

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ  
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ / ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗΣ  
ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΜΙΧΑΣ ΓΑΒΡΙΗΛ (Α.Μ. 5584)  
ΤΣΑΜΑΝΔΟΥΡΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ (Α.Μ. 5750)**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΤΣΙΡΟΠΟΥΛΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2015**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Ανωτάτου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας. Στόχος της εργασίας είναι η θεωρητική μελέτη των διεργασιών παραγωγής και μορφοποίησης πλαστικών υλικών καθώς και η ανακύκλωση αυτών.

Θεωρούμε υποχρέωσή μας να ευχαριστήσουμε θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μας κ. Κατσιρόπουλο Χρήστο για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε καθώς και για την καθοδήγηση και τη βοήθεια που μας προσέφερε ώστε να ολοκληρωθεί η παρούσα πτυχιακή εργασία.

Μίχας Γαβριήλ  
Τσαμάνδουρας Γεώργιος

Νοέμβριος 2015

**Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών:** Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδαστές

Μίχας Γαβριήλ

Τσαμάνδουρας Γεώργιος

.....  
(Υπογραφή)

.....  
(Υπογραφή)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας είναι η παρουσίαση και η ανάλυση των πλαστικών ειδών συσκευασίας, τα είδη, οι χρήσεις, η παραγωγική τους διαδικασία και η ανάδειξη των πλεονεκτημάτων ή των μειονεκτημάτων τους.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται βασικές γνώσεις για τα πλαστικά υλικά και τη βιομηχανία παραγωγής πλαστικών.

Το δεύτερο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στις πλαστικές συσκευασίες και τις εφαρμογές τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται διεξοδικά η χύτευση με έγχυση που είναι μία πολύ σημαντική τεχνική μορφοποίησης των πλαστικών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται με λεπτομέρεια η μέθοδος μορφοποίησης των πλαστικών με εκβολή.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται η περιστροφική μορφοποίηση πλαστικών που είναι μία τεχνική με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που εξελίχθηκε τα τελευταία χρόνια.

Το έκτο κεφάλαιο αναφέρεται στις ενέργειες και στα ποσοστά ανακύκλωσης των υλικών συσκευασιών με σκοπό την ανάδειξη της σπουδαιότητας και της χρησιμότητας της ανακύκλωσης στις μέρες μας.

Στο έβδομο κεφάλαιο δίνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Τέλος αναφέρεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία και συγγραφή της παρούσας εργασίας.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	1
<b>1. ΠΛΑΣΤΙΚΑ</b>	
1.1 Γενικά.....	1
1.2 Βιομηχανία Πλαστικών.....	2
1.3 Διαδικασία Παραγωγής Πολυμερών.....	5
<b>2. ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ</b>	
2.1 Γενικά.....	20
2.2 Σκοπός της Συσκευασίας.....	21
2.3 Ιστορική Αναδρομή.....	23
2.4 Στόχοι Συσκευασίας.....	24
2.5 Τα Πλαστικά ως Υλικά Συσκευασίας.....	27
2.6 Παραδείγματα Πλαστικών Συσκευασιών.....	28
<b>3. ΧΥΤΕΥΣΗ ΜΕ ΕΓΧΥΣΗ</b>	
3.1 Γενικά.....	32
3.2 Καλούπι.....	32
3.3 Τυπικός Κύκλος Μορφοποίησης.....	35
3.4 Μηχανές Παραγωγής.....	36
3.5 Τροφοδοσία.....	39
3.6 Παραγωγική Διαδικασία.....	44

## **4. ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΕΚΒΟΛΗ**

4.1 Γενικά.....	49
4.2 Συστήματα Εκβολής.....	49
4.3 Μονοβάθμια Συστήματα.....	50
4.4 Διβάθμια Συστήματα ενός Κοχλίου.....	57
4.5 Συστήματα Εφαπτόμενων Κοχλίων.....	58
4.6 Μήτρες Εκβολής.....	58
4.7 Παραγωγή Φύλλων με Εκβολή.....	59

## **5. ΠΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ**

5.1 Γενικά.....	62
5.2 Παραγωγική Διαδικασία.....	63
5.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα.....	65
5.4 Αρχή Λειτουργίας.....	66
5.5 Βιομηχανικός Εξοπλισμός.....	67

## **6. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ**

6.1 Γενικά.....	70
6.2 Ευρωπαϊκή Νομοθεσία.....	71
6.3 Ελληνική Ανακύκλωση.....	72
6.4 Ευρωπαϊκή Ανακύκλωση.....	75
6.5 Ο Ρόλος του Πολίτη.....	78
6.6 Τεχνικές Ανακύκλωσης.....	80

## **7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....**

84

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....**

85

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα πλαστικά αποτελούν την πιο σύγχρονη τεχνολογία που χρησιμοποιείται στη συσκευασία. Άλλωστε τα πλαστικά αποτελούν τα υλικά του σύγχρονου πολιτισμού. Στις κατασκευαστικές χρήσεις τα πλαστικά διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο και στο μέλλον ο ρόλος τους αναμένεται να είναι πρωταγωνιστικός χάρη στις εξαιρέτες και σε μερικές περιπτώσεις μοναδικές ιδιότητές τους.

Πιο συγκεκριμένα το μικρό τους βάρος, η χημική τους αδράνεια, οι έξοχες μηχανικές τους ιδιότητες και η οικονομία σε φυσικούς πόρους που συνεπάγεται η χρήση τους, καθιέρωσαν τα πλαστικά ως την πιο δημοφιλή κατηγορία υλικών. Τα πλαστικά συμβάλλουν αποφασιστικά στην απλοποίηση της ζωής έχοντας τεράστια ποικιλία χρήσεων καλύπτοντας το πιο ευρύ φάσμα εφαρμογών αλλά και λόγω του γεγονότος ότι μορφοποιούνται πολύ εύκολα σε σχέση με άλλα υλικά.

Τα σημαντικά τεχνολογικά και οικονομικά πλεονεκτήματα που έχουν καθιέρωσε τις πλαστικές συσκευασίες είναι παράλληλα και αυτά που επιτείνουν και διογκώνουν το πρόβλημα της διαχείρισης των πλαστικών απορριμμάτων μετά τον ωφέλιμο κύκλο ζωής τους.

Τα προβλήματα που προκύπτουν από τη διάθεση των πλαστικών απορριμμάτων στο περιβάλλον καθιστούν επιτακτική την ανακύκλωσή τους.

# 1. ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

## 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ο όρος πλαστικό είναι κοινή ονομασία που χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια ευρεία ποικιλία συνθετικών ή ημισυνθετικών οργανικών στερεών υλικών. Τα πλαστικά είναι σχεδόν αποκλειστικά πολυμερή μεγάλου μοριακού βάρους, εξ ου και η ονομασία πολλών εξ αυτών φέρει το πρόθεμα *πολυ-*, και που μπορεί να περιέχουν πρόσθετα, οργανικά ή μη, για βελτίωση των ιδιοτήτων τους (μηχανική αντοχή, εμφάνιση, χρώμα κ.τ.λ.). Κύριο συστατικό παρασκευής τους είναι οι συνθετικές ρητίνες που διακρίνονται σε "εποξειδικές" και "ακρυλικές".

Υπάρχει ιδιαίτερα μεγάλο πλήθος εντελώς διαφορετικών μεταξύ τους πλαστικών, ωστόσο μπορούμε να τα κατατάξουμε σε δύο κατηγορίες. Τα *θερμοπλαστικά* είναι πολυμερή που αποκτούν μεγαλύτερη πλαστικότητα, δηλαδή ευκολία στο να παραμορφωθούν και να αποκτήσουν το σχήμα που επιθυμούμε, κάθε φορά που θερμαίνονται. Στα *θερμοσκληρυνόμενα* κατά την πρώτη θέρμανση και ανάμιξη των συστατικών τους προκαλείται πολυμερισμός και σκλήρυνση κατά τρόπο μη αντιστρεπτό. Δηλαδή τα θερμοσκληρυνόμενα μετά την πήξη τους δεν δύνανται να μορφοποιηθούν περαιτέρω.

## 1.2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ

Η πλαστική συσκευασία στις μέρες μας έχει εισαχθεί στην ζωή μας μέσω διαφόρων ειδών πρώτης ανάγκης όπως είναι τα τρόφιμα (στερεά και υγρά), τα καλλυντικά, τα καθαριστικά, ο ρουχισμός κ.ά.

Η βιομηχανία πολυμερών (πλαστικών) μπορεί να διαχωριστεί στη βιομηχανία παραγωγής πολυμερών και στη βιομηχανία διαμόρφωσης των πολυμερών υλικών. Η βιομηχανία της διαμόρφωσης των πολυμερών υλικών περιλαμβάνει τους παραγωγών μειγμάτων, τους μορφοποιητές και τους παραγωγούς τελικών αντικειμένων από πολυμερή.

Συνήθως, οι βιομηχανικές μονάδες είναι διαχωρισμένες σε μονάδες παραγωγής πολυμερούς και σε μονάδες μορφοποίησης. Λίγες είναι οι περιπτώσεις των βιομηχανιών που παράγουν το πλαστικό πολυμερές και στη συνέχεια προβαίνουν και στη μορφοποίησή του. Σε γενικές γραμμές η Ελληνική βιομηχανία πλαστικών αποτελείται κυρίως από βιομηχανίες

μορφοποίησης των πλαστικών πολυμερών. Παραδείγματα μονάδων που παράγουν πολυμερή είναι τα ΕΛΠΕ (PVC, PP), η DOW (πολυστυρένιο) και η VPI (PET). Μεγάλος είναι ο αριθμός των μικρών και μεγάλων μονάδων διαμόρφωσης.

Ουσιαστικά τα πλαστικά προϊόντα που αναφέρονται ανήκουν στην κατηγορία των συνθετικών οργανικών πολυμερών.

Οι κλασικές πρώτες ύλες της χημικής βιομηχανίας δεν θα επαρκούσαν ποτέ για την οικονομική παραγωγή πλαστικών. Αυτή επιτεύχθηκε μόνο με την ταχύτατη ανάπτυξη των πετροχημικών.

Πρώτες ύλες για τη βιομηχανία παραγωγής των πολυμερών είναι το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, το ξύλο και ο ορυκτός άνθρακας. Η επεξεργασία των πρώτων υλών για την παραγωγή του μονομερούς, που θα χρησιμοποιηθεί στον πολυμερισμό, πραγματοποιείται συνήθως σε διαφορετικές εγκαταστάσεις (π.χ. πυρόλυση, παραγωγής νάφθας, κλασματικής απόσταξης, αναγωγής και οξειδωσης, κ.τ.λ.) από αυτές που εκτελείται ο πολυμερισμός.

Η αντίδραση πολυμερισμού των μονομερών μπορεί να είναι σταδιακή (πολυσυμπύπνωση ή πολυπροσθήκη) ή αντίδραση αλυσωτού πολυμερισμού. Παραδείγματα της πρώτης κατηγορίας αποτελούν οι πολυεστέρες και η πολυουρεθάνη, ενώ της δεύτερης το πολυαιθυλένιο, το πολυβινυλοχλωρίδιο, το πολυστυρένιο, το πολυακρυλονιτρίλιο κ.τ.λ. Τέλος, πολυμερή μπορούν να σχηματιστούν και από τη χημική τροποποίηση άλλων πολυμερών, όπως στην περίπτωση της πολυβινυλικής αλκοόλης.

Τα πολυμερή, ανάλογα με τη συμπεριφορά τους ως προς τη θερμότητα ή την πλαστικότητα τους, χωρίζονται σε θερμοπλαστικά, θερμοσκληρυνόμενα και ελαστομερή. Οι ιδιότητες αυτές των πολυμερών σχετίζονται με τη μοριακή δομή τους, καθώς και το μηχανισμό της αντίδρασης πολυμερισμού. Σε γενικές γραμμές ισχύει ότι οι θερμοσκληρυνόμενες ρητίνες παράγονται από αντιδράσεις πολυσυμπύκνωσης, ενώ τα θερμοπλαστικά υλικά από αντιδράσεις πολυπροσθήκης.

**Θερμοπλαστικά:** Είναι τα πολυμερή τα οποία αποκτούν πλαστικότητα και μαλακότητα κατά αντιστρεπτό και επαναλαμβανόμενο τρόπο με την επίδραση θερμότητας και πίεσης. Κατά τη διαδικασία αυτή δεν πραγματοποιείται κάποια χημική μεταβολή. Τα πολυμερή αυτά τήκονται, διαποτίζονται από διαλύτες και διαλύονται. Τα μόρια τους είναι γραμμικά ή διακλαδωμένα.

**Θερμοσκληρυνόμενα:** Τα πολυμερή αυτά με την επίδραση θερμότητας μεταβάλλονται χημικά και συνεπώς δε μπορούν να ξαναμορφοποιηθούν. Η διαδικασία της θερμοσκλήρυνσης είναι μη αναστρέψιμη και συνεπώς μη επαναλαμβανόμενη. Κατά τη θερμοσκλήρυνση δημιουργούνται διασταυρούμενες συνδέσεις και



σχηματίζεται πλέγμα. Το τεράστιο μόριο-πλέγμα έχει τέτοια συνοχή που δε μπορεί να μεταβεί ξανά στην πλαστική κατάσταση.

Τέτοια πολυμερή είναι συνήθως πολύ σκληρά, δε μορφοποιούνται, αντέχουν στη θερμότητα, δεν τήκονται, δε διαποτίζονται από διαλύτες κ.τ.λ. Ο όρος ρητίνη χρησιμοποιείται κατά κανόνα για τα θερμοσκληρυνόμενα, αν και πρέπει να τονιστεί ότι η ταύτιση δεν είναι σωστή. Ο όρος ρητίνη, γενικά, περιγράφει υλικά πολυμερή σε ημίρρευστη, ιξώδη κατάσταση, ανεξάρτητα αν είναι θερμοπλαστικά ή θερμοσκληρυνόμενα. Οι φυσικές ρητίνες είναι φυτικής προέλευσης.

**Ελαστομερή:** Τα πολυμερή αυτά παρουσιάζουν μεγάλη ελαστικότητα, δηλαδή παρουσιάζουν μεγάλη επιμήκυνση σε δυνάμεις εφελκυσμού. Όταν παύσει η δύναμη εφελκυσμού, επανέρχονται γρήγορα και πλήρως, δεν πραγματοποιείται δηλαδή κάποια μόνιμη πλαστική μεταβολή της μορφής του υλικού. Μπορούν να θεωρηθούν ως μια ενδιάμεση κατάσταση μεταξύ των θερμοπλαστικών και των θερμοσκληρυνόμενων, δεδομένου ότι τα μακρομόριά τους εμφανίζουν μερικές διασταυρούμενες συνδέσεις, που όμως δεν είναι τόσο πολλές ώστε να δώσουν πλέγμα. Τα ελαστομερή είναι άτηκτα, αδιάλυτα αλλά διαποτίζονται από τους διαλύτες.

Τα θερμοπλαστικά αποτελούν τη μεγαλύτερη κατηγορία πλαστικών και μάλιστα με ολοένα αυξανόμενη παραγωγή. Σημαντικότεροι εκπρόσωποι είναι το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), το πολυαιθυλένιο (PE, LDPE ή HDPE), το πολυπροπυλένιο (PP) και το πολυστυρένιο (PS). Από τα ελαστομερή ξεχωρίζουν τα πολυμερή διενίων (πολυβουταδιένιο). Τα ανωτέρω πολυμερή είναι εκείνα που παράγονται τόσο σε παγκόσμιο όσο και ευρωπαϊκό επίπεδο σε μεγαλύτερες ποσότητες. Παραδείγματα θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών αποτελούν οι ρητίνες φαινόλης/ουρίας/μελαμίνης με φορμαλδεΰδη, οι ακόρεστοι πολυεστέρες, οι εποξειδικές ρητίνες, η πολυουρεθάνη, οι σιλικόνες.

Τα διαφορά πολυμερή-πλαστικά κατατάσσονται επίσης και με βάση τη χημική σύσταση της αλυσίδας τους σε:

- ετεροαλυσωτά (πολυεστέρες, πολυουρεθάνες), όπου στην κύρια αλυσίδα του πολυμερούς συμμετέχουν και άλλα άτομα εκτός από τον άνθρακα
- συμπολυμερή (δύο ή περισσότερων μονομερών)
- ομοαλυσωτά (πολυολεφίνες, βινυλικά)

Τα πολυμερή που παράγονται από τη διαδικασία πολυμερισμού διατίθενται σε κάποια από τις παρακάτω μορφές για περαιτέρω επεξεργασία:

- θερμοπλαστική μάζα μορφώσεως : είναι η κατηγορία των συνηθισμένων πολυμερών προϊόντων όπως PVC, PE, PP, PS.

- σκληρυνόμενη μάζα μορφώσεως
- ρητίνες για Βερνίκια, μέσα διαποτίσεως, κόλλες, χρώματα (θερμοπλαστικά, ρητίνες σκληρυνόμενες ως πλέγμα)
- προϊόντα καουτσούκ (πολυβουταδιένιο, πολυισοπρένιο)
- ίνες- νήματα Φ φύλλα
- αφρώδη
- σκληρυνόμενες τεχνικές ρητίνες (θερμοσκληρυνόμενα, μονομερείς ρητίνες χύτευσης)

**Μάζα μορφώσεως:** είναι η πρώτη ύλη για την παραγωγή έτοιμων εμπορικών προϊόντων με μορφοποίηση υπό θέρμανση στις μηχανές επεξεργασίας των πολυμερών. Σημειώνεται ότι, αν πρόκειται για θερμοπλαστικό υλικό, η διαδικασία αυτή είναι αντιστρέψιμη, ενώ είναι μη αντιστρέψιμη για τα θερμοσκληρυνόμενα.

### 1.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Όπως αναφερθήκαμε παραπάνω, σε γενικές γραμμές η βιομηχανία των πλαστικών διακρίνεται σε αυτή της παραγωγής του πολυμερούς και σε αυτή της διαμόρφωσης του.

Ο σχεδιασμός και η λειτουργία μιας μονάδας παραγωγής πολυμερούς εξαρτάται από τον τύπο του πολυμερούς προϊόντος, τη φύση του μονομερούς, το μηχανισμό της αντίδρασης (αλυσωτός, σταδιακός), την απαιτούμενη μορφή του πολυμερούς προϊόντος, την τεχνική πολυμερισμού (πολυμερισμός μάζας, διαλύματος-τυπικός, αιωρήματος-καταβυθίσεως, γαλακτώματος) και τη φυσική κατάσταση του πολυμερούς προϊόντος.

Οι διεργασίες για την παραγωγή του πολυμερούς μπορούν να χωριστούν σε αυτές πριν το πολυμερισμό, κατά τον πολυμερισμό και μετά τον πολυμερισμό.

Γενικά, σε όλο το φάσμα της βιομηχανίας πλαστικών απαντώνται πολλές διαφορετικού τύπου παραγωγικές διαδικασίες όπως οι καθαρά χημικές διαδικασίες, οι καθαρά μηχανικές διαδικασίες (ανάμιξη) καθώς και άλλες που χρησιμοποιούν εξειδικευμένα μηχανήματα.

#### Διαδικασίες πριν τον πολυμερισμό

Οι διαδικασίες πριν τον πολυμερισμό περιλαμβάνουν διαδικασίες όπως η παραλαβή και η αποθήκευση του μονομερούς του διαλύτη, των λοιπών χημικών (διεγερτών, καταλυτών, αναστολέων, μέσων

γαλακτωματοποιήσεως). Ακολουθεί ο καθαρισμός και η επεξεργασία αυτών των υλικών, καθώς και η φόρτωσή τους στον αντιδραστήρα.

Φυσικά, στις διαδικασίες πριν το πολυμερισμό μπορεί να περιλαμβάνεται και η παραγωγή του μονομερούς, αλλά συνήθως οι βιομηχανίες διαμόρφωσης πλαστικών προμηθεύονται τις πρώτες ύλες έτοιμες.

### **Διεργασίες κατά τον πολυμερισμό**

Η κύρια διεργασία είναι ουσιαστικά η αντίδραση πολυμερισμού που πραγματοποιείται και ελέγχεται σε αντιδραστήρες διαφόρων τύπων:

- σωληνωτός αντιδραστήρας συνεχούς λειτουργίας
- συστοιχία αναδευομένων αντιδραστήρων συνεχούς λειτουργίας
- αναδευόμενος αντιδραστήρας ασυνεχούς λειτουργίας - παρτίδας
- αναδευόμενος αντιδραστήρας ομοιογενούς συνεχούς λειτουργίας

### **Διεργασίες μετά τον πολυμερισμό**

Μεγάλη σημασία για το σχεδιασμό των διεργασιών αυτών έχει η απαιτούμενη μορφή του προϊόντος και η χρήση του. Φυσικά, οι διεργασίες αυτές, όπως π.χ. ο καθαρισμός του προϊόντος, επηρεάζονται άμεσα από τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιήθηκε ο πολυμερισμός, την καθαρότητα των πρώτων υλών κ.τ.λ. Οι διεργασίες καθαρισμού σε αυτό το στάδιο είναι σε γενικές γραμμές δύσκολες και καλό είναι να αποφεύγονται σχεδιάζοντας κατάλληλα τις διεργασίες πολυμερισμού.

Οι διεργασίες μετά τον πολυμερισμό είναι δυνατό να περιλαμβάνουν:

- παραλαβή του πολυμερούς
- καθαρισμό του πολυμερούς (καταβύθιση)
- ξήρανση
- ανάκτηση μονομερών και διαλυτών
- προσθήκη ειδικών μέσων
- μορφοποίηση
- ομοιογενοποίηση
- συσκευασία, αποθήκευση, διακίνηση

Μερικές από τις διεργασίες αυτές θα μπορούσαν να γίνουν σε μεταγενέστερο στάδιο, στις εγκαταστάσεις διαμόρφωσης-μορφοποίησης.

## **Πρώτες ύλες παραγωγής πολυμερών**

Παρακάτω γίνεται μια γενική κατάταξη των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή πολυμερών σε σχέση με τη χρήση τους . Μια λεπτομερέστερη καταγραφή των πρώτων υλών θα μπορούσε να γίνει για κάποιες συγκεκριμένες μονάδες παραγωγής πολυμερών .

Ολεφινικά και βινυλικά μονομερή (αιθυλένιο, προπυλένιο, βουτυλένιο, βινυλοχλωρίδιο, στυρένιο, ισοπρενοειδή κ.τ.λ.)

- Καταλύτες πολυμερισμού
- Επιταχυντές
- Σκληρυντές
- Αναστολείς πολυμερισμού
- Μέσα μεταφοράς και τερματισμού
- Διαλύτες (εξάνιο, τολουόλιο, νερό)
- Διεγέρτες πολυμερισμού και επιταχυντές ρυθμού διάσπασης διεγερτών
- Μέσα διασποράς και σταθεροποίησης αιωρημάτων και γαλακτωμάτων

Η σημασία της καταγραφής των υλών αυτών είναι μεγάλη για τη βιομηχανία διαμόρφωσης των πλαστικών. Αποτελούν το προϊόν της βιομηχανίας παραγωγής πολυμερών και προφανώς την πρώτη ύλη της βιομηχανίας διαμόρφωσης.

## **Βιομηχανικές διαδικασίες διαμόρφωσης (τροποποίησης ή μορφοποίησης) πολυμερών**

Όπως αναφέρθηκε, η παραγωγή του πολυμερούς και η διαμόρφωσή του είναι συνήθως δύο διακριτές διεργασίες, οι οποίες μάλιστα, στις περισσότερες των περιπτώσεων, πραγματοποιούνται και σε διαφορετικές εγκαταστάσεις. Σε μερικές άλλες περιπτώσεις ο πολυμερισμός και η διαμόρφωση γίνονται ταυτόχρονα ή η διαμόρφωση μετά τον πολυμερισμό, αλλά στην ίδια βιομηχανική μονάδα. Επίσης, μπορεί μετά τον πολυμερισμό να ακολουθήσει μερική μόνο διαμόρφωση σε ημιέτοιμο προϊόν.

Οι διαδικασίες της φάσης αυτής μπορούν να χωριστούν σε διαδικασίες τροποποίησης και σε διαδικασίες μορφοποίησης.

## **Διαδικασίες τροποποίησης πολυμερών**

Η τροποποίηση των πολυμερών αποβλέπει στην ενσωμάτωση πρόσθετων υλών στη μάζα του πολυμερούς με σκοπό τη βελτίωση των ιδιοτήτων του τελικού προϊόντος, και τη δημιουργία μιας μάζας μορφοποίησης ικανής για επεξεργασία.

Τέτοιες διαδικασίες περιλαμβάνουν την ανάμειξη με πρόσθετος ύλες, την ενίσχυση ή την πολύστρωσή και τη μίξη πολυμερών. Επίσης, διεργασίες καθαρισμού και συμπύκνωσης του πολυμερούς όπως διήθηση, απαερίωση. Τέλος, οι διαδικασίες τροποποίησης περιλαμβάνουν την κοκκοποίηση ή την κονιοποίηση για την παραλαβή μιας μάζας μορφοποίησης με τη μορφή κόκκων ή σκόνης αντίστοιχα.

