all-recycling-facts.com/recycling-waste-collection.html>
21. All-recycling-facts.com, “Why is Recycling Important?”, 2009 – 2014, <http://www.all-recycling-facts.com/why-is-recycling-important.html>
22. Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης, “Τι υλικά ανακυκλώνουμε;”, <https://www.eoan.gr/%CE%B5%CE%BD%CE%B7%CE%BC%CE%AD%CF%81%CF%89%CF%83%CE%B7/%CF%84%CE%B9-%CF%85%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%BA%CF%85%CE%BA%CE%BB%CF%8E%CE%BD%CE%BF%CF%85%CE%BC%CE%B5/>
23. Wikipedia, “Bioplastic”, <https://en.wikipedia.org/wiki/Bioplastic>
24. Bioplastics in Packaging, September 11, 2019, <https://sustainablepackaging.org/bioplastics-in-packaging/>
25. SUM Amorphous Nanocrystalline Core, [https://www.facebook.com/SZSUM/?ref=hf&hc\\_ref=ARTIWspdEA12CF\\_U4IFqmxtv9WeDPOimr5Fzf-YcwvKWZjgcM9v-3VI63efZsans618](https://www.facebook.com/SZSUM/?ref=hf&hc_ref=ARTIWspdEA12CF_U4IFqmxtv9WeDPOimr5Fzf-YcwvKWZjgcM9v-3VI63efZsans618)



26. Water Connections: Elastomeric Polymer Alloy Pump Bearings, Sep 5th, 2019, <https://www.watertechnonline.com/industry/article/14039369/water-connections-elastomeric-polymer-alloy-pump-bearings>
27. PlasticsEurope, Association of Plastics Manufacturers, “EUROPEAN PLASTICS INDUSTRY MARKET DATA”, <https://www.plasticseurope.org/en/resources/market-data>
28. Antonio Flores – Tlacuahuac, Enrique Saldívar – Guerra, Ramiro Guerrero – Santos, Computer Aided Chemical Engineering, “Dynamic Model Development”, Volume 16, 2003, Pages 21-39, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1570794603800688>
29. Economics of plastics processing, [https://en.wikipedia.org/wiki/Economics\\_of\\_plastics\\_processing](https://en.wikipedia.org/wiki/Economics_of_plastics_processing)
30. British Plastics Federation, “The Benefits & Advantages of Plastic”, [https://www.bpf.co.uk/industry/benefits\\_of\\_plastics.aspx](https://www.bpf.co.uk/industry/benefits_of_plastics.aspx)
31. Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο 2020, «Μέτρα της ΕΕ για την αντιμετώπιση του προβλήματος των πλαστικών αποβλήτων», Επισκόπηση Αριθ. 04, [https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/RW20\\_04/RW\\_Plastic\\_waste\\_EL.pdf](https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/RW20_04/RW_Plastic_waste_EL.pdf)
32. Η. Ντεμιάν, Ν. Παρατσιώκα, S. Danchev, ΙΔΡΥΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ & ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ, Ο κλάδος πλαστικών στην Ελλάδα, «Συμβολή στην ελληνική οικονομία, προκλήσεις και προοπτικές ανάπτυξης», Δεκέμβριος 2019, [http://iobe.gr/docs/research/RES\\_05\\_F\\_10122019\\_REP\\_GR.pdf](http://iobe.gr/docs/research/RES_05_F_10122019_REP_GR.pdf)
33. European Statistical System, Ελληνική Στατιστική Αρχή, Greece, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/ess/greece/statistics>
34. Σύνδεσμος Βιομηχανιών Πλαστικών Ελλάδος, <https://www.ahpi.gr/>
35. Δρ. Ηλέκτρα Παπαδοπούλου, Ημερίδα: «Τα πλαστικά σε μια κυκλική οικονομία», 8 Φεβρουαρίου 2020, Greek Bio-Economy Forum, [http://bioeconomyforum.gr/wp-content/uploads/2020/02/Papadopoulou\\_GBEP\\_8-Feb-2020-1.pdf](http://bioeconomyforum.gr/wp-content/uploads/2020/02/Papadopoulou_GBEP_8-Feb-2020-1.pdf)
36. WWF: Νέος οδηγός για σωστή ανακύκλωση και μείωση των πλαστικών, Πέμπτη, 19 Νοεμβρίου 2020, <https://www.naftemporiki.gr/story/1660216/wwf-neos-odigos-gia-sosti-anakuklosi-kai-meiosi-ton-plastikon>

Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο  
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών



## Ανακύκλωση Πολυμερών: Σκοπός - Μεθοδολογία Επίδραση στον κλάδο της Βιομηχανίας



Σπουδαστής: Κουμπανάκης Χρύσανθος

Επιβλέπων Καθηγητές: Δρ. Βιδάκης Νεκτάριος  
Δρ. Πετούσης Μάρκος