Συνήθως, τα όρια των διαδικασιών αυτών δεν είναι απόλυτα διακριτά και υπάρχουν μηχανές που εκτελούν περισσότερος από μία διεργασίες. Για παράδειγμα, κατά την ανάμειξη, όπως και κατά την πλαστικοποίηση, τη λίπανση και τη διόγκωση, χρησιμοποιούνται κυλινδρόμυλοι αναμείξεως, εσωτερικοί αναμικτήρες, εξωθητήρες με κοχλία, αναμικτήρες με κοχλία. Για την ενίσχυση και την πολύστρωση χρησιμοποιούνται πρέσες, ενώ για τον προσανατολισμό κύλινδροι. Τα μηχανήματα αυτά χρησιμοποιούνται και για τη μετέπειτα μορφοποίηση των πολυμερών πλαστικών.

Οι κυριότερες διαδικασίες τροποποίησης των πολυμερών είναι οι παρακάτω:

- ανάμειξη
- πλαστικοποίηση
- λίπανση
- διόγκωση
- ενίσχυση
- πολύστρωση
- προσανατολισμός
- κοκκοποίηση
- κονιοποίηση

### **Διαδικασίες μορφοποίησης πολυμερών**

Οι διαδικασίες αυτές δίνουν στο πολυμερές πλαστικό προϊόν την τελική επιθυμητή μορφή ή σχήμα. Μεγάλη σημασία για το σχεδιασμό αυτών των διεργασιών έχουν οι ρεολογικές ιδιότητες του υλικού και της μάζας που πρόκειται να μορφοποιηθεί. Σε γενικές γραμμές, όλες αυτές οι διεργασίες περιλαμβάνουν ένα στάδιο θέρμανσης, ένα στάδιο φορμαρίσματος-σχηματοποίησης, και ένα στάδιο ψύξης για τη διατήρηση του επιθυμητού σχήματος.

Οι διαδικασίες μορφοποίησης είναι οι εξής :

- Χύτευση
- έγχυση θερμής ακτινοβολίας
- επίστρωση: βερνίκωμα, εμβάπτιση, επικάλυψη, πολύστρωμα.
- εσωτερική ανάμειξη

- κυλινδρόμυλος, κυλίνδρωση (καλάνδρες)
- εξώθηση (extrusion)
- χύτευση με έγχυση (injection moulding)
- τανυσμός
- αφρώδες
- συγκόλληση
- τήξη (περιδινούμενη τήξη)
- έγχυση φλόγας
- σφράγισμα
- κοπή
- σφυρηλάτηση
- πριόνισμα
- διάτρηση
- περιστροφή
- τórνευση
- ψυχρή μορφοποίηση: έκταση, φύσημα (blow moulding)
- επιμετάλλωση
- μέθοδοι πίεσης - πρεσάρισμα: πρεσάρισμα στρώσεως, πρεσάρισμα μορφοποίησης, θερμοπρεσάρισμα, πρεσάρισμα έγχυσης.

Το είδος και η σειρά των παραπάνω παραγωγικών διαδικασιών εξαρτάται από το είδος του πολυμερούς και τη φύση του επιθυμητού προϊόντος.

Επίσης, στις διαδικασίες της βιομηχανίας διαμόρφωσης πλαστικών θα πρέπει να συμπεριληφθούν και διάφορες διαδικασίες και μηχανές εκτύπωσης (κύλινδροι, επιπεδοτυπία, φλεξογραφία) πάνω στις επιφάνειες των πλαστικών προϊόντων. Στην αγορά υπάρχει πλήθος τέτοιων πλαστικών προϊόντων (φιλμ, μπουκάλια, σακούλες, συσκευασίες τροφίμων κ.τ.λ.).

Τα τελευταία χρόνια, η διαχείριση των πλαστικών απορριμμάτων αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη σημασία. Η παγκόσμια παραγωγή πλαστικών παρουσιάζει αύξηση καθώς η χρήση πλαστικών προϊόντων συνεχώς διευρύνεται. Ο όγκος των απορριμμάτων αυτών αποτελεί σοβαρό πρόβλημα, καθώς και οι επιπτώσεις από πιθανή καταστροφή τους. Για παράδειγμα, η καύση (αποτέφρωση) των πλαστικών μπορεί να δημιουργήσει επικίνδυνα παραπροϊόντα, όπως βαρέα μέταλλα (Pb), (cd), PCBs, διοξίνες, φουράνια, χλωροβενζόλιο, Προσπάθειες γίνονται ώστε να γίνει εφικτή η ανακύκλωση πλαστικών. Τέτοιες μονάδες ανακύκλωσης χρησιμοποιούν πρώτη ύλη παλαιά πλαστικά προϊόντα ή προϊόντα της παραγωγής δεύτερης διαλογής (χτυπημένα, σκισμένα) που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί.

Η ανακύκλωση πλαστικών παρουσιάζει μεγάλα προβλήματα σε σύγκριση με αυτή άλλων υλικών, όπως το γυαλί ή το χαρτί. Κύριο πρόβλημα αποτελεί η ύπαρξη πλαστικών διαφορετικής φύσεως στα απορρίμματα. Παρατηρείται ασυμβατότητα μεταξύ των συνήθως χρησιμοποιούμενων πλαστικών, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ποιότητα του νέου προϊόντος. Μεγάλο πρόβλημα αποτελεί και ο τεράστιος αριθμός προσθέτων που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγή και τη διαμόρφωση των πολυμερών.

Τέλος, πρόβλημα αποτελεί και η παρουσία προσμίξεων όπως αλουμινίου, χαρτιού κ.τ.λ., καθώς και υλικών που προέρχονται από τη χρήση τους.

Μεγάλο εύρος τεχνολογιών ανακύκλωσης χρησιμοποιείται ανάλογα με τη φύση του προς ανακύκλωση υλικού. Σε γενικές γραμμές προηγείται ο διαχωρισμός, ενίοτε χειρωνακτικά, καθώς και το πλύσιμο του υλικού. Σημαντικό στάδιο είναι ο τεμαχισμός με κόπτες ή μύλους. Στη συνέχεια ακολουθούν διάφορες μεθοδολογίες και στάδια διαχωρισμού (ηλεκτροστατικός διαχωρισμός κοσκίνισμα, αεροδιαχωρισμός, επίπλευση). Τέλος, δεδομένου ότι τα περισσότερα πλαστικά είναι θερμοπλαστικά, χρησιμοποιείται κάποια μέθοδος τήξης (π.χ. εξώθηση) και ανάμειξη με άλλες παρτίδες, κοκκοποίηση, σχηματισμός αφρού κ.τ.λ.

### **Κυριότερες μηχανές και διαδικασίες τροποποίησης και μορφοποίησης**

Παρακάτω αναφέρονται οι κυριότερες μηχανές και τεχνικές που χρησιμοποιούνται στις διαδικασίες διαμόρφωσης.

A. Αναμικτήρες (mixers): Ο σκοπός της ανάμειξης είναι να κατανεμηθούν τα πρόσθετα όσο το δυνατό ομοιόμορφα μέσα στη μάζα του πολυμερούς χωρίς να καταπονηθεί αυτό έντονα. Συνήθως είναι ασυνεχούς λειτουργίας. Υπάρχουν ψυχρές και θερμές μέθοδοι ανάμειξης.

Παραδείγματα ψυχρών μηχανών ανάμειξης αποτελούν ο αναμικτήρας με περιστρεφόμενο τύμπανο, ο κωνικός αναμικτήρας με κοχλία, ο κωνικός αναμικτήρας με έλικα, ο ζυμωτήρας Ko-Kneter.

Αναμικτήρες θερμής μεθόδου αποτελούν οι εσωτερικοί αναμικτήρες που αποτελούνται από σύστημα αντίθετων περιστρεφόμενων κυλίνδρων. Οι εξωθητήρες απλού και διπλού κοχλία μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως μηχανές ανάμειξης και ομογενοποίησης.

B. Μηχανή εξώθησης (extruder): Οι μηχανές αυτές χρησιμοποιούνται σε κάποιες από τις παραπάνω αναφερόμενες διαδικασίες. Κατασκευάζουν ημίετοιμα αντικείμενα απεριόριστου μήκους όπως σωλήνες, φύλλα, πλάκες. Ο εξωθητής μετατρέπει το

πολυμερές, που είναι σε μορφή κόκκων ή σκόνης, σε ομοιογενές τήγμα και το προωθεί με πίεση σε μια μήτρα.

Οι διεργασίες που εκτελούνται μέσα σε μια μηχανή εξώθησης είναι η εισχώρηση, η προώθηση, η τήξη, η ομογενοποίηση, και η ψύξη.

Γ. Μηχανή έγχυσης (injection mould): Είναι μία σημαντική μέθοδος παραγωγής έτοιμων προϊόντων σε ένα μόνο παραγωγικό στάδιο. Είναι κατάλληλη για τη μορφοποίηση θερμοπλαστικών. Σημαντικό της πλεονέκτημα ότι συνήθως δεν απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία.

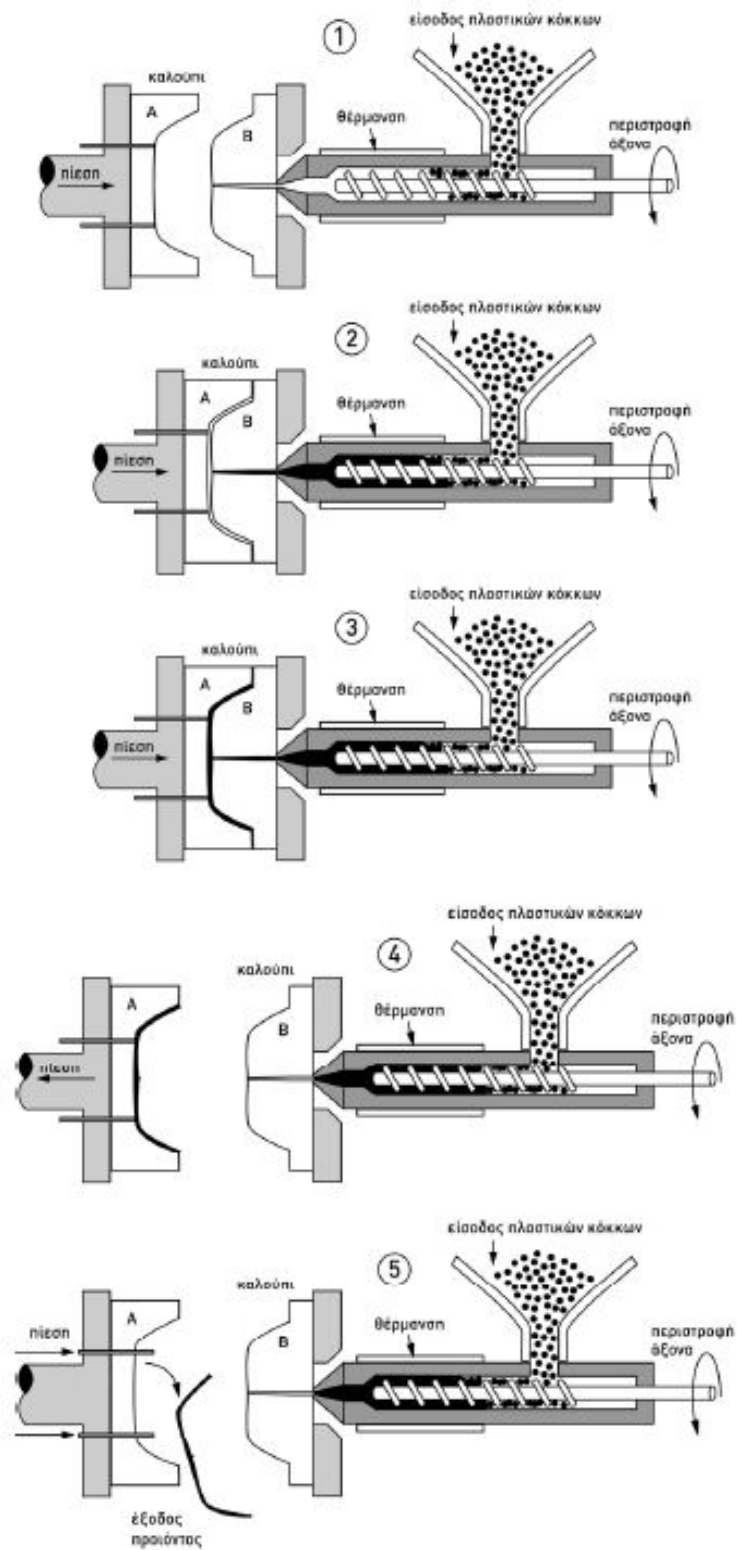


Σχήμα 1.1 Μηχανή μορφοποίησης με εξώθηση και εμφύσηση της εταιρείας Bekum [21].

Ο κοχλίας πιέζει την τετηγμένη μάζα ως έμβολο στη μήτρα. όπου το υλικό ψύχεται. Η μήτρα μπορεί να θεωρηθεί ως αυτόνομη περιφερική μηχανή, αφού μπορεί και αντικαθίσταται ανάλογα με την εφαρμογή και τη μορφή του επιθυμητού τελικού αντικειμένου.

Η χύτευση υπό υψηλή πίεση (injection molding) είναι η καλύτερη μέθοδος μαζικής παραγωγής για μικρά και πολύπλοκα πλαστικά μέρη αντικειμένων όπου χρειάζεται υψηλή ακρίβεια διαστάσεων. Η ποιότητα της επιφάνειας είναι εξαιρετική και μπορεί να αλλάξει σε ότη μορφή θέλουμε αλλάζοντας την επιφάνεια του καλουπιού.





Σχήμα 1.2 Διαδικασία χύτευσης υπό πίεση [23].

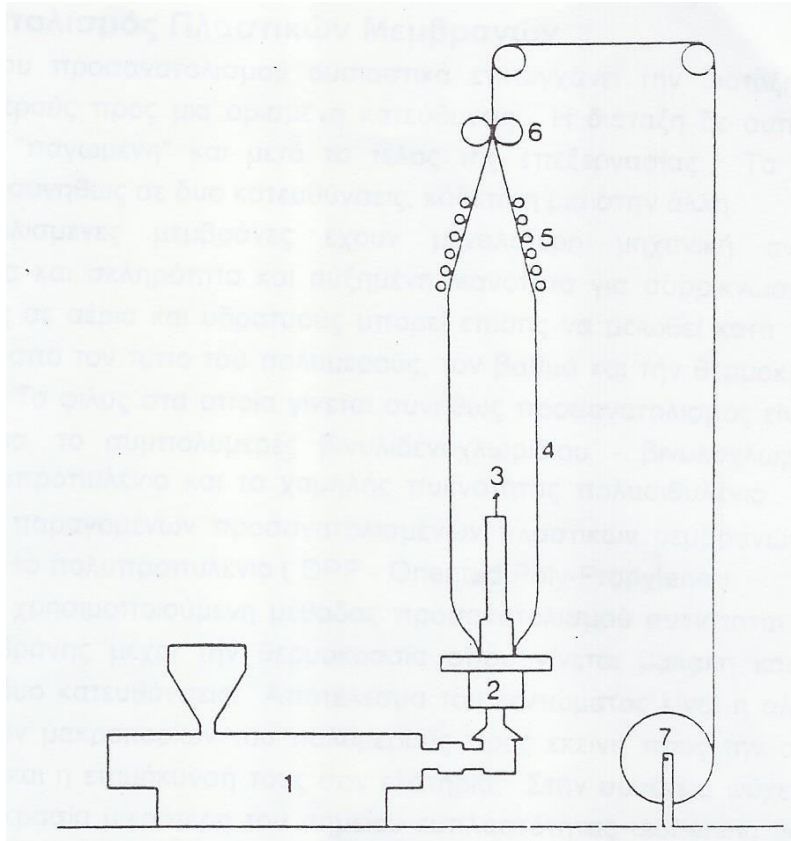
Στ σχήμα 1.2 βλέπουμε την διαδικασία χύτευσης υπό πίεση όπου παρατηρούμε τα κύρια τμήματα μιας μηχανής για αυτή τη διαδικασία.

Το πλαστικό (η πρώτη ύλη) εισάγεται στο σωλήνα θέρμανσης και πίεσης (στάδιο 1) και σταδιακά γίνεται ρευστό, ενώ ο άξονας με τα σπειρωειδή πτερύγιά του το πιέζει προς το καλούπι (στάδιο 2). Το ρευστό πλαστικό μπαίνει στην κοιλότητα του καλουπιού και την γεμίζει (στάδιο 3), σε αυτό το σημείο σταματάει η παροχή πλαστικού στο καλούπι. Το μεταλλικό καλούπι (το οποίο ψύχεται με νερό) απορροφά την θερμότητα του πλαστικού και έτσι το πλαστικό στερεοποιείται. Στο στάδιο 4 βλέπουμε το αριστερό μέρος του καλουπιού να “ανοίγει” και να παρασύρει μαζί του το στερεό πλαστικό. Τέλος, στο στάδιο 5 γίνεται η εξαγωγή του προϊόντος από το καλούπι με πίεση από δευτερεύοντες άξονες που σπρώχνουν το προϊόν για να αποκολληθεί από το καλούπι. Το καλούπι, μετά κλείνει και η διαδικασία συνεχίζεται από την αρχή. Η διάρκεια του κύκλου αυτού εξαρτάται από τον όγκο του προϊόντος και τον τύπο του πλαστικού που επηρεάζουν την ταχύτητα ψύξης του. Η συνήθης διάρκεια είναι μόνο μερικά δευτερόλεπτα

Δ. Μηχανή εμφύσησης (blow mould): Προηγείται τήξη του πολυμερούς με διαδικασία εξώθησης ή έγχυσης . Στη συνέχεια, το τήγμα ωθείται προς τα τοιχώματα μιας μήτρας με την άσκηση πίεσης αέρα. Τέλος, ακολουθεί ψύξη και απομάκρυνση από τη μήτρα.

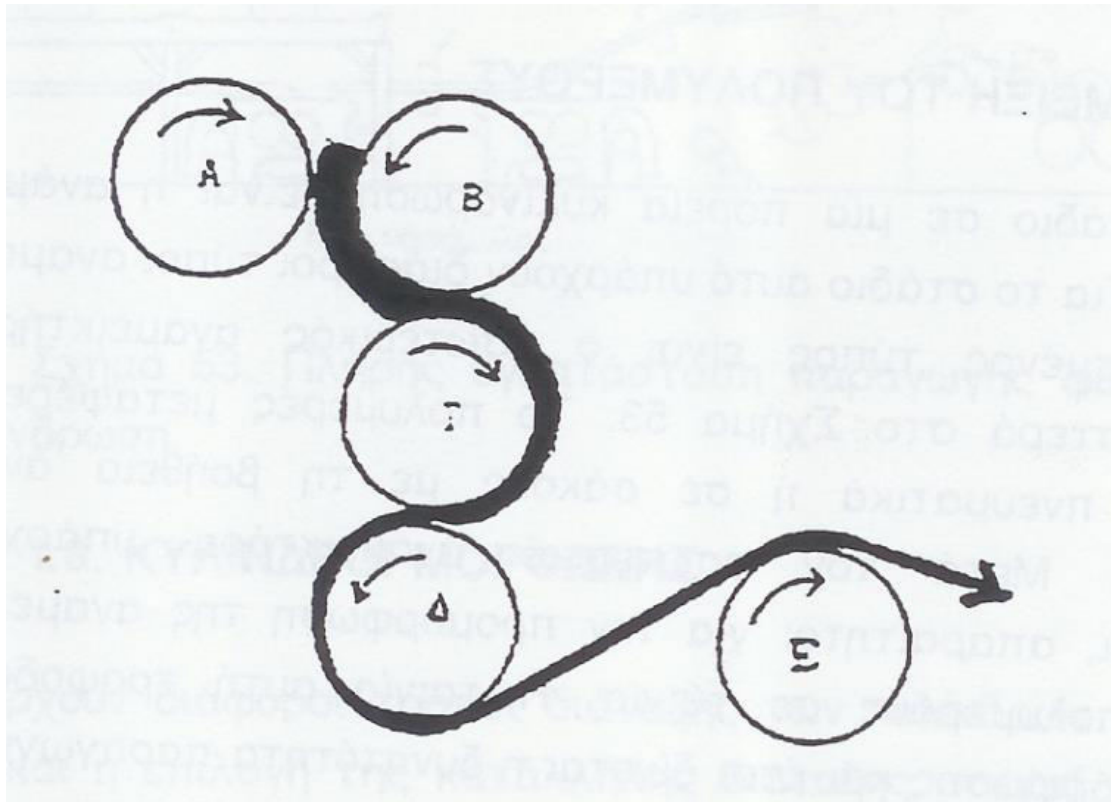
Η αρχή της τεχνικής είναι σχετικά απλή και μπορεί να περιγραφεί παραστατικά με το φούσκωμα ενός μπαλονιού. Καθώς ο αέρας εισέρχεται στο μπαλόνι δεν υπάρχει έξοδος διαφυγής και αναγκάζει το μπαλόνι να διογκωθεί παίρνοντας το τελικό σχήμα. Όσο το μπαλόνι διογκώνεται τα τοιχώματα αυτού γίνονται λεπτότερα. Στην περίπτωση των θερμπλαστικών αντί του μπαλονιού χρησιμοποιείται ένα προμόρφωμα (parison ή perform) όπως αποκαλείται στο οποίο γίνεται η εμφύσηση του αέρα. Ανάλογα με τον τρόπο που γίνεται ο σχηματισμός του προμορφώματος και η εμφύσηση αυτού διακρίνονται βασικά τρεις μέθοδοι μορφοποίησης με εμφύσηση και χρησιμοποιούνται στην παραγωγή των πλαστικών φιαλών συσκευασίας, των βάζων και άλλων αντικειμένων:

- μορφοποίηση με εξώθηση και εμφύσηση
- μορφοποίηση με έγχυση και εμφύσηση
- μορφοποίηση με έγχυση και τέντωμα κατά την εμφύσηση



Σχήμα 1.3 Διάταξη παραγωγής πλαστικής μεμβράνης με εκβολή και εμφύσηση 1. Εκβολέας, 2. Κυκλική μήτρα, 3. Παροχή αέρα, 4. Η μεμβράνη υπό μορφή σωλήνα, 5. Πλαίσιο για να κατευθύνει τη μεμβράνη, 6. Κύλινδροι έλξης, 7. Τύλιγμα της μεμβράνης σε ρολό [22].

Ε. Μηχανή κυλίνδρωσης-καλάνδρες (calenders): Χρησιμοποιείται ένα ρευστό τήγμα για να παράγει συνεχή φύλλα ορισμένου πάχους και πλάτους. Το τήγμα είναι δυνατό να τροφοδοτηθεί από μια μηχανή εξώθησης. Η θερμοκρασία των κυλίνδρων μπορεί να ρυθμιστεί εσωτερικά, με την παροχή νερού ή ατμού στο κενό εσωτερικό τους. Το παραγόμενο φύλλο, με τη βοήθεια άλλων διατάξεων, σύρεται, τεντώνεται, ψύχεται, κόβεται, τυλίγεται.



Σχήμα 1.4 Πρότυπο κυλίνδρωσης με τέσσερις κυλίνδρους [22].

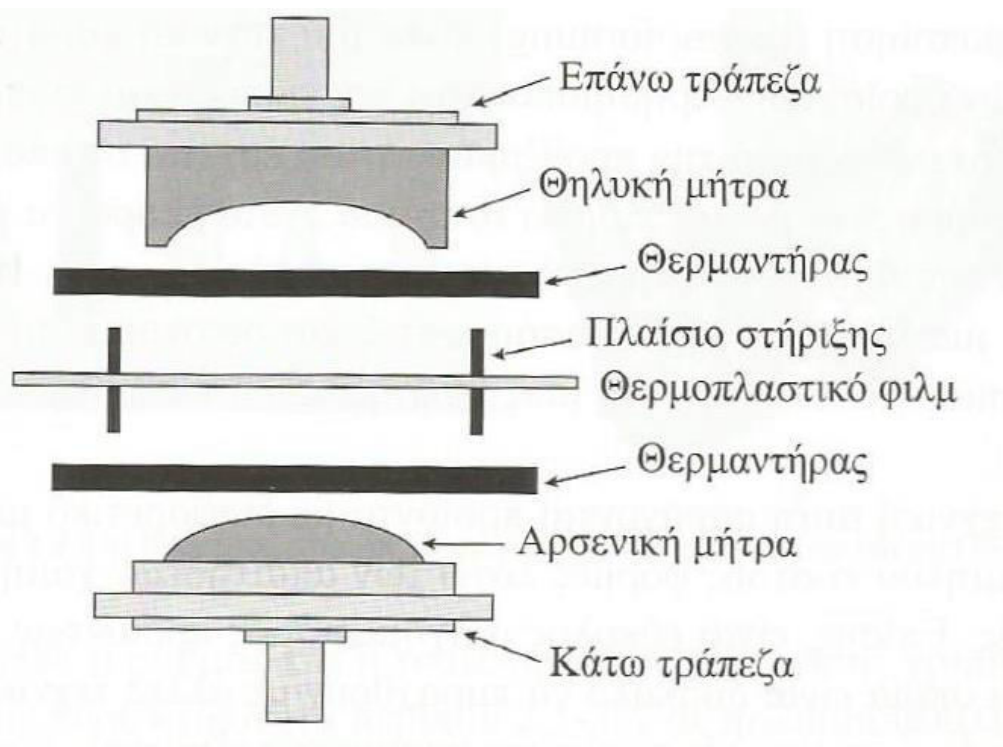
Η τεχνική αυτή ονομάζεται εξέλαση. Με τον όρο εξέλαση εννοούμε την τεχνική μορφοποίησης θερμοπλαστικών υλικών σε συνεχή φύλλα κατά την μεταφορά τους μεταξύ δύο ή περισσότερων κυλίνδρων. Το πολυμερές, συνήθως με τη μορφή σκόνης, εισέρχεται σε έναν αναμκτήρα μαζί με τα επιθυμητά πρόσθετα όπως πλαστικοποιητές ή πληρωτικά υλικά. Κατόπιν διέρχεται από ένα σύστημα ανίχνευσης μεταλλικών τεμαχίων που πιθανό να έχουν ρυπάνει το τήγμα, ενώ ταυτόχρονα λειτουργεί ένα σύστημα απομάκρυνσης των μεταλλικών τεμαχίων που ανιχνεύονται. Το μίγμα που προκύπτει συμπιέζεται σε μια σειρά από περιστρεφόμενους θερμαινόμενους κυλίνδρους και εξέρχεται με τη μορφή συνεχούς ισοπαχούς πολυμερικής μεμβράνης. Το πάχος των φύλλων εξέλασης κυμαίνεται μεταξύ 30 και 800  $\mu\text{m}$ , με ιδανικότερο εύρος τιμών μεταξύ 200 και 250  $\mu\text{m}$ .

Ακολουθεί ψύξη της παραγόμενης μεμβράνης η οποία συλλέγεται με τη μορφή ρολού. Η εξέλαση χρησιμοποιείται ευρέως για παραγωγή μεμβρανών από σκληρό και μαλακό πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), σκληρό PS και πολυολεφίνες.

Μία τυπική διάταξη παραγωγής μεμβράνης με την τεχνική της εξέλασης με τέσσερις κυλίνδρους παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.4. Η

τροφοδοσία γίνεται ανάμεσα στους κυλίνδρους Α και Β, η δοσιμετρία μεταξύ των κυλίνδρων Β και Γ και η μορφοποίηση μεταξύ των Γ και Δ, ενώ η ψύξη του φύλλου γίνεται στον κύλινδρο Ε.

ΣΤ. Χύτευση/θερμομόρφωση με πίεση ή με κενό (vacuum forming): Αποχύνεται το ρευστό σε μια μήτρα και μετά στερεοποιείται, Στην περίπτωση της μορφοποίησης με πίεση χρησιμοποιούνται πρέσες που ασκούν υψηλές πιέσεις στη μήτρα πάνω στην οποία βρίσκεται το μορφοποιούμενο πολυμερές. Στην περίπτωση της διαμόρφωσης με κενό δημιουργείται κενό στο εσωτερικό της μήτρας.

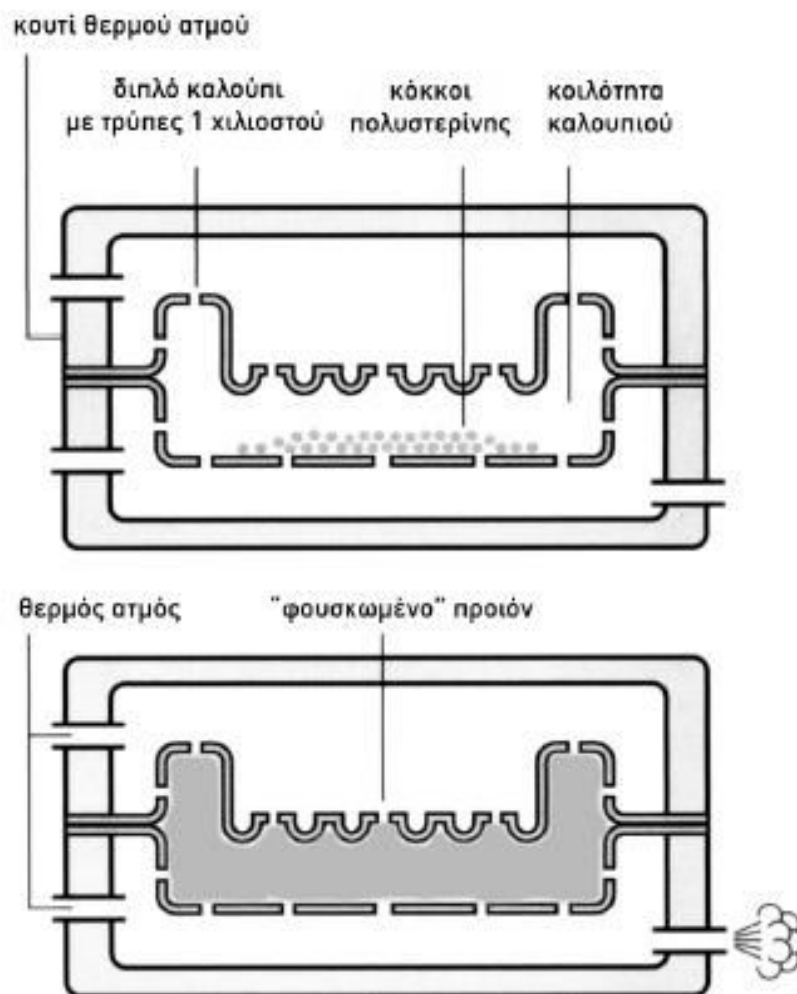


Σχήμα 1.5 Σχηματική παράσταση της θερμομορφοποίησης [21].

Η θερμομορφοποίηση χρησιμοποιεί τη θερμότητα και την πίεση για να μετασχηματιστεί ένα θερμοπλαστικό φύλλο (φιλμ) σε οποιαδήποτε προεπιλεγμένη μορφή. Υπάρχουν δύο τράπεζες από τις οποίες η μία κινείται προς την άλλη και έχουν ενσωματωμένες τις φόρμες του τελικού προϊόντος. Το θερμοπλαστικό φιλμ στερεώνεται μεταξύ των δύο τραπεζών και προθερμαίνεται με ένα ή δύο θερμαντικά στοιχεία. Στη συνέχεια αφού φτάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία μπορεί να πιεστεί στην επιφάνεια της φόρμας. Η ακρίβεια των διαστάσεων η οποία

αποτυπώνεται στο τελικό προϊόν από τη φόρμα εξαρτάται κυρίως από την ακρίβεια της επαφής μεταξύ του θερμού φύλλου και της φόρμας και κατά συνέπεια από την εφαρμοζόμενη πίεση. Το τελικό προϊόν ψύχεται, απομακρύνεται από το φύλλο με κοπή, και το πλεονάζον υλικό το οποίο δεν μορφοποιήθηκε αφαιρείται, αλέθεται, ανακατεύεται ξανά με παρθένο υλικό και ανακυκλώνεται.

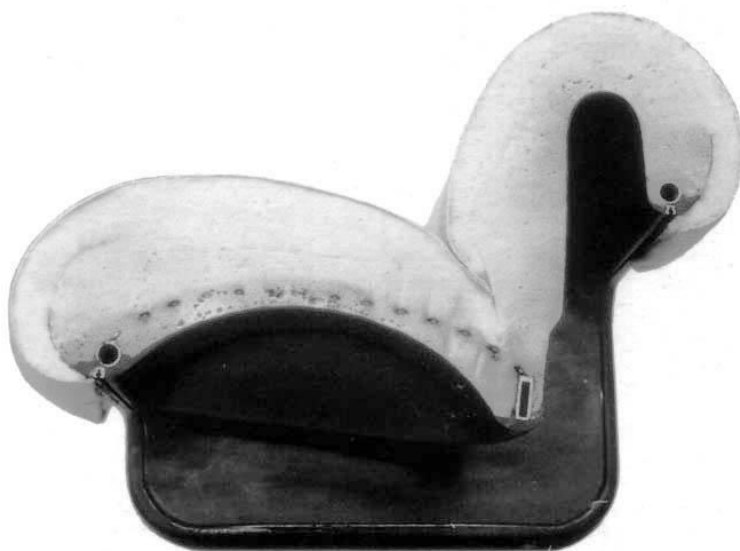
Η μέθοδος παραγωγής με διαστολή αφρώδους ελαστικού σε καλούπι (Expanded Foam Molding) χρησιμοποιείται για την κατασκευή διαφόρων αντικειμένων, όπως μαλακών καθισμάτων, συσκευασίες τροφίμων σε εστιατόρια fast food, σωσίβια, προστατευτικά υλικά σε συσκευασίες (πολυστερίνη) ηλεκτρονικών και άλλων προϊόντων. Η μέθοδος είναι αρκετά φτηνή.



Σχήμα 1.6 Διαδικασία παραγωγής με Διαστολή αφρώδους ελαστικού σε καλούπι [23].

Στο σχήμα 1.6 βλέπουμε τη διαδικασία παραγωγής, όπου κόκκοι πολυστερίνης τοποθετούνται στην κοιλότητα του καλουπιού και με την επίδραση της θερμότητας η πολυστερίνη διαστέλλεται και γεμίζει την κοιλότητα παίρνοντας το σχήμα του καλουπιού.

Με παρόμοια μέθοδο δημιουργούνται τα χυτά “λάστιχα” πολυουρεθάνης σε καθίσματα (Σχήμα 1.7). Ο σκελετός του καθίσματος μπαίνει σε ένα καλούπι όπου βάζουμε πολυουρεθάνη σε υγρή μορφή, η οποία στη συνέχεια διαστέλλεται και γεμίζει το καλούπι περικλείοντας το σκελετό και δίνοντας την τελική μορφή στο κάθισμα (θέση/πλάτη). Μετά, σε τελικό στάδιο, καλύπτεται με ύφασμα.



Σχήμα 1.7 Τομή πολυθρόνας [23].

Οι πολύ σημαντικές τεχνικές της εξώθησης, της έγχυσης και της περιστροφικής μορφοποίησης περιγράφονται αναλυτικά σε επόμενα κεφάλαια.

### **Πρόσθετα υλικά κατά τις διαδικασίες τροποποίησης-μορφοποίησης**

Η παρακάτω γενική κατάταξη των υλικών που χρησιμοποιούνται στις διαδικασίες διαμόρφωσης πλαστικών έχει γίνει με βάση τη χρήση του πρόσθετου υλικού και όχι με βάση τη χημική σύσταση ή την επικινδυνότητά του. Ο αριθμός των πρόσθετων ουσιών είναι τεράστιος.

- Αντιοξειδωτικά, σταθεροποιητές UV (φαινόλες, βενζοφαινόνη, ακρυλονιτρίλια υποκατεστημένα), TiO<sub>2</sub>.
- Ανόργανα πληρωτικά, όπως κιμωλία, τάλκης, άσβεστος, καολίνη, άμμος, χαλαζίας, γυαλί (ίνες ή σφαιρίδια). μέταλλα και οξειδιά τους (Al, Ni Cn, MgO, ZnO).
- Οργανικά πληρωτικά.
- Ίνες, ως μέσα ενίσχυσης, όπως άνθρακα, γυαλιού, αναγεννημένης κυτταρίνης.
- Μυκητοκτόνα - μικροβιοκτόνα - αντιβιοτικά.
- Επιβραδυντές καύσης (πολυβρωμοδιφαινυλαιθέρες).
- Χρωστικές
- Μέσα διόγκωσης, σταθεροποιητές, λιπαντικά, μέσα αύξησης του ιξώδους.
- Βελτιωτικά τραχύτητας, στιλπνότητας, αγωγιμότητας και άλλα.
- Πλαστικοποιητές (φθαλικοί, φωσφορικοί εστέρες), ρητίνες (εποξειδικές, τερπενικές), χλωριωμένες παραφίνες.

Η βιομηχανία πλαστικών κατά το στάδιο της παραγωγής του πολυμερούς, αλλά και κατά τις διεργασίες διαμόρφωσης, χρησιμοποιεί ένα πλήθος πρόσθετων υλικών. Τα υλικά αυτά μπορεί να είναι αδρανή και ακίνδυνα, όμως υπάρχει πλήθος υλικών με σημαντική τοξικότητα και επικινδυνότητα (π.χ. περιέχουν βαρέα μέταλλα, όπως Pb). Σε πολλές περιπτώσεις τα πρόσθετα αυτά καθιστούν τις διαδικασίες ανακύκλωσης των πλαστικών προϊόντων σχετικά δύσκολη.

Ενδιαφέρον παράδειγμα αποτελούν οι επιβραδυντές καύσης. Παλαιότερα χρησιμοποιούνταν πολυβρωμιωμένα διφαινύλια (PBB), ουσίες μεγάλης τοξικότητας και οικοτοξικότητας. Πιο ασφαλείς θεωρούνται, και χρησιμοποιούνται μέχρι τις μέρες μας, οι πολυβρωμοδιφαινυλαιθέρες. Παρόλα αυτά, θεωρούνται σήμερα ουσίες τοξικές και οικοτοξικές και έχει διαπιστωθεί ότι βιοσυσσωρεύονται, με αποτέλεσμα να είναι επικίνδυνες, ιδιαίτερα για το περιβάλλον. Η χρήση τους είναι υπό παρακολούθηση.



## 2. ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ

### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι συνεχείς καταναλωτικές μας ανάγκες, δημιουργούν ολοένα και περισσότερο την ανάγκη εύρεσης νέων τρόπων, μεθόδων και υλικών για την συσκευασία των καταναλωτικών μας προϊόντων. Τα τελευταία 20 χρόνια στον τομέα της συσκευασίας έχουν γίνει μεγάλες αλλαγές, έχουν βρεθεί νέα υλικά που χρησιμοποιούνται ως υλικά συσκευασίας, νέοι τρόποι και μέθοδοι λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης της τεχνολογίας.

Ένας καθοριστικός παράγοντας για την επιλογή του τρόπου και του υλικού συσκευασίας στις μέρες μας, λόγω της οικονομικής κρίσης, είναι το κόστος που προσδίδει στο προϊόν. Τα παραδείγματα αλλαγής συσκευασιών για οικονομικούς λόγους είναι πολλά και εμφανή, π.χ. ο καφές «Νες καφέ» ύστερα από δεκαετίες που συσκεύαζε το προϊόν σε μεταλλικό κυλινδρικό κουτί άλλαξε την συσκευασία σε γυάλινη και χάρτινη.

Ο όρος «συσκευασία» χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τόσο τη διαδικασία όσο και τα μέσα [7]. Παρακάτω αναφέρονται οι ορισμοί που δίνει ο Καρακασίδης [6] για τη συσκευασία μέσα από το πρίσμα της διαδικασίας και του μέσου.

- Η συσκευασία, σαν διαδικασία, είναι ένα συντονισμένο σύστημα κατά το οποίο τα αγαθά προετοιμάζονται ώστε να διευκολύνεται η μεταφορά, διανομή, η αποθήκευση, η λιανική πώληση και η τελική χρήση τους.
- Η συσκευασία, σαν μέσο, είναι κάθε προϊόν κατασκευασμένο από οποιοδήποτε υλικό, από πρώτες ύλες μέχρι επεξεργασμένα υλικά, και προοριζόμενο να χρησιμοποιείται για να περιέχει αγαθά. Σκοπός της είναι η προστασία των αγαθών, η διευκόλυνση της διακίνησης και της διάθεσης τους, καθώς και η ελκυστική παρουσίαση τους από τον παραγωγό μέχρι τον τελικό χρήστη ή καταναλωτή. Ως συσκευασίες θεωρούνται όλα τα είδη μιας ή πολλαπλής χρήσης που χρησιμοποιούνται για τον ίδιο σκοπό.

Από το Βρετανικό Ινστιτούτο Συσκευασίας ως συσκευασία (διαδικασία) ορίζεται [7]:

- Ένα συντονισμένο σύστημα προετοιμασίας των αγαθών για τη μεταφορά τους, διανομή, αποθήκευση, πώληση και χρήση.

- Ένας τρόπος (και μέσον) διασφάλισης ασφαλούς διανομής των αγαθών σε καλή κατάσταση στον τελικό καταναλωτή με το ελάχιστο ολικό κόστος.
- Μια τεχνοοικονομική διαδικασία που σκοπό έχει να ελαχιστοποιήσει το κόστος διανομής των αγαθών και να μεγιστοποιήσει τις πωλήσεις (και συνεπώς τα κέρδη)

Βάσει του Νόμου 2939/01 ως συσκευασία (μέσο) νοείται «κάθε προϊόν κατασκευασμένο από οποιοδήποτε είδος υλικού και προοριζόμενο να χρησιμοποιείται για να περιέχει αγαθά. Σκοπός της είναι η προστασία, διακίνηση, διάθεση και η παρουσίαση των αγαθών από τον παραγωγό μέχρι το χρήστη ή τον καταναλωτή».

## 2.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ

Ο σκοπός της συσκευασίας ενός προϊόντος είναι [6]:

1. Να καθιστά άνετη και ασφαλή τη μεταφορά του
2. Να παρέχει ευκολία στον τρόπο χρήσεως
3. Να παρουσιάζει καλή εμφάνιση
4. Να συνεπάγεται χαμηλό κόστος
5. Να προστατεύει το προϊόν από επιμολύνσεις, απώλειες και πάσης φύσεως βλάβες και αλλοιώσεις

Από τους σκοπούς της συσκευασίας προκύπτουν και οι ελάχιστες προϋποθέσεις που οφείλονται να τηρηθούν προκειμένου να επιτευχθούν οι σκοποί της συσκευασίας. Αυτές οι προϋποθέσεις μπορούν να χωριστούν σε τεχνικές, οικονομικές και σε προϋποθέσεις υγιεινής.

### *Προϋποθέσεις υγιεινής*

Μια συσκευασία δεν πρέπει να είναι εστία συγκεντρώσεως μικροοργανισμών ή μικροβίων. Σε αυτό ρόλο παίζει το χρησιμοποιούμενο υλικό και η όλη κατασκευή της συσκευασίας. Πρέπει να διαλέγεται πρώτη ύλη που να μη θέτει σε κίνδυνο τα συσκευασμένα σε αυτή προϊόντα και συμβάλει στη βέλτιστη διατήρησή τους.

Οι σύγχρονες, πολύχρωμες, εντυπωσιακές και καινοτόμες συσκευασίες έχουν διανύσει μεγάλη απόσταση από το ρόλο που διατελούσαν στο παρελθόν ως απλό περιέκτη του προϊόντος. Τον περασμένο αιώνα η συσκευασία αναπτύχθηκε σημαντικά πέρα από τον πρωταρχικό της σκοπό. Ενώ στο παρελθόν είχε λειτουργικό ρόλο πρωτίστως, τη προστασία και τη μεταφορά των προϊόντων καθώς και την

ενημέρωση των καταναλωτών για το περιεχόμενο προϊόν, σήμερα αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο του marketing mix.

Σήμερα η συσκευασία έχοντας καλύψει την προστασία της υγείας των καταναλωτών, έχει στρέψει το ενδιαφέρον της στην εξυπηρέτηση της άνεσης και της διευκόλυνσης του καταναλωτή. Η ιδιαίτερη ανάπτυξη του κλάδου της Συσκευασίας Τροφίμων, η συνεχής επινόηση νέων μορφών και υλικών συσκευασίας συμβάλει σε αυτή τη κατεύθυνση.

Μία συσκευασία πρέπει να ικανοποιεί τεχνικές και οικονομικές απαιτήσεις:

#### *Τεχνικές προϋποθέσεις*

- Μηχανική προφύλαξη προϊόντος (μηχανικές κακώσεις, προφύλαξη από το άμεσο περιβάλλον)
- Φυσικές προϋποθέσεις συσκευασίας (απορρόφηση ή απώλεια υγρασίας, φραγμός στη διαρροή ή διείσδυση αερίων, προστασία από ακτινοβολία ή φως, εύκολη επεξεργασία του υλικού συσκευασίας).
- Καθόσον αφορά τις συσκευασίες τροφίμων πρέπει από χημικής πλευράς να πληρούν τους όρους που θέτει ο Κώδικας Τροφίμων και Ποτών.
- Χημικές προϋποθέσεις συσκευασίας (το υλικό να μην αντιδρά με το προϊόν, ανθεκτικό σε περιβαλλοντικές επιδράσεις, δυνατότητα συμπληρωματικής επεξεργασίας πχ. βαφή, εκτύπωση).

#### *Οικονομικές προϋποθέσεις*

Βασική απαίτηση από μια συσκευασία είναι να μην είναι ακριβή. Το κόστος της συσκευασίας επηρεάζει το τελικό κόστος του προϊόντος, με αποτέλεσμα μια συσκευασία υψηλού κόστους να αυξάνει τη τελική τιμή του προϊόντος.

Πάντως, πρέπει να σημειωθεί ότι το κατά πόσον μία συσκευασία είναι οικονομική δεν εξαρτάται μόνο από το άμεσο κόστος της. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα είναι το βάρος, ο όγκος, το σχήμα, η μορφή και η ευκολία χρήσης.

Το φτηνότερο υλικό συσκευασίας δεν οδηγεί υποχρεωτικά σε χαμηλότερο κόστος. Το υλικό μπορεί να μην εντάσσεται στην υπάρχουσα γραμμή παραγωγής και να απαιτεί αγορά νέου εξοπλισμού για την επεξεργασία και διαμόρφωση του. Επίσης υπάρχει το ενδεχόμενο να μην προστατεύει επαρκώς το προϊόν μειώνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής του στο ράφι. Επίσης υπάρχουν και κόστη που δεν είναι άμεσα μετρήσιμα αλλά μπορεί να είναι εξαιρετικά σημαντικά όπως η μείωση

της εικόνας του προϊόντος και της εταιρείας που το παράγει, επιστροφές και ανασυσκευασία ελαττωματικών ή ακόμα και ποιοτικές ευθύνες παράβασης αγορανομικών και υγειονομικών κανονισμών.

## 2.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Πιθανότατα η πρώτη συσκευασία να ήταν φύλλα φυτών με τα οποία ο προϊστορικός άνθρωπος τύλιγε τα περισσεύματα της τροφής του για να τα χρησιμοποιήσει στις μεταναστεύσεις της φυλής ή σε αντίξοες συνθήκες. Οι πρώτες ιστορικά μαρτυρούμενες μορφές συσκευασίας αγαθών χρονολογούνται πριν από 5000 χρόνια στη Μεσοποταμία και ήταν πλεκτά καλάθια από λυγαριά που χρησιμοποιούνταν για τη μεταφορά των αγαθών.

Τα φύλλα δέντρων, το δέρμα των ζώων, το καλάθι από λυγαριά, ήταν τα πρώτα υλικά συσκευασίας. Οι άνθρωποι των αρχαίων χρόνων, ως κυνηγοί έφτιαχναν ασκούς από δέρματα ζώων, ιδιαίτερα τράγου, κατάλληλα επεξεργασμένα ώστε να χρησιμοποιούνται ως δοχεία υγρών. Αργότερα, χρησιμοποίησαν φυτικές ίνες και έμαθαν την τέχνη της αγγειοπλαστικής. Έπλεκαν καλάθια και κατασκεύαζαν βαρέλια από ξύλο. Βέβαια, οι πρώτες συσκευασίες δεν χρησιμοποιούνταν μόνο για μεταφορά αγαθών αλλά και για την αποθήκευση τροφίμων.

Για πολλούς αιώνες τα περισσότερα αγαθά δεν ήταν προσυσκευασμένα, αλλά πουλιόντουσαν χύμα από εξειδικευμένους λιανέμπορους όπως πχ. τον φαρμακοποιό, τον χασάπη και τον μανάβη. Ο λιανέμπορος ήταν εκείνος ο οποίος θα πρότεινε προϊόντα στον καταναλωτή. Τα προϊόντα που διέθετε το κάθε κατάστημα είτε προμηθεύονταν είτε αγοράζονταν σε μεγάλες χύμα ποσότητες και υπήρχαν στο κατάστημα χωρίς κάποια συσκευασία.

Με το πέρασμα του χρόνου οι παραγωγοί / κατασκευαστές άρχισαν να παράγουν κιβώτια με τα στοιχεία τους πάνω, όνομα παραγωγού / κατασκευαστή και διεύθυνση, για τη παρουσίαση των προϊόντων τους. Με αυτόν τον τρόπο ξεκίνησε η εμφάνιση των ονομάτων των παραγωγών / κατασκευαστών στα σημεία λιανικής πώλησης, τα οποία οι καταναλωτές έμαθαν να αναγνωρίζουν και να συσχετίζουν το προϊόν με το όνομα του παραγωγού / κατασκευαστή και έτσι ήταν σε θέση να ζητούν ξανά το ίδιο.

Κατά τη διάρκεια του 18ου αιώνα, οι παραγωγοί / κατασκευαστές ξεκίνησαν να φτιάχνουν τα δικά τους περιτυλίγματα ή ετικέτες με πιο πολλά διακοσμητικά στοιχεία για να ξεχωρίζει το όνομα τους ανάμεσα στα υπόλοιπα ανταγωνιστικά που εκθέτονταν στο ράφι του λιανοπωλητή. Τα πρώτα σχέδια που εμφανίστηκαν στις ετικέτες είχαν καθαρά

διακοσμητικό χαρακτήρα και δεν εξυπηρετούσαν κάποια συγκεκριμένη στρατηγική.

Κατά τη διάρκεια του 1850 αρχίζει να χρησιμοποιείται χρώμα για την ενίσχυση των γραφικών στοιχείων της ετικέτας. Έτσι η χρήση των ετικετών έγινε ευρέως διαθέσιμη και οικονομικότερη για τη χρήση τους πάνω σε συσκευασίες, ενώ η οικονομία κλίμακας σε μεγάλες ποσότητες επέτρεψε την γρήγορη ανάπτυξη του σχεδιασμού της συσκευασίας.

Με την αύξηση της καταναλωτικής ζήτησης για πιο διευρυμένη γκάμα προϊόντων, οι λιανοπωλητές χρειάστηκε να προμηθεύουν πιο πολλά προϊόντα, μεταστρέφοντας έτσι τη προσοχή τους στη προμήθεια από ότι στη παροχή υπηρεσιών που παρείχαν στους καταναλωτές με επεξηγήσεις και συμβουλές σχετικά με τα προϊόντα που διακινούσαν.

Οι κοινωνικές αλλαγές που συντελέστηκαν, συμπεριλαμβανομένης και της αύξησης του αριθμού των εργαζομένων γυναικών και την επιτακτική ανάγκη για συγκεντρωτικά ψώνια, οδήγησε στην ανάπτυξη ολοένα και μεγαλύτερων καταστημάτων με την ανάδυση των super markets τις τελευταίες τρεις δεκαετίες.

Τα super markets παρείχαν μια ευρεία γκάμα προϊόντων και επειδή ήταν σελφ – σερβις ο καταναλωτής βρέθηκε να πρέπει να αποφασίζει μόνος του ποιο προϊόν θα αγοράσει χωρίς τη σύσταση ή συμβουλή του λιανοπωλητή που υπήρχε μέχρι πρότινος. Η ανάπτυξη των σελφ-σερβις καταστημάτων οδήγησε στην ανάγκη η συσκευασία να γίνεται γρήγορα αναγνωρίσιμη καθιστώντας τη το «σιωπηλό πωλητή». Τη περίοδο εκείνη ο ρόλος της συσκευασίας ενισχύθηκε και επεκτάθηκε από την αναγνώριση του προϊόντος και μόνο, καθώς επωμίστηκε τη παροχή πληροφοριών στους καταναλωτές σχετικά με το περιεχόμενο προϊόν ενώ παράλληλα όφειλε να τους πείσει για την ποιότητα και για την υπεροχή του συγκριτικά με τα υπόλοιπα ανταγωνιστικά προϊόντα.

## **2.4 ΣΤΟΧΟΙ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ**

Σε τρία διαφορετικά περιβάλλοντα η συσκευασία καλείται να επιτελέσει τις λειτουργίες της. Η αδυναμία της συσκευασίας να καλύψει τις ανάγκες και τις ιδιαιτερότητες του κάθε περιβάλλοντος μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση του κόστους, παράπονα πελατών μέχρι και την απόρριψη του προϊόντος από τους καταναλωτές.

### *Φυσικό περιβάλλον*

Αποτελεί το περιβάλλον όπου μηχανικές φθορές μπορεί να προκληθούν στο προϊόν. Ξαφνικές προσκρούσεις κατά τη διάρκεια φορτώσεων και εκφορτώσεων, κραδασμοί κατά τη διάρκεια μεταφοράς και συμπίεση των προϊόντων που εκπίπτουν από τον τρόπο τοποθέτησης

τους κατά την αποθήκευση ή μεταφορά, συμπεριλαμβανομένου και του οικιακού περιβάλλοντος, αποτελούν μερικές αιτίες για τη πρόκληση φθορών.

#### *Ανθρώπινο περιβάλλον*

Αποτελεί το περιβάλλον όπου η συσκευασία έρχεται σε επαφή με τους καταναλωτές. Καθώς μια από τις λειτουργίες της συσκευασίας είναι η επικοινωνία, η ξεκάθαρη κατανόηση του μηνύματος που επικοινωνεί η συσκευασία από τους καταναλωτές είναι ιδιαίτερα σημαντικό. Γνώσεις για τις δυνατότητες και περιορισμούς της ανθρώπινης όρασης καθώς και των διαφόρων νομοθετικών διατάξεων (πχ υποχρεωτική ευδιάκριτη αναγραφή των συστατικών και του βάρους του προϊόντος πάνω στη συσκευασία) είναι απαραίτητες για τον σχεδιασμό μιας «αποδοτικής» συσκευασίας.

Για τη μεγιστοποίηση της λειτουργικότητας της η συσκευασία θα πρέπει να διευκολύνει τον χρήστη στο άνοιγμα και τη χρήση του. Οι περιεχόμενες ποσότητες του προϊόντος οφείλουν να εξυπηρετούν τις ανάγκες και τις απαιτήσεις του σύγχρονου καταναλωτή. Για προϊόντα που δεν καταναλώνονται απευθείας από το πρώτο άνοιγμα, η συσκευασία τους θα πρέπει να κλείνει ερμητικά και να διατηρεί ανέπαφη τη ποιότητα του προϊόντος.

#### *Άμεσο περιβάλλον*

Αποτελεί το περιβάλλον που περικλείει τη συσκευασία. Φθορές στο προϊόν μπορεί να προκληθούν από έκθεση σε αέρια (ιδίως οξυγόνου), υγρασία, νερό, φως (ακτίνες UV), θερμότητα ή κρύο, καθώς και σε μικροοργανισμούς. Ρύποι, όπως το καυσαέριο, η σκόνη, ακαθαρσίες και γενικά ξένες ύλες, που υπάρχουν στο περιβάλλον μπορεί να φτάσουν στο περιεχόμενο προϊόν εκτός και αν η συσκευασία λειτουργεί ως έναν αποτελεσματικό φραγμό.

Οι λειτουργίες που επιτελεί η συσκευασία είναι [7]:

- Συγκράτηση του προϊόντος
- Προστασία του περιεχόμενου προϊόντος
- Διευκόλυνση στην προμήθεια και χρήση του προϊόντος από τον καταναλωτή
- Επικοινωνία με τον καταναλωτή

#### *Συγκράτηση*

Αυτή η λειτουργία της συσκευασίας είναι τόσο προφανής που συχνά παραβλέπεται. Αποτελεί όμως μια από τις πιο σημαντικές καθώς η μεταφορά, αποθήκευση και διατήρηση κάποιων προϊόντων, πχ. υγρής

μορφής θα ήταν αδύνατη. Η συσκευασία εξαλείφει τις πιθανότητες απώλειας προϊόντος κατά τη μεταφορά και αποθήκευση αυτού.

### *Προστασία περιεχομένου*

Ο βασικότερος σκοπός της συσκευασίας είναι η προστασία του περιεχομένου προϊόντος. Από την παραγωγή μέχρι την κατανάλωση μεσολαβεί ένα χρονικό διάστημα κυμαινόμενο μεταξύ λίγων ωρών μέχρι και λίγων ετών. Στο διάστημα αυτό το προϊόν πρέπει να προστατευθεί από κάθε κίνδυνο ώστε να διατηρήσει την πρωταρχική του ποιότητα. Αναλυτικότερα η συσκευασία πρέπει να προσφέρει στο τρώσιμο προστασία από μηχανικές φθορές, υγρασία και αέρια του περιβάλλοντος, φως, μεγάλες θερμοκρασιακές αλλαγές του περιβάλλοντος, μικροβιακή επιμόλυνση, σκόνες, ακαθαρσίες, ξένες ύλες, έντομα και τρωκτικά. Όλα αυτά δε να τα επιτυγχάνει χωρίς να επιφέρει αλλοιώσεις στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων ούτε να μεταφέρει σε αυτά ουσίες επιβλαβής για την υγεία των καταναλωτών.

### *Διευκόλυνση στη προμήθεια και χρήση του προϊόντος από τον καταναλωτή*

Τα τελευταία 60 χρόνια σημειώθηκαν μεγάλες αλλαγές στον τρόπο ζωής των ανθρώπων στις αναπτυγμένες χώρες. Οι καταναλωτές προμηθεύονται πλέον τα τρόφιμα τους, συσκευασμένα στις ποσότητες που τα χρειάζονται από τα super markets γρηγορότερα και φτηνότερα από τα παραδοσιακά παντοπωλεία του παρελθόντος. Πολλές φορές δε τα τρόφιμα καταναλώνονται απευθείας από τη συσκευασία τους, αφού έχει προηγηθεί μια ελάχιστη προετοιμασία του γεύματος. Έτσι η συσκευασία κάνει ευκολότερη την προμήθεια και τη χρήση των προϊόντων από το σύγχρονο καταναλωτή.

Επιδιώκεται η δυνατότητα εύκολου ανοίγματος και κλεισίματος της συσκευασίας ώστε ο καταναλωτής να λαμβάνει άνετα και με ασφάλεια την επιθυμητή ποσότητα ενός τροφίμου. Επίσης επιδιώκεται η διαμόρφωση της συσκευασίας σε τέτοιο σχήμα και σε τέτοιες διαστάσεις ώστε να είναι εύκολη η αποθήκευση των τροφίμων σε αποθήκες και δυνατή η τοποθέτηση τους σε οικιακά αγαθά.

### *«Επικοινωνία» με τον καταναλωτή*

Η συσκευασία είναι «ο σιωπηρός πωλητής» του προϊόντος. Η συσκευασία πρέπει να προσελκύει την προσοχή του αγοραστή και να τον πείθει να το αγοράσει. Μέσω ενδείξεων που αναγράφονται, η συσκευασία παρέχει πληροφορίες στον καταναλωτή σχετικά με το προϊόν: γνωστοποιεί τον παρασκευαστή, την ποσότητα, ποιότητα, σύσταση και θρεπτική αξία του προϊόντος, παρέχει οδηγίες για τον τρόπο χρήσης. Τα super markets μπορούν και λειτουργούν ως καταστήματα αυτοεξυπηρέτησης ακριβώς διότι οι καταναλωτές μπορούν να

αναγνωρίζουν αμέσως το εμπορικό σήμα του παραγωγού, άρα και την αναμενόμενη ποιότητα του προϊόντος από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της συσκευασίας του.

Η ύπαρξη πληροφοριών για τη σύσταση και θρεπτική αξία του τροφίμου, τυπωμένων στην εξωτερική επιφάνεια της συσκευασίας είναι πλέον υποχρεωτική από τη νομοθεσία σε πολλές χώρες. Ο γραμμωτός κώδικας (bar code) που τυπώνεται στη συσκευασία επιτρέπει την αναγνώριση του προϊόντος από τις σαρωτικές μηχανές στα σημεία πώλησης. Οι αποθήκες και τα κέντρα διανομής θα ήταν αδύνατο να λειτουργήσουν αν δεν υπήρχαν επιγραφές και γραμμωτοί κώδικες με πληροφορίες του περιεχομένου.

## **2.5 ΤΑ ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΩΣ ΥΛΙΚΑ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ**

Ο όρος πλαστικό (plastic) χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει μια ομάδα υλικών που προέρχονται από συνθετικά ή τροποποιημένα φυσικά πολυμερή και μπορούν να μορφοποιηθούν σε διάφορα σχήματα και αντικείμενα συνήθως μετά από θέρμανση και άσκηση πίεσης. Στην πράξη ο όρος «πλαστικό» και «πολυμερές» χρησιμοποιούνται αδιακρίτως, αλλά συνήθως ο όρος «πλαστικό» αναφέρεται στο τελικό προϊόν, ενώ ο όρος «πολυμερές» περιγράφει την πρώτη ύλη για τη κατασκευή του αντικειμένου και αποτελεί περισσότερο επιστημονική ορολογία.

Κατά τους Καρακασίδη [6] και Παπαδάκη [7] τα πλαστικά μέσα συσκευασίας διακρίνονται σε:

- Δύσκαμπτα πλαστικά (π.χ. φιάλες, δοχεία, κύπελλα)
- Εύκαμπτα πλαστικά (π.χ. φύλλα, φιλμ, σακούλες)

Η πλαστική συσκευασία χρησιμοποιείται σε πληθώρα εφαρμογών και κατέχει σημαντική θέση στον ευρύτερο κλάδο της συσκευασίας. Οι πλαστικές φιάλες έχουν αντικαταστήσει σε μεγάλο βαθμό το γυαλί στη συσκευασία αναψυκτικών, εμφιαλωμένου νερού, λαδιού και άλλων υγρών τροφίμων. Οι ιδιότητες της πλαστικής συσκευασίας, οι οποίες επιτρέπουν την ασφαλή μεταφορά και συντήρηση των προϊόντων, σε συνδυασμό με το χαμηλό βάρος της, την καθιστούν ιδιαίτερα ανταγωνιστική, επίσης δίνει τη δυνατότητα εύκολης μορφοποίησης, πραγματοποίησης ποιοτικών εκτυπώσεων στην επιφάνεια τους και ανάμειξη με άλλα υλικά δημιουργώντας πρακτικά και ασφαλή είδη συσκευασίας. Ως μειονέκτημα θεωρείται το γεγονός πως δεν είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον σε σχέση με άλλα υλικά.

Οι σημαντικότεροι βιομηχανικοί πελάτες της συσκευασίας είναι οι κλάδοι «Τρόφιμα-Ποτά», «Χημικές Ουσίες-Προϊόντα», «Καπνός» και



«Προϊόντα από μη Μεταλλικά Ορυκτά». Το ελαιόλαδο, οι ελιές, τα γαλακτοκομικά, το παγωτό, τα αναψυκτικά, το εμφιαλωμένο νερό και τα ζυμαρικά είναι μερικά μόνο από τα προϊόντα τα οποία συσκευάζονται με πλαστική συσκευασία. Επίσης η πλαστική συσκευασία χρησιμοποιείται συχνά σε απορρυπαντικά, καλλυντικά, φάρμακα, χρώματα και χημικά.

Θετικές διαγράφονται οι προοπτικές του Κλάδου Πλαστικής Συσκευασίας, σύμφωνα με μελέτη του Ιδρύματος Οικονομικών και Βιομηχανικών Ερευνών [9] καθώς:

- οι βιομηχανικοί πελάτες του κλάδου συσκευασίας παρουσιάζουν αυξημένες δυνατότητες εξαγωγών, γεγονός που θα συντελέσει στην αύξηση των αναγκών της αγοράς σε πλαστικά είδη συσκευασίας,
- παρατηρείται τάση υποκατάστασης της συσκευασίας άλλων υλικών με πλαστική,
- υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας νέων και βελτιωμένων προϊόντων.

Το θεσμικό πλαίσιο που επιβάλλει την ανάγκη τυποποίησης των προϊόντων για την προστασία των καταναλωτών σε συνδυασμό με τις περιβαλλοντικές ρυθμίσεις για μείωση του όγκου και του βάρους συσκευασίας θέτουν την πλαστική συσκευασία σε πλεονεκτική θέση έναντι των συσκευασιών άλλων υλικών. Θετικά επηρεάζουν τον κλάδο και ορισμένες κοινωνικοοικονομικές αλλαγές, όπως η αύξηση των μονοπρόσωπων νοικοκυριών, η έλλειψη χρόνου προετοιμασίας σπιτικών γευμάτων, η αλλαγή των διατροφικών συνηθειών έχουν δημιουργήσει εντονότερη την ανάγκη για εύχρηστες συσκευασίες. Την ανάγκη αυτή καλύπτει σε σημαντικό βαθμό η πλαστική συσκευασία συγκριτικά με συσκευασίες άλλων υλικών [9].

## **2.6 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΩΝ**

Υπάρχουν πολλά παραδείγματα πλαστικών συσκευασιών στην καθημερινή μας ζωή, μερικά από αυτά είναι:



Σχήμα 2.1 Συσκευασίες τροφίμων.

Ίσως η μεγαλύτερη ποικιλία πλαστικών συσκευασιών αφορά την φύλαξη-μεταφορά των τροφίμων. Υπάρχουν σε διάφορα μεγέθη, με διαφορετική αντοχή (μαλακά ή σκληρότερα), σε διάφορα χρώματα και σχήματα.



Σχήμα 2.2 Συσκευασίες απορρυπαντικών.

Μία ακόμα πλούσια κατηγορία πλαστικών συσκευασιών είναι και τα απορρυπαντικά. Λόγω της ευρησιτίας των πλαστικών συσκευασιών χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε αυτόν το κλάδο.



Σχήμα 2.3 Συσκευασίες τύπου σακούλα.

Οι εν λόγω συσκευασίες κυριαρχούν σε διάφορες κατηγορίες προϊόντων, όπως παιχνίδια, μικροαντικείμενα, γραφικές ύλες και άλλα πολλά. Έχουν το πλεονέκτημα του ελάχιστου βάρους, προσαρμόζεται εύκολα στο σχήματα του αντικειμένου που θέλει να συσκευάσει, αναδιπλώνεται, είναι διάφανο με αποτέλεσμα να φαίνεται το προϊόν που περιβάλλει.



Σχήμα 2.4 Συσκευασίες μπουκάλια.

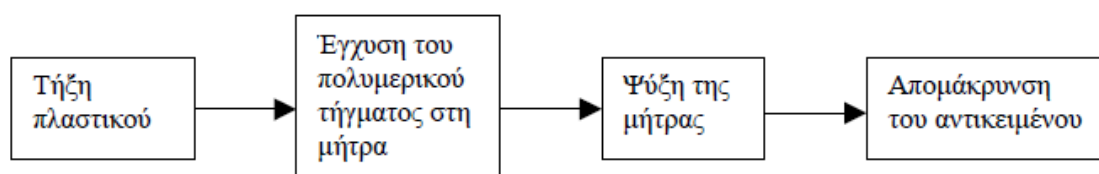
Οι συσκευασίες μπουκαλιών περιορίζονται στη συσκευασία υγρών. Η ποικιλία και εδώ είναι μεγάλη, στο σχήμα, στο μέγεθος, στην σκληρότητα του υλικού και στα χρώματα.

### 3. ΧΥΤΕΥΣΗ ΜΕ ΕΓΧΥΣΗ

#### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η διεργασία χύτευσης με έγχυση (injection) πολυμερικών τηγμάτων χρησιμοποιείται στη βιομηχανία πλαστικών για την παραγωγή παντός είδους αντικειμένων που παλαιότερα γίνονταν με μέταλλα. Η διεργασία είναι επομένως από τις πιο κοινές στη μορφοποίηση πλαστικών. Αντικείμενα που παράγονται με έγχυση σε μήτρες χύτευσης (καλούπια) συμπεριλαμβάνουν από συνδετήρες χαρτιών μέχρι προφυλακτήρες αυτοκινήτων, και από κύπελλα καφέ μέχρι περιβλήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών. Λόγω της τρομερής ευχρηστίας, ευελιξίας, και ολικού βιομηχανικού όγκου πλαστικών που παράγονται με τη διεργασία αυτή, αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές διεργασίες μορφοποίησης πλαστικών που υπάρχουν σήμερα.

Αναφορικά με τα βασικά στάδια της διεργασίας, η χύτευση με έγχυση μπορεί να παρουσιαστεί σχηματικά όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1. Το πολυμερικό στερεό υλικό τήκεται, και το πολυμερικό τήγμα μεταφέρεται στη μήτρα, όπου εγχύεται κάτω από υψηλή πίεση. Η μήτρα ψύχεται για τη στερεοποίηση του προϊόντος, κατόπιν ανοίγει, και το τελειωμένο πλαστικό αντικείμενο εκβάλλεται. Η μήτρα κλείνει και ο κύκλος επαναλαμβάνεται.



Σχήμα 3.1 Σχηματική παράσταση των διαφόρων σταδίων της διεργασίας χύτευσης με έγχυση [4].

#### 3.2 ΚΑΛΟΥΠΙ

Το καλούπι είναι το σημαντικότερο στοιχείο μιας μηχανής έγχυσης αφού με βάση τη σχεδίαση αυτού θα παραχθεί το τελικό προϊόν. Αν και ο

αρχικός σκοπός του καλουπιού είναι να καθοριστεί η μορφή του τελικού προϊόντος, εκτελεί επίσης διάφορες άλλες εργασίες. Κατευθύνει το πολυμερικό τήγμα από τον κύλινδρο θέρμανσης στην κοιλότητα, απομακρύνει τον παγιδευμένο αέρα ή τα αέρια διάσπασης, ψύχει το πλαστικό έως ότου γίνει άκαμπτο και εκτινάσσει το σχηματοποιημένο προϊόν χωρίς την πρόκληση ζημιάς.

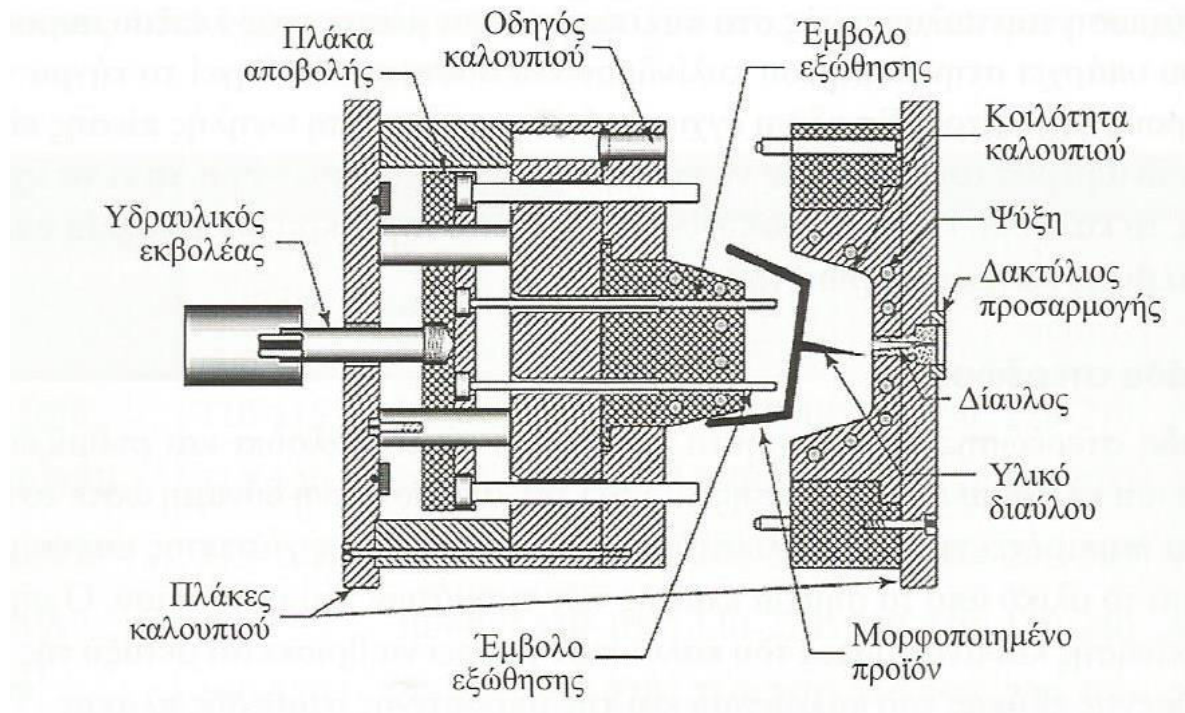
Το σχέδιο του καλουπιού και η κατασκευή του καθορίζουν κατά ένα μεγάλο μέρος την ποιότητα του τελικού προϊόντος και το κόστος παραγωγής του.

Το καλούπι περιγράφεται από διάφορα κριτήρια στα οποία συμπεριλαμβάνονται:

- ο αριθμός κοιλοτήτων στη φόρμα,
- το υλικό κατασκευής του (π.χ. χάλυβας, χαλκός, χρωμιωμένο αλουμίνιο κ.ά.),
- η γραμμή διαχωρισμού,
- το σύστημα δρομέων για την έγχυση του τήγματος,
- ο τρόπος ψύξης και
- η μέθοδος εκτίναξης του τελικού προϊόντος.

Τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα καλούπι είναι οι πλάκες του καλουπιού, ο μηχανισμός κίνησης για το άνοιγμα και το κλείσιμο του καλουπιού, ο μηχανισμός απομάκρυνσης του στερεοποιημένου αντικειμένου, οι συνδετικές μπάρες και το προστατευτικό κάλυμμα (Σχήμα 3.2).

Α) Πλάκες καλουπιού. Πρόκειται για δύο ή περισσότερες πλάκες από ατσάλι πάνω στις οποίες έχει σχεδιαστεί το αντικείμενο που θα παραχθεί. Η μία από τις πλάκες βρίσκεται πακτωμένη στην άκρη του κυλίνδρου της μηχανής ενώ η δεύτερη μπορεί να μετακινείται πάνω στις μεταλλικές ράβδους που συνδέουν τη μονάδα του καλουπιού με την κυρίως μηχανή. Όταν η μετακινούμενη πλάκα έρθει σε επαφή με τη σταθερή (κλείσιμο του καλουπιού) στο εσωτερικό μέρος του διαχωριστικού επιπέδου παραμένει ένα κενό, δηλαδή ένας χώρος όπου οι δύο πλάκες δεν εφάπτονται πλήρως. Αυτή η κοιλότητα έχει το ίδιο μέγεθος και το σχήμα του αντικειμένου που θα παραχθεί. Το πολυμερικό τήγμα εισέρχεται με υψηλή πίεση και ταχύτητα από τον κύλινδρο της συσκευής έγχυσης δια μέσου ενός διαύλου στο καλούπι και πληρώνει τον κενό χώρο. Μετά την ψύξη τα έμβολα εξώθησης, κινούμενα από έναν υδραυλικό εξογκέα, απομακρύνουν το αντικείμενο από το καλούπι. Οι λείες επιφάνειες του καλουπιού που στοχεύουν στην καλύτερη εμφάνιση του παραγόμενου προϊόντος διευκολύνουν και την απομάκρυνσή του από το εσωτερικό του καλουπιού.



Σχήμα 3.2 Διάταξη καλουπιού [21].

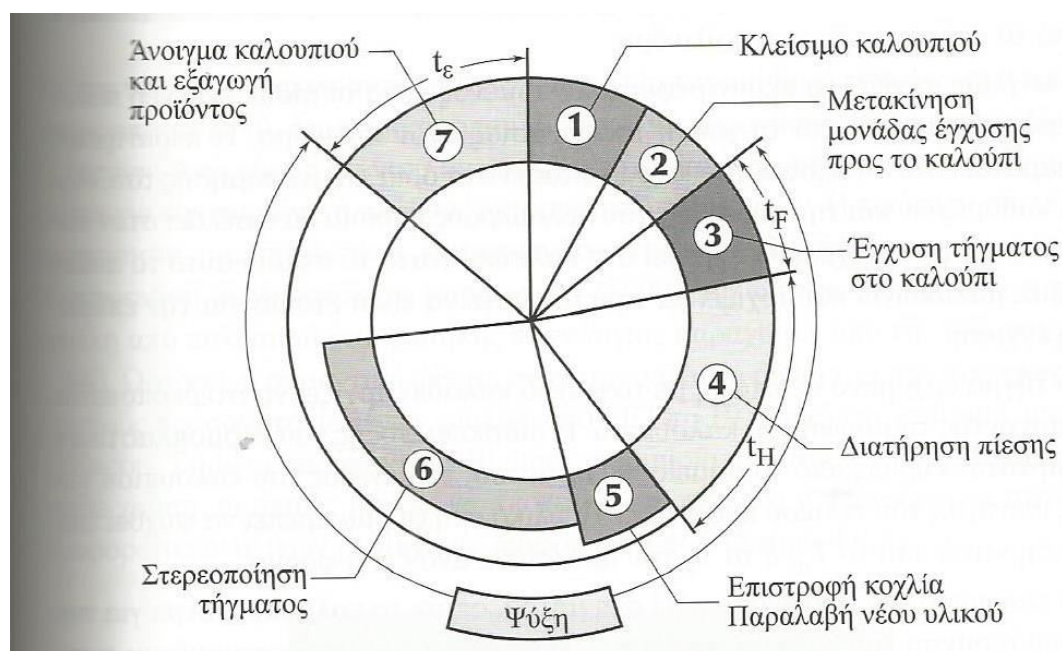
Β) Συνδετικές Μπάρες. Οι περισσότερες μηχανές έχουν τέσσερις μπάρες οι οποίες συνδέουν τις δύο πλάκες μεταξύ τους. Είναι φτιαγμένες από ατσάλι υψηλής αντοχής, ενώ η επιφάνειά τους είναι ιδιαίτερα λεία για να μεταφέρεται με ευκολία και χωρίς την ανάπτυξη υψηλών τριβών η μετακινούμενη πλάκα του καλουπιού.

Γ) Μηχανισμός απομάκρυνσης του στερεοποιημένου αντικειμένου. Αποτελείται από έναν υδραυλικό εξολκέα με κατάλληλα διατεταγμένα έμβολα μικρής διαμέτρου. Η απομάκρυνση του αντικειμένου γίνεται με ταχύτατο χτύπημα του αντικειμένου από αυτά τα έμβολα σε προκαθορισμένα σημεία (νεύρα) ώστε να μην προκληθεί καταστροφή του τελικού προϊόντος.

Δ) Κάλυμμα ασφαλείας. Το τμήμα του καλουπιού είναι ίσως το πιο επικίνδυνο κομμάτι μιας μηχανής έγχυσης αφού κατά το κλείσιμο του καλουπιού εφαρμόζονται τεράστιες πιέσεις. Για λόγους ασφαλείας θα πρέπει κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της μηχανής να περιορίζεται η πρόσβαση στο τμήμα αυτό. Χρησιμοποιούνται ειδικά διαμορφωμένα μεταλλικά καλύμματα τα οποία απομονώνουν αυτόματα το χώρο αυτό κατά τη διάρκεια του κλεισίματος του καλουπιού.

### 3.3 ΤΥΠΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η μορφοποίηση ενός θερμοπλαστικού υλικού σε μια μηχανή έγχυσης είναι μία σύνθετη διαδικασία και διακρίνεται στα ακόλουθα στάδια που φαίνονται στο σχήμα 3.3.



Σχήμα 3.3 Τυπικός κύκλος μορφοποίησης [21].

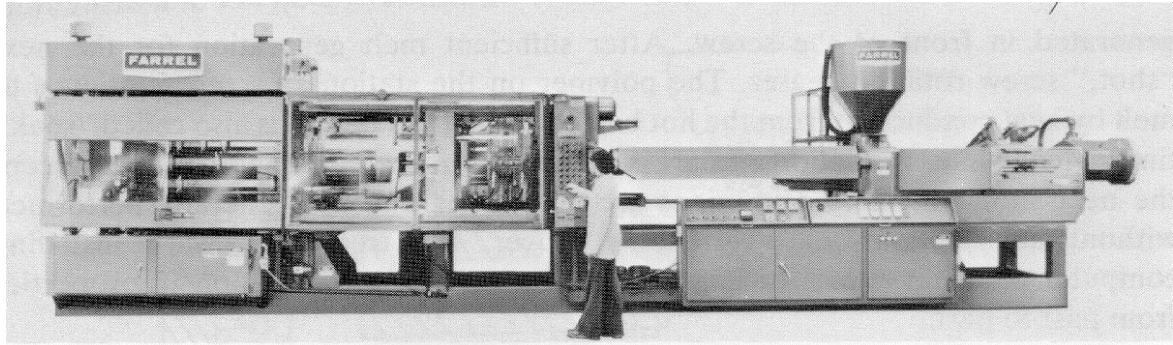
1. Μετά την εξαγωγή του προηγούμενου αντικειμένου το καλούπι κλείνει πάλι υδραυλικά και ξεκινά ο νέος κύκλος παραγωγής.
2. Μετακινείται η μονάδα έγχυσης και εφαρμόζει στεγανά στο καλούπι, οπότε το ακροφύσιο έρχεται σε επαφή με τη μήτρα.
3. Το τήγμα αναγκάζεται λόγω της υψηλής πίεσης που ασκείται από τον κοχλία να εισέλθει στο καλούπι διά μέσου ενός διαύλου. Κατά τη διάρκεια της έγχυσης του τήγματος η πίεση συνεχώς αυξάνεται. Οι πιέσεις που αναπτύσσονται στο στάδιο αυτό είναι περίπου 8000-40000 Pa και εξαρτώνται κυρίως από το μέγεθος του καλουπιού και το ιξώδες του πολυμερικού τήγματος. Υπάρχει μία πτώση πίεσης κατά μήκος της πορείας ροής του τήγματος από το ακροφύσιο μέχρι το τελευταίο σημείο του καλουπιού. Έτσι για να πληρωθούν όλα τα τμήματα του καλουπιού με πολυμερές θα πρέπει η πίεση να είναι αρκετά υψηλή. Η ποσότητα του πολυμερούς που θα εγχυθεί εξαρτάται από το μέγεθος της κοιλότητας του καλουπιού.



4. Η πίεση που ασκεί ο κοχλίας έχει φτάσει στο μέγιστο και συνεχίζει να διατηρείται επιτρέποντας να εισέλθει ακόμα λίγο τήγμα στο καλούπι από τα κανάλια διανομής πριν αρχίσει το πολυμερές να στερεοποιείται. Το στάδιο αυτό είναι γνωστό ως στάδιο διατήρησης της πίεσης ενώ ο χρόνος που απαιτείται θα πρέπει να είναι αρκετός ώστε να πληρωθούν όλα τα κενά του καλουπιού με πολυμερές. Επίσης, η διατήρηση της πίεσης αποτρέπει την επιστροφή υλικού από το καλούπι προς τον κύλινδρο.
5. Ο κοχλίας αρχίζει να περιστρέφεται κινούμενος προς τα πίσω, ενώ νέο πολυμερές εισέρχεται από τη χοάνη τροφοδοσίας στον κύλινδρο. Η περιστροφή σταματάει όταν ο άξονας του κοχλίου φτάσει στα όρια παλινδρόμησής του. Αυτά καθορίζουν και την ποσότητα του πολυμερούς η οποία θα εισέλθει στον κοχλία και στη συνέχεια θα εγχυθεί στο καλούπι. Κατά το στάδιο αυτό το πολυμερές μαλακώνει και αρχίζει να τήκεται ώστε να είναι έτοιμο για την επόμενη έγχυση.
6. Το τήγμα ερχόμενο σε επαφή με το ψυχρό καλούπι αρχίζει να στερεοποιείται παίρνοντας τη μορφή του καλουπιού. Η διάρκεια ψύξης του θερμοπλαστικού εξαρτάται κυρίως από το σημείο τήξης αυτού, το μέγεθος του καλουπιού και τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Το υλικό στη φόρμα πρέπει να ψυχθεί υπό πίεση κάτω από το σημείο τήξης του προτού να ανοίξει η φόρμα.
7. Το πολυμερές έχει στερεοποιηθεί στη μήτρα, οπότε το καλούπι ανοίγει για την απομάκρυνση του τελικού προϊόντος. Η εξαγωγή του μορφοποιημένου αντικειμένου γίνεται αυτόματα με ένα κατάλληλο χτύπημα. Τα χτυπήματα αυτά μπορούν να παρατηρηθούν σχετικά εύκολα, συνήθως ως μικροί κύκλοι στο τελικό προϊόν. Ο χρόνος εξαγωγής του προϊόντος εξαρτάται κυρίως από τις διαστάσεις του.

### **3.4 ΜΗΧΑΝΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

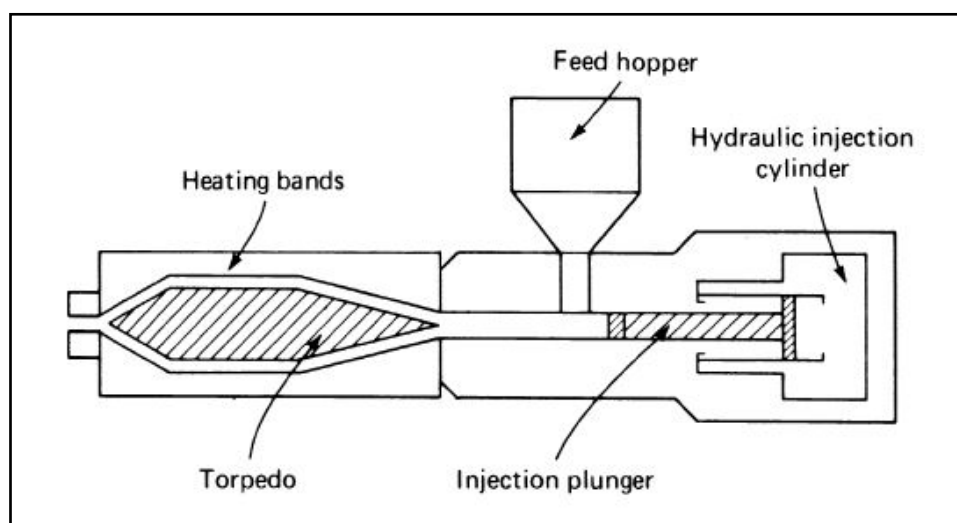
Η πιο απλή μηχανή έγχυσης είναι τύπου εμβόλου (ram ή plunger), όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4. Το πλαστικό απλά ωθείται προς τα εμπρός από το έμβολο μέσα στη θερμαινόμενη περιοχή.



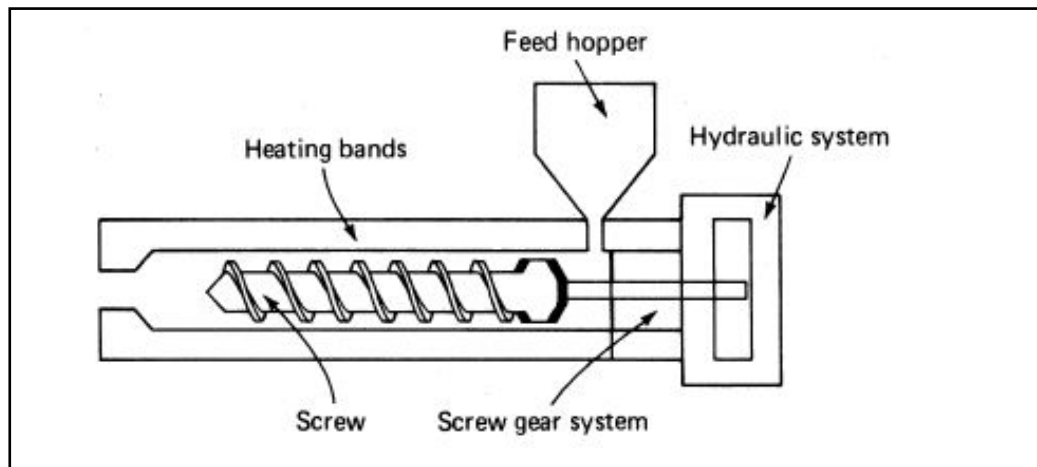
Σχήμα 3.4 Τυπική μηχανή χύτευσης με έγχυση [4].

Επειδή το υψηλό ιξώδες του πολυμερούς εμποδίζει τη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή, είναι απαραίτητο να απλωθεί το πολυμερικό τήγμα σε ένα λεπτό στρώμα για να έρθει σε επαφή με τις θερμαινόμενες επιφάνειες. Από τους πιο κοινούς απλωτήρες είναι ο τύπος «τορπίλης», που φαίνεται στο σχήμα 3.5, ο οποίος απλά τροφοδοτεί το υλικό κυκλικά μέσα από δακτύλιο. Μετά την τήξη, το υλικό συγκλίνει και ρέει μέσα από ακροφύσιο που το οδηγεί στη μήτρα έγχυσης.

Πιο κοινή στις σημερινές χρήσεις είναι η μηχανή τύπου παλινδρομούντος κοχλία (reciprocating screw), όπως φαίνεται στο σχήμα 3.6. Στο σύστημα αυτό η λειτουργία του κοχλία είναι κυρίως να τήξει και να αναμίξει το υλικό της τροφοδοσίας. Για την έγχυση ολόκληρος ο κοχλίας κινείται προς τα εμπρός, ενώ ειδική βαλβίδα δεν επιτρέπει ροή προς τα πίσω.

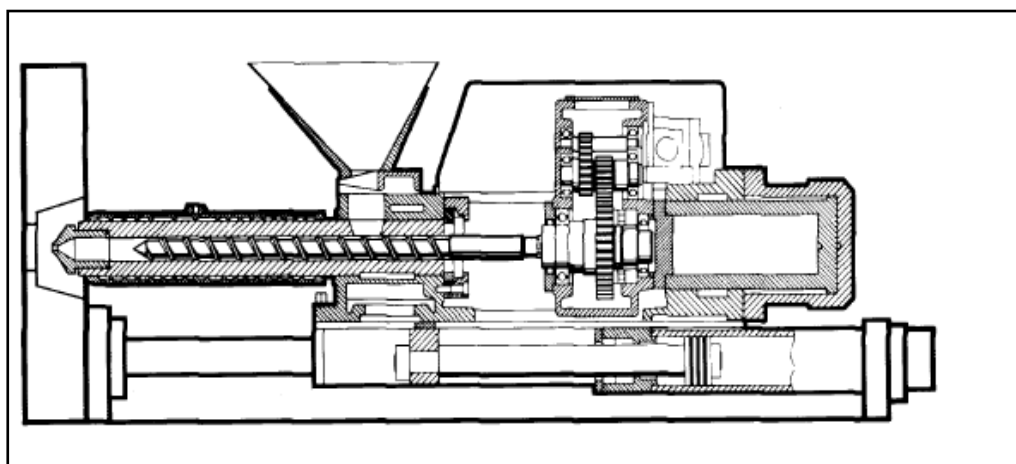


Σχήμα 3.5 Μηχανή χύτευσης με έγχυση τύπου εμβόλου [4].



Σχήμα 3.6 Μηχανή χύτευσης με έγχυση τύπου παλινδρομούντος κοχλία [4].

Οι μηχανές χύτευσης με έγχυση είναι αρκετά πολύπλοκες, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.7. Ο μηχανικός σχεδιασμός τους, που συμπεριλαμβάνει τη σύσφιξη της μήτρας (clamping), την απελευθέρωση του πολυμερούς, και την εκβολή και αποτίναξη (ejection) του τελειωμένου στερεοποιημένου αντικειμένου, αποτελεί ολόκληρη επιστήμη της μηχανολογίας, και δεν θα μας απασχολήσει εδώ.

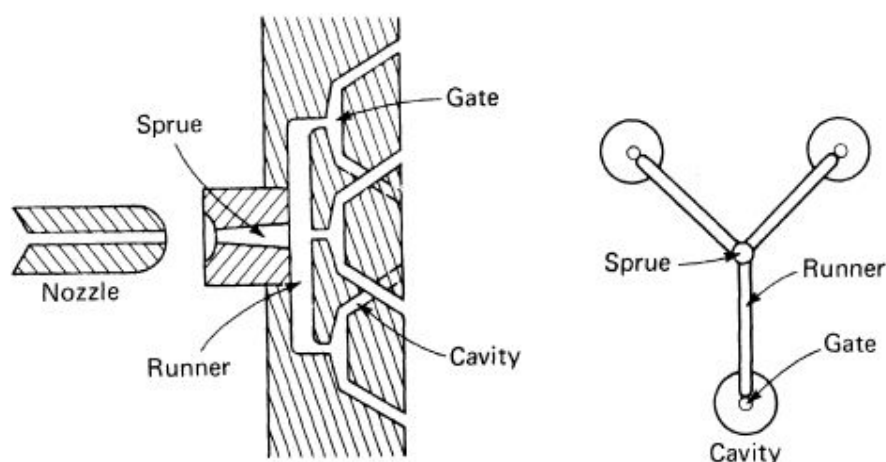


Σχήμα 3.7 Πλήρης εσωτερικός σχεδιασμός μηχανής χύτευσης με έγχυση τύπου παλινδρομούντος κοχλία [4].

Στη συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου θα ασχοληθούμε κυρίως με τη ροή που σχετίζεται με τη γέμιση της μήτρας. Για παραπάνω πληροφορίες για το σχεδιασμό ενός ολοκληρωμένου συστήματος μηχανής χύτευσης με έγχυση και την επίλυση των αντιστοιχών προβλημάτων που παρουσιάζει αυτός ο σχεδιασμός, αναφέρονται στη βιβλιογραφία ιδιαίτερα χρήσιμα βιβλία και πανεπιστημιακές σημειώσεις [4, 5, 8]. Στα επόμενα κεφάλαια θα περιγράψουμε με λεπτομέρεια δύο ακόμη τεχνικές μορφοποίησης, την μορφοποίηση με εκβολή και την περιστροφική μορφοποίηση.

### 3.5 ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ

Ας ακολουθήσουμε ένα υλικό στοιχείο καθώς κινείται από το ακροφύσιο προς τη μήτρα, και ας σχολιάσουμε ορισμένα στοιχεία της ροής του. Η μεταφορά του τήγματος στη μήτρα είναι απλώς πρόβλημα παρόμοιο με αυτά της υδραυλικής. Τα τυπικά στοιχεία του συστήματος μεταφοράς φαίνονται στο Σχήμα 3.8.



Σχήμα 3.8 Σχηματική παράσταση μήτρας χύτευσης τριών στοιχείων.

Το τήγμα περνά από το ακροφύσιο (nozzle), το διάυλο (sprue), το δρομέα (runner), εισερχόμενο στις κοιλότητες της μήτρας (cavities) από την πύλη εισόδου (gate) [4].

Το υλικό μεταφέρεται από τη μηχανή χύτευσης προς τη μήτρα έγχυσης μέσα από το ακροφύσιο (*nozzle*), το οποίο είναι άμεσα ζευγμένο με τη μήτρα μέσω του διαύλου (*sprue bushing*). Σε μήτρες με πολλαπλές κοιλότητες (*cavities*), το θερμό τήγμα μεταφέρεται σε κάθε μήτρα από τους δρομείς (*runners*). Κάθε δρομέας συνδέεται με την κοιλότητα που τροφοδοτεί με την πύλη εισόδου (*gate*), που δεν είναι άλλο από μια στένωση στο κανάλι ροής.

Οι δρομείς και οι κοιλότητες πρέπει να είναι κανονικά κενοί στην αρχή κάθε κύκλου γέμισης. Επομένως, πρόκειται για μεταβατική ροή (χρονικά εξαρτημένη) καθώς γίνεται η γέμιση, σε αντίθεση με όλες τις διεργασίες που έχουμε εξετάσει μέχρι τώρα. Αν ο ρυθμός έγχυσης του υλικού είναι σταθερός (η κανονική περίπτωση), τότε η πίεση στο ακροφύσιο αυξάνει βαθμιαία όπως προχωρά η γέμιση. Θα δείξουμε ότι το μεταβατικό αυτό στάδιο της γέμισης των δρομέων δεν είναι σημαντικό σχετικά με το στάδιο γέμισης της κοιλότητας.

Ένας άλλος παράγοντας που περιπλέκει την διεργασία είναι ο έντονα μη-ισοθερμοκρασιακός χαρακτήρας της γέμισης της μήτρας. Διακρίνουμε τρία θερμικά φαινόμενα, που συμβάλουν και περιπλέκουν την ανάλυση ροής:

(α) Τα τοιχώματα της μήτρας, που είναι τα όρια του πεδίου ροής, δε βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία όπως το τήγμα. Αυτό συνδέεται με τη δυσκολία να ρυθμίζεται παντού μέσα στη μήτρα ομοιόμορφη θερμοκρασία. Πέρα από τη μεταβολή της θερμοκρασίας στο *χώρο*, υπάρχει και η μεταβολή της θερμοκρασίας στο *χρόνο*, λόγω της κυκλικής μορφής της διεργασίας γέμισης της μήτρας. Επομένως, η ανάλυση του συστήματος πρέπει να θεωρηθεί ως μη-ισοθερμοκρασιακή ανάλυση μη-μόνιμης κατάστασης.

(β) Συνέπεια των μη-ισοθερμοκρασιακών τοιχωμάτων αποτελεί η ψύξη του πολυμερούς που έρχεται σε επαφή με τα τοιχώματα, αν αυτά είναι αρκετά ψυχρά. Η κύρια επίπτωση της στερεοποίησης του πολυμερούς στα τοιχώματα είναι η στένωση του πεδίου ροής, που οδηγεί αντίστοιχα σε ανάπτυξη μεγάλων πιέσεων. Φυσικά, αν το πρόβλημα αυτό δεν αντιμετωπιστεί κατάλληλα, οδηγεί σε ψύξη των δρομέων και εμποδίζει την πλήρη γέμιση των κοιλοτήτων. Το ελάττωμα αυτό αναφέρεται ως *ελλιπής γέμιση (short shot)*.

(γ) Μια άλλη συνέπεια της μη-ισοθερμοκρασιακής λειτουργίας της διεργασίας είναι η μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας του τήγματος λόγω ιξώδους τριβής, που προκαλείται από το υψηλό ιξώδες του πολυμερούς και τα στενά κανάλια ροής. Με ορισμένα πολυμερή, η αύξηση αυτή οδηγεί σε θερμική αποσύνθεση. Και οπωσδήποτε μεγάλες αυξήσεις θερμοκρασίας επιδρούν στη σχέση πτώσης πίεσης-ογκομετρικής

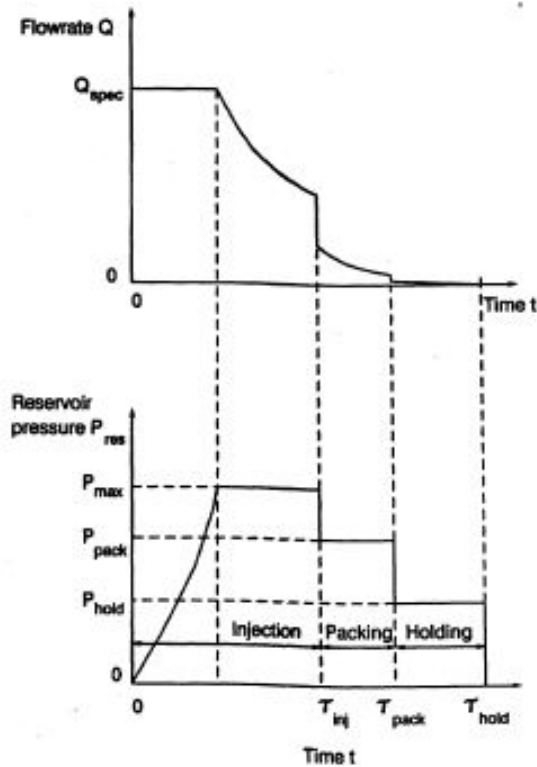
παροχής. Επειδή στη διεργασία αναπτύσσονται πιέσεις χιλιάδων ατμοσφαιρών, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη η επίδραση της πίεσης στο ιξώδες του πολυμερικού τήγματος.

Η γέμιση της μήτρας συμβαίνει σε μικρούς σχετικά χρόνους συγκρινόμενη με τον ολικό χρόνο του κύκλου παραγωγής του προς χύτευση αντικειμένου. Με το τέλος της γέμισης, αρχίζει ο κύκλος ψύξης. Καθώς το πολυμερικό τήγμα στερεοποιείται, η πυκνότητά του αυξάνει λίγο, και αν η μάζα του υλικού στην κοιλότητα ήταν σταθερή, θα μειωνόταν ο όγκος. Αυτό θα οδηγούσε στη συρρίκνωση (shrinkage) του αντικειμένου και στην επακόλουθη αλλαγή της γεωμετρίας του σε σχέση με τη γεωμετρία της μήτρας, γεγονός ανεπιθύμητο. Και αν μεν η συρρίκνωση ήταν ομοιόμορφη, θα μπορούσε κανείς να σχεδιάσει τη μήτρα λίγο μεγαλύτερη παντού και να λύσει το πρόβλημα.

Δυστυχώς, το μη-ισοθερμοκρασιακό πεδίο που υπάρχει τόσο για το πολυμερικό τήγμα όσο και για τα τοιχώματα της κοιλότητας, δεν επιτρέπουν μια απλή αναλογική επίλυση του προβλήματος.

Επιπλέον, εκτός από τις πιο απλές γεωμετρίες μητρών, περιοχές διαφορετικού πάχους στο χυτευμένο αντικείμενο ψύχονται με διαφορετικούς ρυθμούς, γεγονός που οδηγεί σε διαφορετικούς βαθμούς συρρίκνωσης, και το οποίο στη συνέχεια μπορεί να οδηγήσει σε σκέβρωση (warpage) του αντικειμένου. Για να ελαχιστοποιηθούν οι μεταβολές των διαστάσεων (συρρίκνωση) και οι μεταβολές σχήματος (σκέβρωση), χρησιμοποιείται πολύ υψηλή πίεση στην κοιλότητα κατά τη διάρκεια του κύκλου ψύξης. Καθώς η πυκνότητα του ψυχόμενου πολυμερούς αυξάνει, περισσότερο τήγμα ρέει μέσα στην κοιλότητα για να κρατήσει σταθερό τον όγκο. Αυτό μπορεί να συνεχίζεται μέχρι η πύλη εισόδου στερεοποιείται από την ψύξη.

Ο κύκλος χύτευσης συνήθως παρίσταται γραφικά όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.9. Τα τρία βασικά στάδια είναι η γέμιση (filling), η συμπίεση (packing), και η ψύξη (cooling). Η πίεση αυξάνει με σχετικά αργό ρυθμό στη διάρκεια του κύκλου γέμισης. Στο στάδιο συμπίεσης η συρρίκνωση αποφεύγεται με εφαρμογή και διατήρηση πολύ υψηλής πίεσης. Υπάρχει σχετικά μικρή ροή στη διάρκεια του σταδίου αυτού. Τελικά, στο στάδιο ψύξης επέρχεται η μείωση της πίεσης στη μήτρα.



Σχήμα 3.9 Ογκομετρική παροχή και πτώση πίεσης σε συνάρτηση του χρόνου στη διάρκεια ενός κύκλου σε τυπική μονάδα χύτευσης με έγχυση [4].

Το στάδιο ψύξης γενικά ρυθμίζει τον ολικό χρόνο του κύκλου και εξαρτάται κυρίως από το πάχος του παραγόμενου αντικειμένου, αφού η μεταφορά θερμότητας μέσα από το χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας πολυμερές παρέχει την κύρια αντίσταση στην ψύξη. Οι κύκλοι ψύξης διαρκούν τυπικά από 10 μέχρι 100 s (εκτός από σπάνιες περιπτώσεις για πολύ μικρά ή πολύ μεγάλα αντικείμενα).

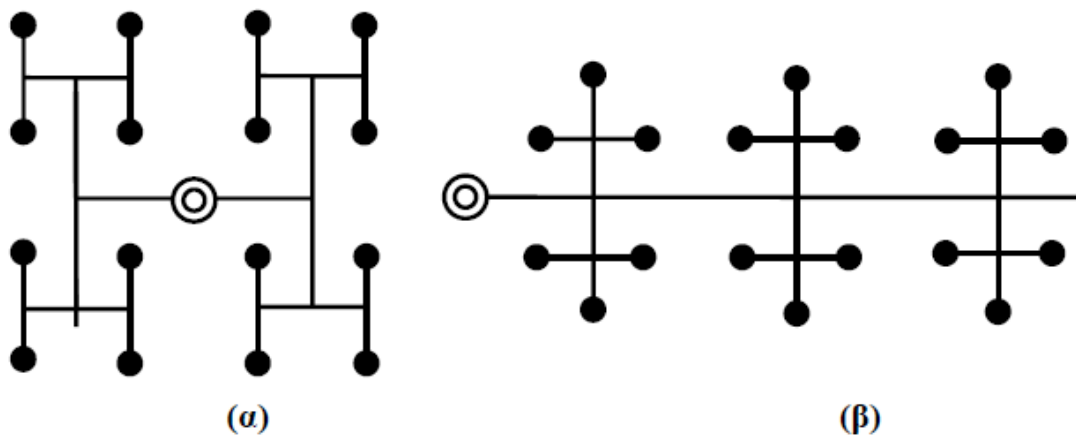
Μετά τη γέμιση κάθε κοιλότητας και τη στερεοποίηση του πλαστικού κατά τον κύκλο ψύξης, η μήτρα ανοίγει και το αντικείμενο εκβάλλεται. Τα διάφορα αντικείμενα είναι συνήθως ακόμα συνδεδεμένα μεταξύ τους με το στερεοποιημένο υλικό που γέμιζε τους δρομείς. Το αντικείμενο που μας ενδιαφέρει αποχωρίζεται στη συνέχεια από το δρομέα στην πύλη εισόδου. Το μέγεθος και η θέση της πύλης σχεδιάζεται έτσι ώστε να απλοποιεί και να διευκολύνει τις ατέλειες που παρουσιάζονται όταν αποχωρίζεται το αντικείμενο από τις διασυνδέσεις του με τους δρομείς. Τα διάφορα τεμάχια που απομένουν στους δρομείς

αποτελούν απορρίμματα και τις περισσότερες φορές ανακυκλώνονται στην τροφοδοσία.

Ο σχεδιασμός των δρομέων αποτελεί συμβιβασμό πολλών παραγόντων. Πρέπει να είναι αρκετά φαρδείς ώστε να διευκολύνεται η άμεση γέμιση της κοιλότητας, αλλά όχι τόσο φαρδείς ώστε να μην αυξάνεται κατά πολύ ο χρόνος που απαιτείται για την ψύξη και στερεοποίηση του υλικού στους δρομείς. Το άριστο σχήμα τους είναι το κυλινδρικό, αλλά το σχήμα αυτό είναι το πιο δύσκολο στην κοπή του, και γι' αυτό χρησιμοποιούνται συνήθως τραπεζοειδή σχήματα.

Από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του σχεδιασμού δρομέων είναι η ζυγοστάθμιση (balancing) που εξασφαλίζει τη γέμιση κάθε κοιλότητας με τον ίδιο ρυθμό. Αν το σύστημα των δρομέων είναι συμμετρικό, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.10α, τότε η ζυγοστάθμιση εξαρτάται κυρίως από την ακρίβεια των διαστάσεων της μήτρας.

Ορισμένες μήτρες δεν μπορούν να κοπούν συμμετρικά, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.10β, οπότε η διατομή κάθε δρομέα πρέπει να προσαρμοστεί έτσι ώστε να ισορροπεί την πτώση πίεσης από τον κύριο δίαυλο προς κάθε κοιλότητα.



Σχήμα 3.10 (α) Συμμετρική μήτρα τύπου 16-Churchik. (β) Μη-συμμετρική μήτρα τύπου 18-Churchik [4].

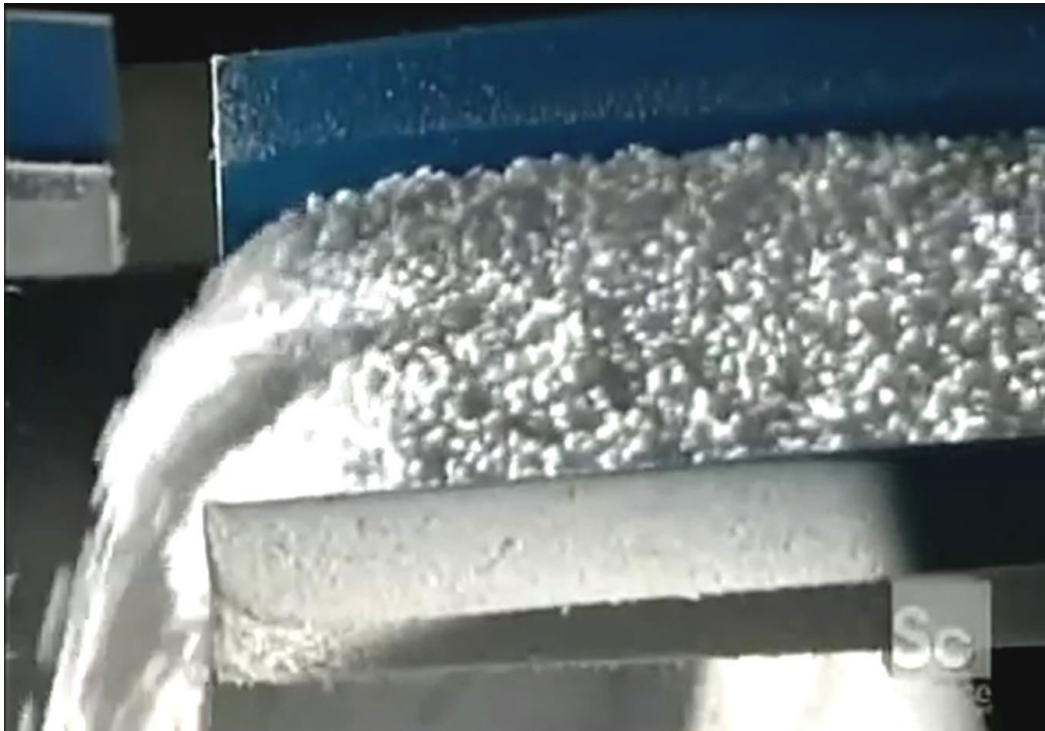
Ενώ στην εκβολή οι μέγιστοι ρυθμοί διάτμησης κυμαίνονται συνήθως μεταξύ  $100-1000 \text{ s}^{-1}$ , στη χύτευση με έγχυση οι ρυθμοί μπορούν να φθάσουν τα  $10000 \text{ s}^{-1}$ . Προφανώς, οι υψηλοί ρυθμοί παραγωγής έχουν να κάνουν με τις οικονομικές απαιτήσεις της διεργασίας. Όλα σχεδόν τα πλαστικά που υπάρχουν στο εμπόριο χρησιμοποιούνται στη διεργασία χύτευσης με έγχυση.



Η διεργασία χύτευσης με έγχυση είναι η πιο δύσκολη όσον αφορά τη μαθηματική μοντελοποίηση σε σχέση με όλες τις διεργασίες μορφοποίησης πολυμερών, γιατί στην πραγματικότητα είναι πλήρως τρισδιάστατη, μη-ισοθερμοκρασιακή, μη-μόνιμης κατάστασης, με στοιχεία τόσο διατμητικής όσο και εφελκυστικής ροής.

### 3.6 ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας μετά την εισαγωγή των πρώτων υλών στη μηχανή παρουσιάζονται στη συνέχεια ως μία ακολουθία κατάλληλων εικόνων.



Σχήμα 3.11 Πρώτη ύλη



Σχήμα 3.12 Μίξη πρώτων υλών.



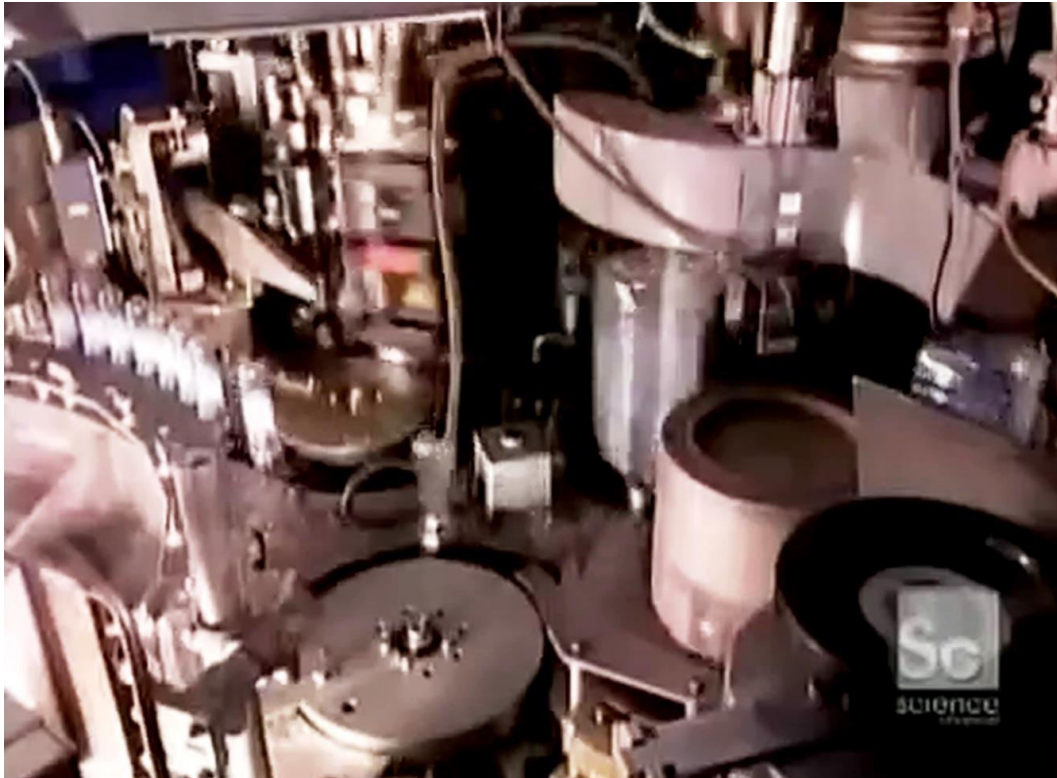
Σχήμα 3.13 Μετατροπή στο σχήμα που επιθυμούμε (αρχικό καλούπι).



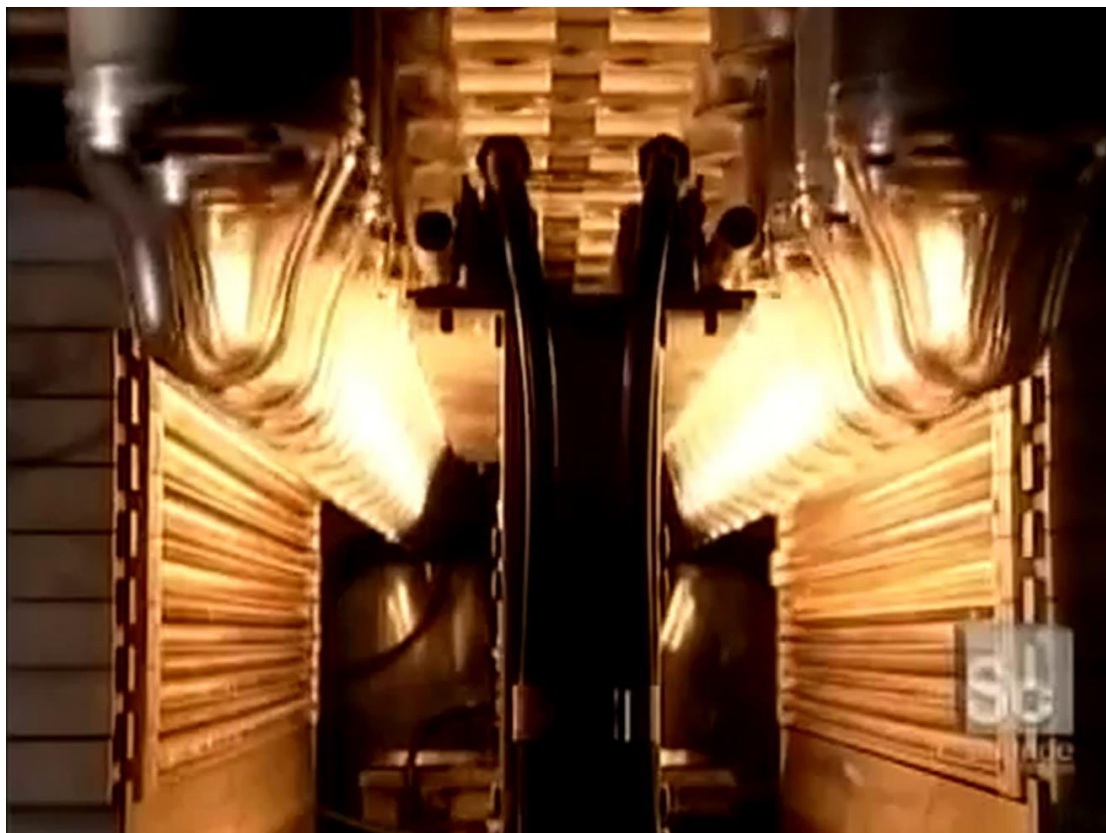
Σχήμα 3.14 Μικρά καλούπια (μπουκαλάκια).



Σχήμα 3.15 Μεταφορά προς τελικό σχήμα.



Σχήμα 3.16 Αύξηση μεγέθους μέσω προσθήκης πίεσης εντός μεγαλύτερου καλουπιού. Αριστερά μικρό, δεξιά μεγαλύτερο.



Σχήμα 3.17 Αύξηση μεγέθους μέσω εναλλακτικής διαδικασίας. Θέρμανση αρχικού υλικού



Σχήμα 3.18 Έλεγχος τελικού προϊόντος. (πρέσα).

## **4. ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΕΚΒΟΛΗ**

### **4.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Με τη μέθοδο της εκβολής (extrusion) λαμβάνονται μορφές συνεχούς μήκους και ορισμένης διατομής. Χρησιμοποιείται για την παραγωγή ράβδων, σωλήνων, φύλλων, ινών και συνεχούς μήκους προϊόντων που έχουν μεγάλη ποικιλία διατομών. Εκτός από μέθοδος μόρφωσης η εκβολή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν μέθοδος ανάμιξης και πλαστικοποίησης. Ως μέθοδος μόρφωσης πάντως η εκβολή βασίζεται στον εξαναγκασμό του ρευστού πολυμερούς να διέλθει μέσω ενός στενώματος, το οποίο αποτελεί και τη μήτρα εκβολής.

Η βασική απαίτηση ως προς το υλικό που θα μορφοποιηθεί είναι να έχει ικανότητα ροής στις συνθήκες πίεσης που επικρατούν. Στα θερμοπλαστικά υλικά η ικανότητα αυτή εξασφαλίζεται με την προσφορά θερμότητας με συνέπεια να έχουμε εκβολή τήγματος. Η σταθεροποίηση της μορφής επιτυγχάνεται στα θερμοπλαστικά υλικά με ψύξη.

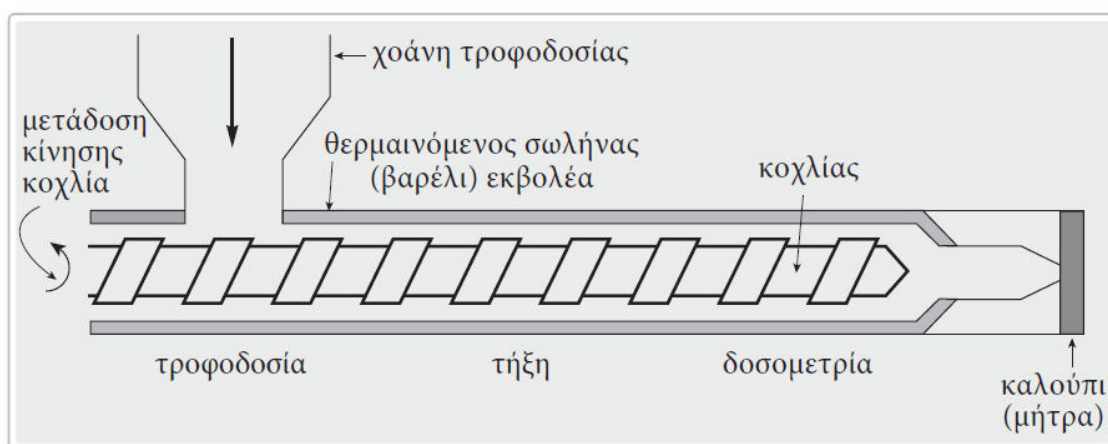
### **4.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΚΒΟΛΗΣ**

Τα συστήματα εκβολής είναι μηχανισμοί που τροφοδοτούνται συνεχώς με πρώτη ύλη και αποδίδουν συνεχώς μορφωμένο προϊόν. Η βασική απαίτηση για ένα σύστημα εκβολής συνίσταται στη δυνατότητα για ομοιόμορφη εξάσκηση πίεσης, σε ένα συνεχώς τροφοδοτούμενο υλικό, με τρόπο που να εξασφαλίζεται μια σταθερή και ομοιόμορφη ροή υλικού από τη μήτρα μόρφωσης.

Τα συστήματα αυτά είναι βασικά συστήματα κυλίνδρου-κοχλίας. Σε αυτά ο κοχλίας περιστρέφεται μέσα σε έναν σταθερό κύλινδρο. Η ώθηση του υλικού, από το στόμιο τροφοδοσίας προς τη μήτρα, επιτυγχάνεται κατά έναν έμμεσο τρόπο. Αυτός εξαρτάται τόσο από τις φυσικές σταθερές του υλικού, όσο και από τα φυσικά χαρακτηριστικά του συστήματος κύλινδρος-κοχλίας-μήτρα. Ανάλυση της ροής είναι δυνατή μόνο για το τελευταίο τμήμα του κοχλίας στο οποίο υπάρχει ρευστό υλικό.

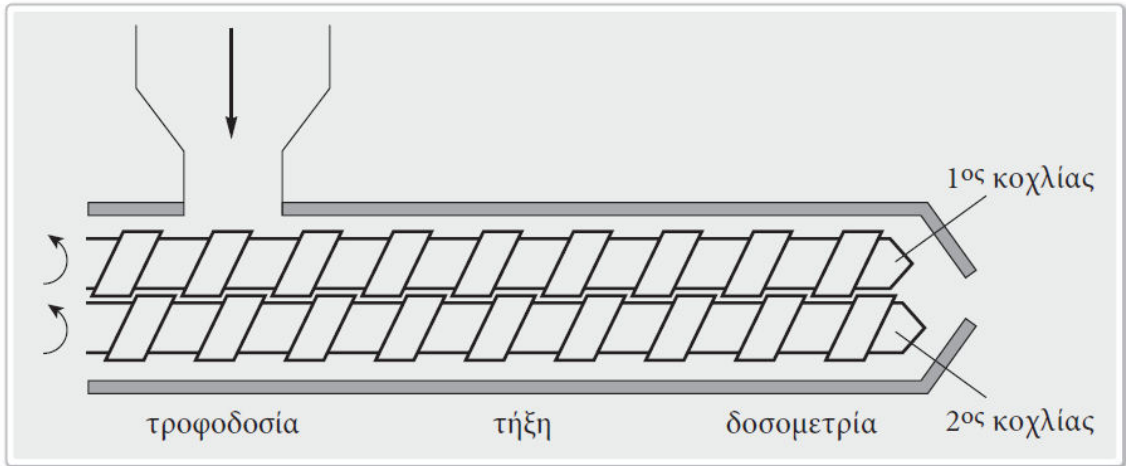
### 4.3 ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Η διαδικασία μορφοποίησης με εκβολή ή εξώθηση πραγματοποιείται σε ειδικές μηχανές που καλούνται *εκβολείς*. Στο Σχήμα 4.1 φαίνεται, σχηματικά, ένας *μονοκόχλιος εκβολέας* που αποτελεί τον χαρακτηριστικό εκπρόσωπο των μηχανών συνεχούς εκβολής. Η δομή του κοχλία φαίνεται στο Σχήμα 4.3 παρακάτω. Η σκόνη του πολυμερούς προωθείται σε ένα εξωτερικά θερμαινόμενο *σωλήνα* (βαρέλι) μέσω ενός *περιστρεφόμενου κοχλία*. Τήκεται καθώς προχωρά στο βαρέλι και πιέζεται διαμέσου ενός *καλουπιού* (μήτρας) όπου παίρνει και την τελική του μορφή. Οι αεριζόμενοι εκβολείς έχουν ενσωματώσει στο σώμα του βαρελιού ειδικές εξόδους για την απομάκρυνση πτητικών προϊόντων που δημιουργούνται από ίχνη μονομερούς που δεν έχουν αντιδράσει, την υγρασία, το διαλύτη από τη διαδικασία πολυμερισμού ή προϊόντα αποδόμησης των μακρομοριακών αλυσίδων.

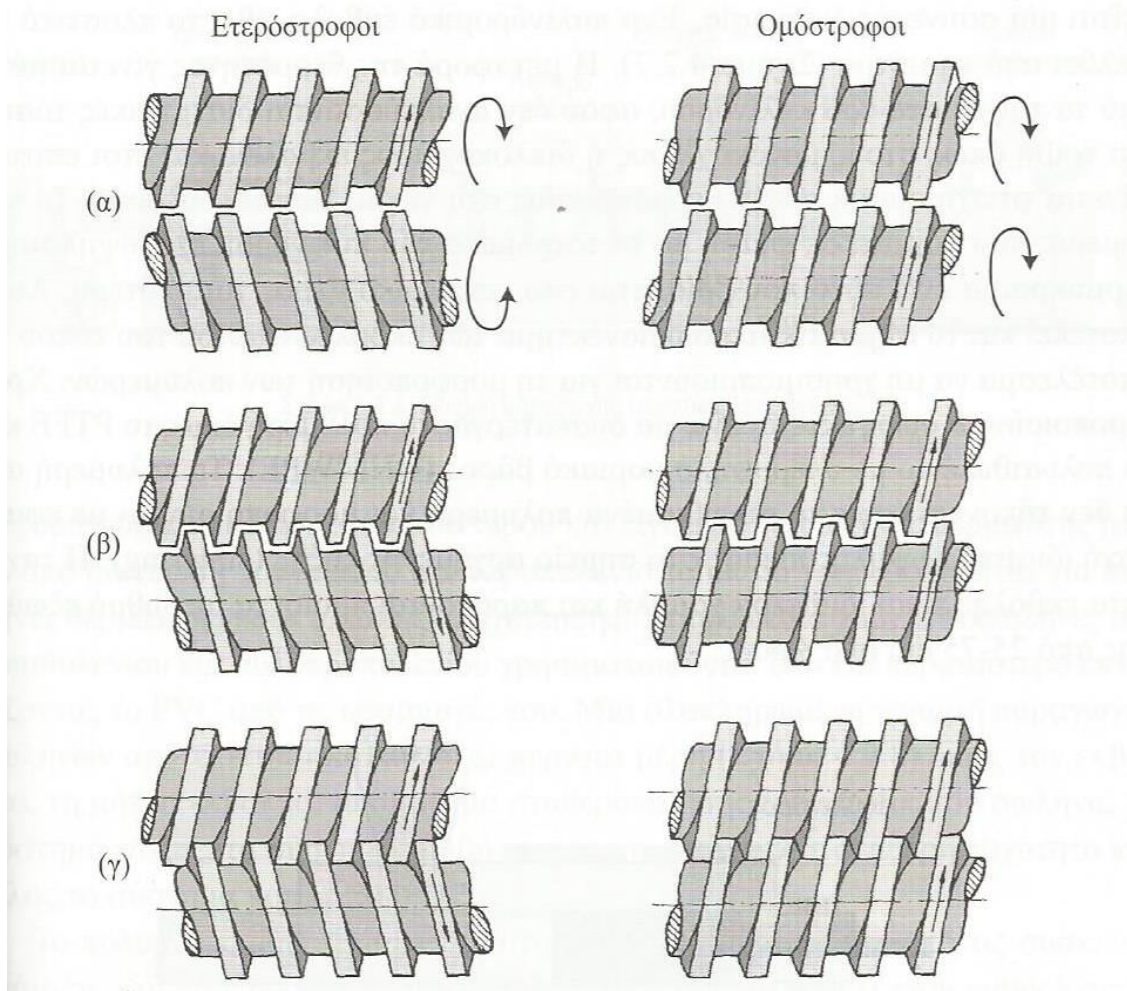


Σχήμα 4.1 Μονοκόχλιος εκβολέας [5].

Οι εκβολείς διακρίνονται σε δυο τύπους: *συνεχούς* και *ασυνεχούς* λειτουργίας. Οι *συνεχούς* λειτουργίας διακρίνονται σε *μονοκόχλιους* (single screw extruders), οι οποίοι φέρουν έναν μόνο περιστρεφόμενο κοχλία στο βαρέλι (Σχήμα 4.1) και σε *διπλοκόχλιους* (twin screw extruders), οι οποίοι φέρουν δυο κοχλίες στο βαρέλι (Σχήμα 4.2).



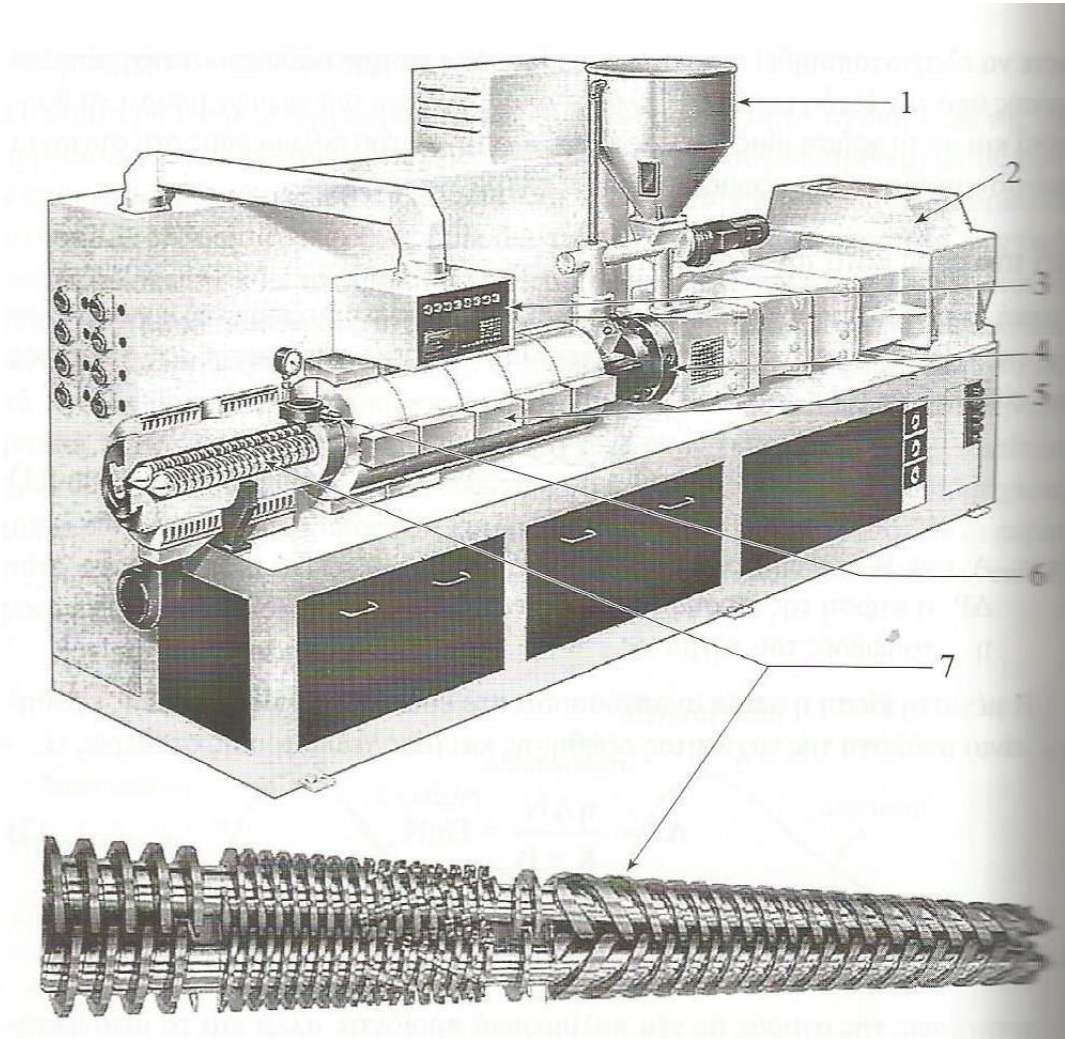
Σχήμα 4.2 Διπλοκόχλιος εκβολέας με ομόστρους εφαπτόμενους κοχλίες [5].



Σχήμα 4.3 Ετερόστροφοι και ομόστροφοι κοχλίες, α) μη εφαπτομενικοί, β) μερικώς εφαπτομενικοί και γ) πλήρως εφαπτομενικοί [21].

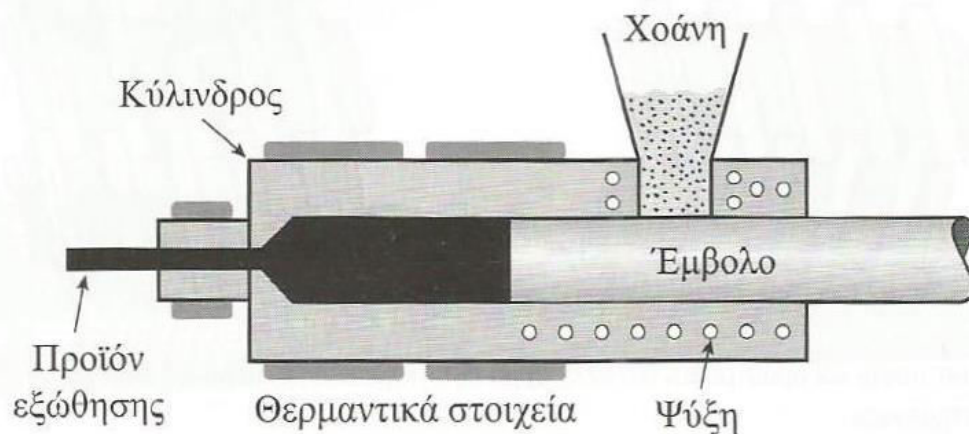


Στην περίπτωση των διπλοκόχλιων εκβολέων, όταν οι κοχλίες περιστρέφονται με την ίδια φορά χαρακτηρίζονται ως *ομόστροφοι*, ενώ με αντίθετη φορά ως *ετερόστροφοι*.



Σχήμα 4.4 Σχηματική παράσταση διπλοκόχλιου εκβολέα και των κοχλιών αυτού. 1) χοάνη τροφοδοσίας, 2) κινητήρας, 3) σύστημα ελέγχου, 4) κύλινδρος, 5) θερμαντικά στοιχεία, 6) έξοδος αερίων, 7) κοχλίες [21].

Στους εκβολείς συνεχούς λειτουργίας περιλαμβάνονται επίσης οι *εκβολείς δίσκων* (disk extruders), επειδή για την επεξεργασία του πολυμερούς χρησιμοποιούνται δίσκοι, και οι *εκβολείς τυμπάνου*. Στους ασυνεχούς λειτουργίας περιλαμβάνονται οι εκβολείς που χρησιμοποιούν *έμβολο* (ram extruders) για την τήξη και προώθηση του πολυμερούς.



Σχήμα 4.5 Σχηματική παράσταση του εκβολέα τύπου εμβόλου [21].

Ο σχεδιασμός των κοχλιών εξώθησης είναι ένα ενδιαφέρον και σύνθετο τεχνικό πρόβλημα. Οι κοχλίες βελτιστοποιούνται για το συγκεκριμένο πολυμερές το οποίο εξωθείται. Ο σχεδιασμός του κοχλίου απαιτεί συνδυασμό της μηχανικής ρευστών/στερεών και της μεταφοράς θερμότητας.

#### Λειτουργία μονοκόχλιου εκβολέα

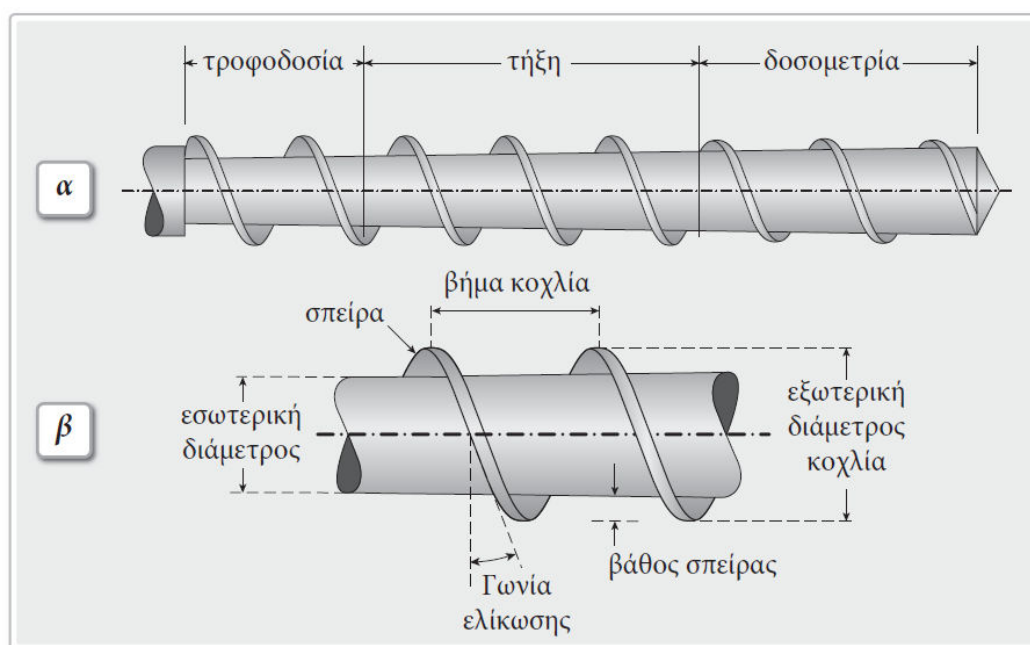
Στην συνέχεια αναπτύσσεται η διεργασία που λαμβάνει χώρα σε ένα μονοκόχλιο εκβολέα.

Πριν την εισαγωγή των πλαστικών στον εκβολέα διέρχονται από τον κοκκοποιητή ή τον πελλετοποιητή με σκοπό την μετατροπή των πλαστικών σε ομοιόμορφα σωματίδια (κόκκους ή πελλέτες) ώστε να μην προκαλέσουν το φράξιμο της χοάνης τροφοδοσίας του εκβολέα. Από την χοάνη τροφοδοσίας εισέρχονται στον σωλήνα (βαρέλι) με τον κοχλία, ο οποίος τα προωθεί στην μήτρα. Ο κύλινδρος όμως θερμαίνεται με ηλεκτρικές αντιστάσεις και στην διαδρομή οι κόκκοι των πλαστικών τήκονται. Το τηγμένο πλαστικό εξαναγκάζεται από τον κοχλία να διέλθει από την μήτρα, όπου και μορφοποιείται. Το παραγόμενο προϊόν είτε ψύχεται στην ατμόσφαιρα, είτε διέρχεται διαμέσου λουτρού για να σταθεροποιηθούν οι διαστάσεις του. Τα συστήματα εκβολής με κοχλία αναπτύχθηκαν για την παραγωγή προϊόντων όπως πελλετών (pellets), δηλαδή ομοιόμορφων κυλινδρικών τεμαχιδίων των παρθένων ρητινών ή των ανακυκλωμένων πλαστικών για τη μορφοποίησή τους, σωλήνων,

επικαλύψεις καλωδίων, φύλλων, όπως και στη περίπτωση της χύτευσης με εκβολή και εμφύσηση.

Μια εγκατάσταση εκβολής τήγματος αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Σύστημα μετάδοσης της κίνησης
- Χοάνη τροφοδοσίας
- Κοχλίας
- Σωλήνας (βαρέλι) του εκβολέα
- Σύστημα μεταφοράς θερμότητας
- Σύστημα ψύξης
- Μήτρα εκβολής



Σχήμα 4.6 α) Ζώνες λειτουργίας κοχλία, β) Λεπτομέρειες κοχλία [5].

Στο Σχήμα 4.6α φαίνονται οι ζώνες λειτουργίας ενός κοχλία, ο οποίος χρησιμοποιείται ευρύτατα στη μορφοποίηση των θερμοπλαστικών. Στο Σχήμα 4.3β φαίνεται η έλικα του κοχλία, το βήμα του κοχλία, η γωνία ελίκωσης, η εσωτερική και η εξωτερική διάμετρος κοχλία. Η συνήθης γωνία ελίκωσης είναι  $17.7^\circ$ , δηλαδή βήμα κοχλία ίσο με την διάμετρο του, αν και μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ  $2-20^\circ$ . Η εξωτερική διάμετρος του κοχλία είναι λίγα χιλιοστά της ίντσας μικρότερη από την εσωτερική διάμετρο του βαρελιού. Η μικρή αυτή διαφορά μεταξύ βαρελιού και κοχλία εμποδίζει την συσσώρευση ρητίνης

στο εσωτερικό τοίχωμα του βαρελιού και έτσι αυξάνεται η μεταφορά θερμότητας.

### ***Ζώνες κοχλία***

Υπάρχουν πολλών ειδών κοχλίες και οι οποίοι μπορούν να διαχωριστούν στις εξής ζώνες:

- α) ζώνη τροφοδοσίας,
- β) ζώνη τήξης,
- γ) ζώνη δοσομετρίας.

#### ***α) Ζώνη τροφοδοσίας***

Στη ζώνη τροφοδοσίας το μίγμα των ψυχρών πλαστικών προωθείται από τον κοχλία στην επόμενη ζώνη. Η τροφοδοσία του μίγματος στην επόμενη ζώνη εξαρτάται από την πυκνότητα του υλικού και την τριβή μεταξύ των πλαστικών και των μεταλλικών μερών του συστήματος εκβολής. Ο συντελεστής τριβής εξαρτάται από την μορφή και φύση του τροφοδοτούμενου υλικού, την τραχύτητα της επιφάνειας και της φύσης των μεταλλικών μερών. Όσο μικρότερη είναι η τριβή μεταξύ πελλετών και κοχλία και όσο μεγαλύτερη η τριβή μεταξύ πελλετών και σώματος του συστήματος εκβολής τόσο ταχύτερη η μεταφορά τους.

#### ***β) Ζώνη τήξης***

Στη ζώνη τήξης το μίγμα των πλαστικών τήκεται και μεταβάλλεται σε τήγμα μεγάλης πυκνότητας και ομοιόμορφης θερμοκρασίας. Στην ζώνη αυτή δεν αναπτύσσεται πίεση στο υλικό, δηλαδή τα τηγμένα πλαστικά οδεύουν στην επόμενη ζώνη με μηδενική πίεση. Σχεδιάζεται ακόμα έτσι ώστε ο αέρας να μην εγκλωβίζεται στο τήγμα αλλά να διαφεύγει στην ζώνη τροφοδοσίας.

#### ***γ) Ζώνη δοσομετρίας***

Η ζώνη αυτή τροφοδοτείται με το τήγμα ομοιόμορφης θερμοκρασίας και ιξώδους. Το πάχος της εκγλυφής του κοχλία στη ζώνη αυτή είναι μικρότερο από κάθε άλλο τμήμα με αποτέλεσμα ο ρυθμός διάτμησης είναι μεγαλύτερος και η ανάμιξη πιο έντονη. Ουσιαστικά η πίεση που αναπτύσσεται στο κοχλία αναπτύσσεται σε αυτή την ζώνη, με μηδενική τιμή στην είσοδο της, αυξανόμενη κατά μήκος του κοχλία και παίρνει την μέγιστη τιμή στην έξοδο εκβολής.

Στη ζώνη αυτή εφαρμόζονται και όλες οι εξισώσεις που αφορούν την ροή πίεσης, την ροή οπισθέλκουσας και την ροή διαρροής. Η ροή οπισθέλκουσας είναι η κίνηση του πλαστικού προς την έξοδο και οφείλεται στην σχετική κίνηση του κοχλία ως προς τον κύλινδρο του εκβολέα. Είναι ευθέως ανάλογη του βάθους και του πλάτους της

εκγλυφής, της ταχύτητας περιστροφής και της διαμέτρου του κοχλία. Η ροή πίεσης είναι αντίθετης φοράς στην ροή οπισθέλκουσας και οφείλεται στην πίεση που επικρατεί στην έξοδο, λόγω μήτρας, φίλτρου διήθησης κ.τ.λ. Είναι αντιστρόφως ανάλογη του μήκους του τμήματος δοσομετρίας και του ιξώδους του πολυμερούς και ευθέως ανάλογη του πλάτους και του βάθους της εκγλυφής και της διαφοράς πίεσης στο τμήμα δοσομετρίας του κοχλία.

Επομένως ο ρυθμός εξώθησης εάν αγνοήσουμε την ροή διαρροής είναι η ροή οπισθέλκουσας μείον την ροή πίεσης. Έτσι ο σχεδιασμός της ζώνης δοσομετρίας, όπως και των καλουπιών, στηρίζεται στην εφαρμογή των ρεολογικών αρχών. Εντούτοις ο καθορισμός της διατομής των καλουπιών που απαιτείται για να παραγάγει μια επιθυμητή διατομή προϊόντων (εκτός από κυκλικά) είναι λίγο πολύ μια διαδικασία *δοκιμής και σφάλματος*.

Τα ιξωδοελαστικά πολυμερή τήγματα διογκώνονται καθώς βγαίνουν από το καλούπι (ανακτώντας την αποθηκευμένη ελαστική ενέργεια), και ο βαθμός διόγκωσης δεν μπορεί να προβλεφθεί αξιόπιστα. Εκτός από τη διόγκωση των καλουπιών, όταν αυξάνεται η ταχύτητα εξώθησης, αρχίζει η παραμόρφωση του εξωθούμενου αντικειμένου. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως *θραύση τήγματος*. Αποδίδεται γενικά στην ελαστικότητα τήγματος, αλλά δεν υπάρχει προς το παρόν κανένας τρόπος ποσοτικής πρόβλεψης του. Μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με την αύξηση του μήκους καλουπιού, την εξομάλυνση της εισόδου στο καλούπι, και την αύξηση της θερμοκρασίας του.

Ο λόγος μήκους προς την διάμετρο του κοχλία (L/D) είναι μια σημαντική παράμετρος κατά τον σχεδιασμό του εκβολέα, που στην περίπτωση των θερμοπλαστικών υλικών κυμαίνεται μεταξύ 16-32. Επομένως αύξηση του μήκους του κοχλία αυξάνει την ομοιομορφία θερμοκρασίας και ιξώδους και επομένως την απόδοση της εγκατάστασης.

### ***Σύγκριση Μονοκόχλιων και διπλοκόχλιων εκβολέων***

Η απόδοση των μονοκόχλιων εκβολέων εξαρτάται από τη δυνατότητα προώθησης ή άντλησης του υλικού, που σημαίνει την υπέρβαση της αντίστασης του υλικού κατά την ροή του μεταξύ του περιστρεφόμενου κοχλία και του στάσιμου σωλήνα (βαρελιού). Ως αποτέλεσμα, οι μονοκόχλιοι εκβολείς δεν αποτελούν αντλίες θετικών μετατοπίσεων και τείνουν να δώσουν μια μάλλον ευρεία κατανομή των χρόνων παραμονής. Επιπλέον δεν πετυχαίνουν καλή ανάμιξη. Οι *ετερόστροφοι* (αντιθέτως περιστρεφόμενοι) *διπλοκόχλιοι εκβολείς* είναι ακριβείς αντλίες θετικών-μετατοπίσεων, ικανές να παράγουν τις υψηλές πιέσεις που χρειάζονται σε εφαρμογές εξώθησης συγκεκριμένου προφίλ.

Οι *ομόστροφοι διπλοκόχλιοι εκβολείς*, αν και αντλίες μη θετικής μετατόπισης, με τον κατάλληλο σχεδιασμό κοχλιών μπορούν να δώσουν

άριστη ανάμιξη και μια στενή κατανομή των χρόνων παραμονής (υποβάλλοντας όλο το υλικό ουσιαστικά στο ίδιο ιστορικό διάτμησης και θερμοκρασίας). Επομένως, χρησιμοποιούνται εκτενώς στις διεργασίες ανάμιξης πολυμερών, και μέχρι ενός σημείου ως συνεχείς αντιδραστήρες πολυμερισμού.

Κατά την λειτουργία των εκβολέων μέρος ή όλη η ενέργεια που απαιτείται για την τήξη του πολυμερούς παρέχεται από την ενέργεια του κινητήρα μέσω της έκλυσης ενέργειας που προκαλεί η μείωση του ιξώδους. Τα θερμαντικά στοιχεία στους εκβολείς απαιτούνται κυρίως για το ξεκίνημα και επειδή αρκετή θερμότητα δεν μπορεί πάντα να ανακτηθεί από εκεί από όπου παράχθηκε (ζώνες συμπίεσης και δοσολογίας) και να μεταφερθεί εκεί όπου απαιτείται (ζώνη τήξης).

Στην πραγματικότητα, ψύξη μέσω των τοίχων του κυλίνδρου ή του πυρήνα του κοχλίου είναι μερικές φορές απαραίτητη.

#### **4.4 ΔΙΒΑΘΜΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ**

Δεν είναι απολύτως ορθό, ότι στα μονοβάθμια συστήματα ο περιεχόμενος αέρας οδεύει προς τη ζώνη τροφοδοσίας και δεν εγκλωβίζεται εντός του τήγματος του πολυμερούς. Ένα μέρος του αέρα εγκλωβίζεται στο τμήμα του πολυμερούς. Επίσης κατά τη διάρκεια της θέρμανσης του πολυμερούς σε υψηλές θερμοκρασίες παράγονται μικρές ποσότητες αερίων. Αυτές υπό τις συνθήκες πίεσεως στη ζώνη δοσομετρίας μπορεί να είναι διαλυτές στη μάζα του τηγμένου πολυμερούς. Κατά την αποσυμπίεση όμως, μετά τη μήτρα, ελευθερώνονται και δημιουργούν ελαττώματα στα προϊόντα εκβολής.

Τα διβάθμια συστήματα ενός κοχλίου αναπτύχθηκαν για να λύσουν το πρόβλημα της ποσοτικής απομάκρυνσης του αέρα ή των αερίων από τη μάζα του τηγμένου πολυμερούς. Στα συστήματα αυτά ο κοχλίας φέρει δύο διαδοχικές έλικες, σαν να προέρχονται από τη συνένωση δύο ομοίων κοχλίων μονοβάθμιου συστήματος. Κατά μήκος του διβάθμιου κοχλίου δημιουργούνται πέντε ζώνες:

1. Ζώνη τροφοδοσίας.
2. Ζώνη τήξης.
3. Α΄ ζώνη δοσομετρίας.

Και οι τρεις αυτές ζώνες λειτουργούν όπως οι αντίστοιχες ζώνες του μονοβάθμιου συστήματος. Η διαφορά είναι ότι η ζώνη δοσομετρίας αντί να τροφοδοτεί τη μήτρα τροφοδοτεί την επόμενη ζώνη του κοχλίου.

4. Ζώνη απαερισμού ή ζώνη κενού. Η ζώνη αυτή έχει ελίκωση όμοια με εκείνη της ζώνης τήξης. Με κατάλληλη διάταξη είναι δυνατή η δημιουργία κενού εντός της ζώνης απαερισμού. Η ζώνη απαερισμού διαθέτει μεγαλύτερο χώρο από ότι η Α' ζώνη δοσομετρίας. Το συμπιεσμένο τήγμα αποπιέζεται, όταν φτάνει στη ζώνη απαερισμού με αποτέλεσμα την απομάκρυνση των αερίων. Η ζώνη απαερισμού τροφοδοτεί την επόμενη ζώνη με τήγμα μηδενικής πίεσης.

5. Β' ζώνη δοσομετρίας. Η ζώνη αυτή έχει τα χαρακτηριστικά και τον αυτό προορισμό όπως η ζώνη δοσομετρίας των μονοβάθμιων συστημάτων.

#### **4.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΩΝ ΚΟΧΛΙΩΝ**

Τα συστήματα αυτά είναι συνήθως συστήματα δύο όμοιων κοχλιών οι οποίοι ευρίσκονται τοποθετημένοι παράλληλα ώστε να εφάπτονται χωρίς να συμπλέκονται. Στα συστήματα αυτά εκτός από την αξονική όδευση παρατηρείται και μια πλευρική όδευση του υλικού από κοχλία σε κοχλία. Με τον τρόπο αυτό δεν γίνεται μονόδρομη μεταφορά του υλικού και επιτυγχάνεται πληρέστερη ανάμιξη. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως όταν παρουσιάζονται έντονα προβλήματα ανάμιξης. Σε πολλούς σχεδιασμούς η έλικα καταλαμβάνει μόνο ένα μέρος του κοχλία και το υπόλοιπο διαμορφώνεται ώστε να επιτείνεται το επιθυμητό αποτέλεσμα ανάμιξης.

#### **4.6 ΜΗΤΡΕΣ ΕΚΒΟΛΗΣ**

Το τηγμένο πολυμερές υλικό ωθούμενο από τη ζώνη δοσομετρίας διέρχεται μέσω του πλέγματος και ακολούθως τροφοδοτεί τη μήτρα εκβολής. Από τη μήτρα εκβολής εξέρχεται με ένα σταθερό ρυθμό μεταφοράς μάζας. Ο ρυθμός αυτός εξαρτάται από τις σταθερές του συστήματος εκβολής και από τις διαστάσεις της μήτρας.

Ο σχεδιασμός της μήτρας εκβολής απαιτεί την πλήρη γνώση της ρεολογικής συμπεριφοράς του τήγματος και της επίδρασης της στερεοποίησης σε τρόπο που να καθιστά δυνατή την εξασφάλιση ομοιόμορφης παραγωγής του επιθυμητού προϊόντος. Οι βασικές απαιτήσεις μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω:

- Το ρευστό προϊόν εκβολής πρέπει να έχει τέτοια μορφή και διαστάσεις ώστε μετά τη στερεοποίηση το τελικό προϊόν να έχει την απαιτούμενη μορφή και διαστάσεις διατομής. Η απαίτηση

αυτή ικανοποιείται με κατάλληλο σχεδιασμό τη διατομής της μήτρας.

- Ο ρυθμός ροής πρέπει να είναι συνεχώς ελεγχόμενος αλλά και ομοιόμορφος. Αυτή η απαίτηση ικανοποιείται με κατάλληλο σχεδιασμό της μήτρας ιδιαίτερα στην περιοχή της εισόδου του τήγματος, αλλά παράλληλα και με κατάλληλη ρύθμιση της θερμοκρασίας της μήτρας.
- Η ποιότητα επιφάνειας του προϊόντος εκβολής πρέπει να είναι υπό έλεγχο. Η απαίτηση αυτή ικανοποιείται με ρύθμιση της θερμοκρασίας στην περιοχή εξόδου του τήγματος από τη μήτρα όπως και από την ποιότητα της επιφάνειας της μήτρας.

Για να μπορούν οι μήτρες των συστημάτων εκβολής να ικανοποιούν τις παραπάνω απαιτήσεις κατασκευάζονται από ειδικούς χάλυβες υλικά τα οποία εκπληρούν υψηλές απαιτήσεις διαστάσεων. Η επιφανειακή επεξεργασία τους απαιτεί ισχυρή επιμετάλλωση συνήθως με χρώμιο ή νικέλιο. Σκληρές επιμεταλλώσεις χρωμίου εφαρμόζονται στις περισσότερες των περιπτώσεων. Ειδικά για τα βινυλικά πολυμερή χρησιμοποιούνται συνήθως μήτρες με επιμετάλλωση νικελίου. Το σύστημα μεταφοράς πρέπει να είναι ικανό να εξασφαλίζει έναν θερμοκρασιακό έλεγχο εντός μιας περιοχής δύο ως τριών βαθμών Κελσίου. Αυτό απαιτείται τόσο στη μήτρα όσο και στα τμήματά της.

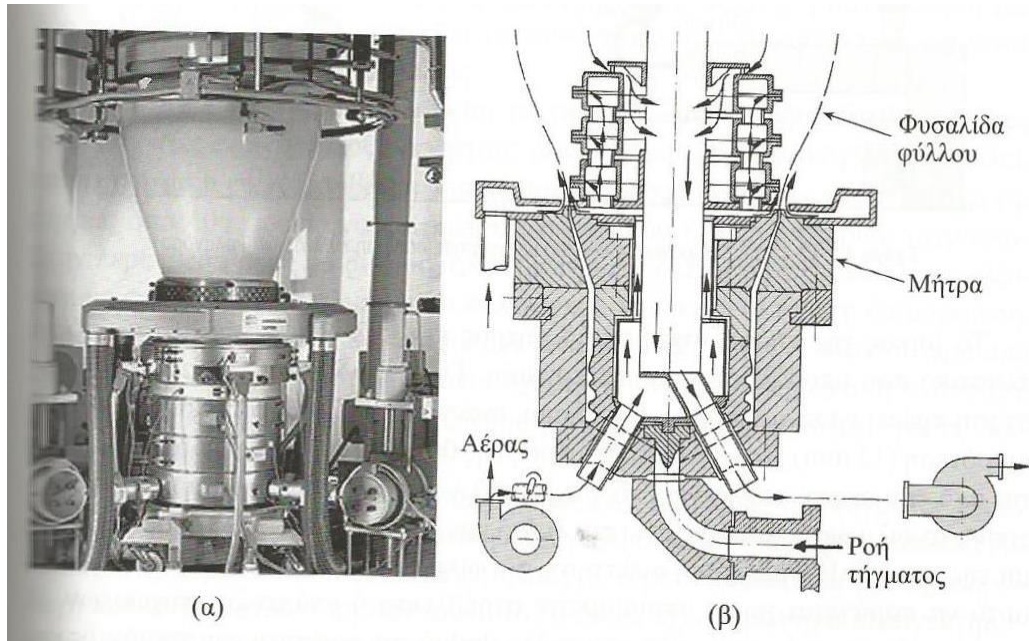
#### **4.7 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΦΥΛΛΩΝ ΜΕ ΕΚΒΟΛΗ**

Η παραγωγή φύλλων μπορεί να γίνει τόσο με τεχνολογία τήγματος όσο και με τεχνολογία διαλύματος. Η πρώτη είναι γενικής εφαρμογής, ενώ η δεύτερη διαφοροποιείται και εξειδικεύεται σε κάθε περίπτωση, ανάλογα με το πολυμερές και τον διαλύτη. Η πορεία παραγωγής φύλλων με εκβολή μπορεί να αναλυθεί στις παρακάτω φάσεις.

- α) Τήξη του πολυμερούς και δοσομετρική τροφοδοσία της μήτρας.
- β) Ρύθμιση των ρεολογικών απαιτήσεων.
- γ) Μόρφωση με δίοδο μέσω της μήτρας.
- δ) Σταθεροποίηση της μορφής με ψύξη.
- ε) Συλλογή ή προώθηση σε επόμενη φάση επεξεργασίας.

Ανάλογα με το είδος της μήτρας εκβολής διακρίνουμε δύο δυνατές πορείες παραγωγής φύλλων με εκβολή, τις πορείες με επίπεδη μήτρα και τις πορείες με κυκλική μήτρα.





Σχήμα 4.7 α) Μήτρα μηχανής εξώθησης για την παραγωγή φυσητού φύλλου και β) σχηματική παράσταση αυτής [21].

Πορείες με επίπεδη μήτρα.

Οι πορείες με επίπεδη μήτρα οδηγούν στην παραγωγή φύλλων καθορισμένου πλάτους και πάχους και συνεχούς μήκους. Μια επίπεδη μήτρα έχει γενικά ορθογώνια διατομή και μήκος ίσο περίπου με το πλάτος του φύλλου που θα παραχθεί. Εσωτερικά έχει ένα έγκοιλο που τροφοδοτείται με τήγμα από το σύστημα εκβολής. Το έγκοιλο φέρει μια κατά μήκος σχισμή από την οποία εξέρχεται το τήγμα με τη μορφή συνεχούς φύλλου. Κατά την αρχή της μεθόδου ένα σύστημα εκβολής τροφοδοτεί δοσομετρικά τη μήτρα. Από την επίπεδη μήτρα εξέρχεται ένα συνεχές φύλλο που παραλαμβάνεται από τον κύλινδρο ή το σύστημα σταθεροποίησης της μορφής. Η σταθεροποίηση της μορφής γίνεται είτε με χύτευση σε ένα κύλινδρο που έχει ψυχόμενα τοιχώματα, είτε με ψύξη με δίοδο σε υδατικό λουτρό, είτε με ψύξη με ένα ζεύγος κυλίνδρων που είναι ημιαβαπτισμένο σε νερό.

Πορείες με κυκλική μήτρα.

Σαν κυκλικές μήτρες χαρακτηρίζονται εκείνες που έχουν κυκλική σχισμή. Οι μήτρες περιστρέφονται ενώ αξονικά διοχετεύεται αέρας με πίεση που παραμορφώνει την κυλινδρική μορφή και σχηματίζει έναν κύλινδρο με μεγαλύτερη διάμετρο. Ο κύλινδρος φράσσεται στο άκρο του με κυλίνδρους διπλώματος και έλξης ώστε να σχηματίζεται ένας ασκός με σταθερή πίεση. Κατά την αρχή και αυτής της μεθόδου ένα σύστημα

εκβολής τροφοδοτεί δοσομετρικά τη μήτρα. Από τη μήτρα εξέρχεται ένας συνεχής σωλήνας από τήγμα πολυμερούς. Ο σωλήνας παραμορφώνεται μέχρι της επιθυμητής διαμέτρου με τον αξονικά εισαγόμενο αέρα. Η σταθεροποίηση της μορφής μπορεί να γίνει είτε με ψύξη με ένα ρεύμα αέρα, είτε με ψύξη με νερό, είτε με ψύξη από επαφή με μια ψυχρή μεταλλική επιφάνεια.

## 5. ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ

### 5.1 ΓΕΝΙΚΑ

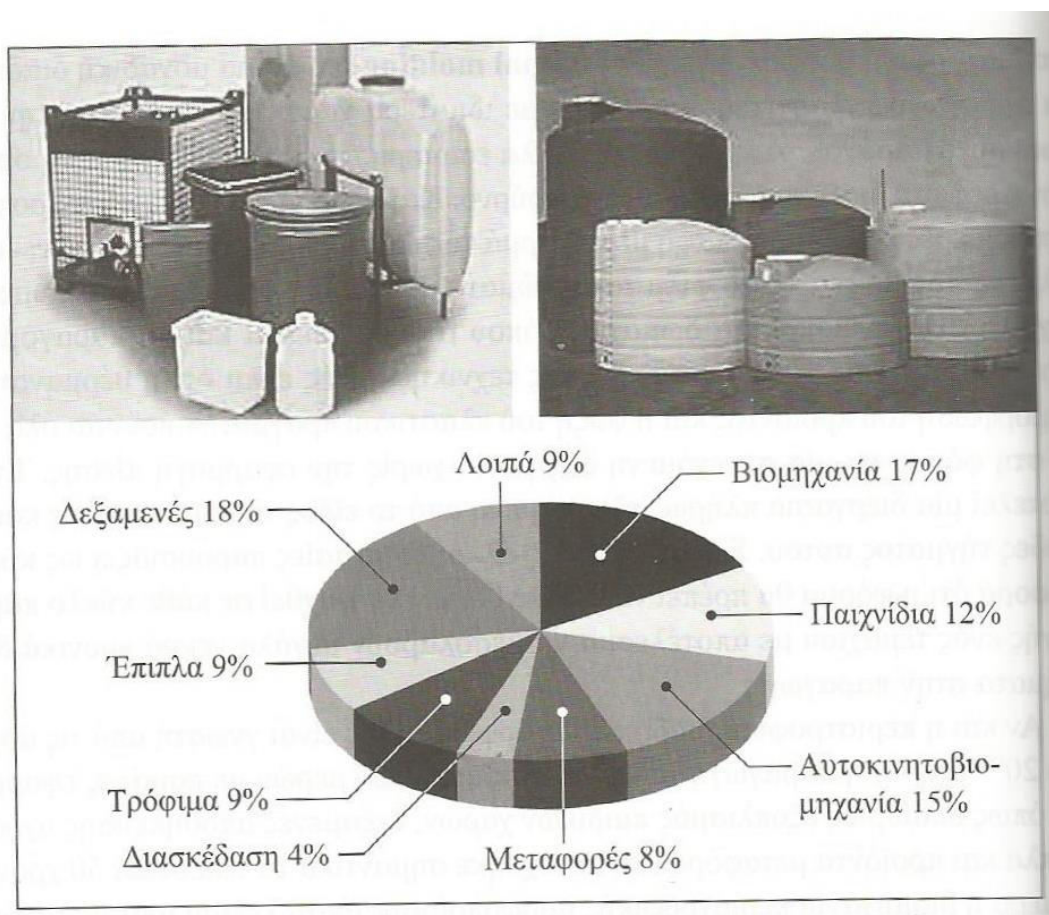
Η περιστροφική μορφοποίηση (rotational molding) είναι μια μοναδική διαδικασία παραγωγής πλαστικών προϊόντων με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Με την τεχνική αυτή παράγονται προϊόντα με κοίλα εσωτερικά μέρη σε μία φόρμα η οποία περιστρέφεται διαξονικά μέσα σε ένα φούρνο. Κατά τη διάρκεια της περιστροφής, το πολυμερές έρχεται σε επαφή με τα θερμά τοιχώματα της φόρμας και λιώνει επικαλύπτοντας με ένα λεπτό φιλμ τα τοιχώματα αυτής. Στη συνέχεια το πολυμερές ψύχεται στη θερμοκρασία δωματίου, όπου στερεοποιείται και το παραγόμενο προϊόν αφαιρείται.

Η ιδιαιτερότητα της τεχνικής αυτής είναι ότι η θέρμανση, η διαμόρφωση του προϊόντος και η ψύξη του πλαστικού πραγματοποιούνται όλα μέσα στη φόρμα σε μια συνεχόμενη διεργασία χωρίς την εφαρμογή πίεσης. Έτσι, αποτελεί μια διεργασία πλήρως εξαρτώμενη από το είδος του πολυμερούς και το τήγμα του. Σε σχέση με τις άλλες διεργασίες παρουσιάζει ως κύρια διαφορά ότι η φόρμα θα πρέπει να θερμανθεί και να ψυχθεί σε κάθε κύκλο παραγωγής ενός τεμαχίου με αποτέλεσμα να μεσολαβούν μεγάλα νεκρά χρονικά διαστήματα στην παραγωγή.

Αν και η διαδικασία περιστροφικής μορφοποίησης είναι γνωστή από τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, η παραγωγή των κοίλων πλαστικών μερών με ποικίλες εφαρμογές όπως δεξαμενές αποθήκευσης υγρών, έπιπλα και προϊόντα μεταφορών αναπτύχθηκε σημαντικά τα τελευταία 50 χρόνια. Σήμερα η βιομηχανία περιστροφικής μορφοποίησης αποτελεί έναν από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους κλάδους της βιομηχανίας πλαστικών με μία ετήσια αύξηση της τάξης του 10%. Σχεδόν όλα τα εμπορικά προϊόντα που κατασκευάζονται με αυτή την τεχνική γίνονται από θερμοπλαστικά.

Αρχικά, από τα παραγόμενα πολυμερή χρησιμοποιήθηκαν μόνο βινυλοπολυμερή, ενώ στις αρχές της δεκαετίας του 1960 άρχισαν να χρησιμοποιούνται και σκόνες πολυαιθυλενίου. Αυτό έδωσε τη δυνατότητα παραγωγής νέων προϊόντων και την εισαγωγή αυτών σε αγορές όπου τα βινυλοπολυμερή δεν μπορούσαν να τα ανταγωνιστούν. Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 χρησιμοποιήθηκε τροποποιημένο και κυρίως διασταυρωμένο πολυαιθυλένιο για την παραγωγή μεγάλων δεξαμενών. Στα μέσα της δεκαετίας του 1970 το γραμμικό πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας οδήγησε σε μία σημαντική ανάπτυξη στην

παραγωγή προϊόντων, ενώ στη δεκαετία του 1980 μορφοποιήθηκαν το νάιλον, το πολυπροπυλένιο και πολυανθρακικοί εστέρες. Το 2000 η παραγωγή πολυολεφινών με μεταλλοκένια καθώς επίσης και η χρήση πληρωτικών υλικών για την παραγωγή σύνθετων υλικών, αλλά και η ανάπτυξη πολυμερικών μιγμάτων είχε ως αποτέλεσμα την εκρηκτική αύξηση των παραγόμενων προϊόντων με περιστροφική μορφοποίηση (Σχήμα 5.1).



Σχήμα 5.1 Προϊόντα τα οποία κατασκευάζονται με την τεχνική της περιστροφικής μορφοποίησης και τομείς χρήσης αυτών [21].

## 5.2 ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η διεργασία παραγωγής ενός προϊόντος με την τεχνική της περιστροφικής μορφοποίησης είναι σχετικά απλή και αποτελείται από τέσσερα βασικά στάδια (Σχήμα 5.2).



Σχήμα 5.2 Βασικά στάδια της διαδικασίας της περιστροφικής μορφοποίησης [21].

A) Πλήρωση της φόρμας με πολυμερές. Στις περισσότερες διαδικασίες περιστροφικής μορφοποίησης τα καλούπια ή οι κοιλότητες πληρώνονται με μία συγκεκριμένη ποσότητα πολυμερούς και τα δύο μισά των καλουπιών ενώνονται μαζί με μπουλόνια ή σφιγκτήρες. Η ρητίνη χρησιμοποιείται ως σκόνη ή με τη μορφή κόκκων μεγέθους 100-180  $\mu\text{m}$ , ή ακόμα με τη μορφή ιξώδους υγρού.

B) Θέρμανση της φόρμας για να λιώσει το πολυμερές και να μορφοποιηθεί. Το καλούπι τοποθετείται σε έναν προθερμασμένο φούρνο όπου περιστρέφεται διαξονικά ως προς έναν κύριο και ένα δευτερεύοντα άξονα με σχετικά χαμηλές ταχύτητες. Καθώς θερμαίνεται η φόρμα λιώνει το πλαστικό και κατά τη διάρκεια της περιστροφής το τήγμα κολλάει στα τοιχώματα του καλουπιού αποδίδοντας το αντικείμενο που πρόκειται να παραχθεί. Για να μπορέσει το τήγμα να ρεύσει χωρίς πίεση στα στενά κανάλια της φόρμας θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν πολυμερή κατάλληλου ιξώδους τήγματος.

Γ) Ψύξη της φόρμας. Αφού σχηματιστεί το σχήμα του προϊόντος από ένα σχετικά λεπτό στρώμα πολυμερούς το καλούπι μετακινείται σε μία αίθουσα ψύξης όπου ψύχεται αργά με τροφοδοσία ρεύματος αέρα ή με

ψεκασμό νερού. Η περιστροφή της φόρμας συνεχίζεται κατά τη διάρκεια της φάσης της ψύξης έτσι ώστε το πλαστικό να διατηρεί την επιθυμητή μορφή του καθώς σταθεροποιείται.

Δ) Αφαίρεση του σχηματοποιημένου προϊόντος. Όταν το πλαστικό είναι αρκετά άκαμπτο σταματάει η περιστροφή της φόρμας και αυτή απομακρύνεται από την αίθουσα ψύξης, ώστε να γίνει η αφαίρεση του πλαστικού προϊόντος. Το πάχος των τοιχωμάτων καθορίζεται από την ταχύτητα περιστροφής του καλουπιού και την περιεκτικότητα της ρητίνης με την οποία έχει πληρωθεί. Όσο μικρότερη είναι η ταχύτητα περιστροφής για ορισμένη αναλογία πολυμερούς τόσο πιο ομοιόμορφο είναι το πάχος των τοιχωμάτων.

### 5.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Τα κύρια πλεονεκτήματα της περιστροφικής μορφοποίησης είναι:

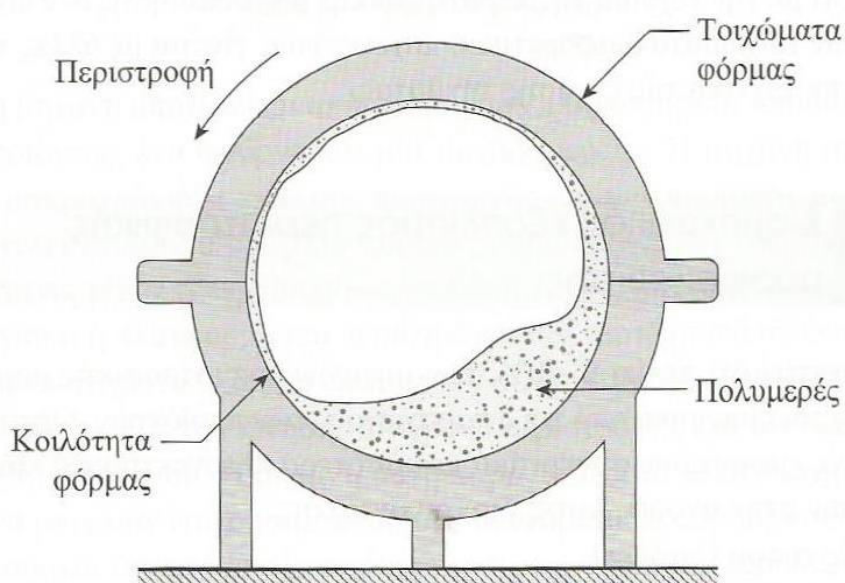
1. Παραγωγή κοίλων προϊόντων σε ένα ενιαίο κομμάτι χωρίς συγκολλήσεις, συνδέσμους ή άλλες ενώσεις.
2. Παρέχει ένα πιο ομοιόμορφο πάχος τοιχωμάτων, τόσο στις απλές όσο και στις διπλότοιχες κατασκευές σε σχέση με άλλες μεθόδους.
3. Πολύπλοκα μέρη που είναι δύσκολο ή αδύνατο να παρασκευαστούν με οποιοδήποτε άλλο τρόπο, όπως τα διπλά τοιχώματα κιβωτίων, μπορούν να παρασκευαστούν με την περιστροφική μορφοποίηση με κατάλληλο σχεδιασμό.
4. Είναι μια διαδικασία χαμηλής πίεσης.
5. Δεν υπάρχει απώλεια υλικού δεδομένου ότι ολόκληρη η ποσότητα καταναλώνεται στην παραγωγή του τελικού προϊόντος.
6. Είναι δυνατόν να παρασκευαστούν και πολυστρωματικά προϊόντα.
7. Διαφορετικοί τύποι προϊόντων μπορούν να παραχθούν μαζί σε μία μηχανή.

Όπως όλες οι τεχνικές μορφοποίησης έτσι και η περιστροφική μορφοποίηση εμφανίζει και μειονεκτήματα, τα σημαντικότερα από τα οποία είναι:

1. Η διαδικασία απαιτεί τη θέρμανση και ψύξη όχι μόνο του πολυμερούς αλλά και της χρησιμοποιούμενης φόρμας.
2. Οι μεγάλοι χρόνοι παραμονής του υλικού σε υψηλή θερμοκρασία αυξάνουν την πιθανότητα της θερμικής και θερμο-οξειδωτικής διάσπασης του πολυμερούς.
3. Η επιλογή των υλικών μορφοποίησης είναι περιορισμένη αφού θα πρέπει έχουν υψηλή ρευστότητα τήγματος.
4. Υψηλοί χρόνοι ψύξης του τελικού προϊόντος.

## 5.4 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Κατά τη διάρκεια της περιστροφικής μορφοποίησης δεν αναπτύσσονται δυνάμεις στο πολυμερές ώστε αυτό να προσκολληθεί στην επιφάνεια του καλουπιού και να πάρει το σχήμα αυτού. Το υλικό παραμένει πλαστικοποιημένο ή ως τήγμα στον πυθμένα του κοίλου καλουπιού (Σχήμα 5.3).



Σχήμα 5.3 Σχηματική παράσταση της ροής του πολυμερούς κατά την περιστροφή του καλουπιού [21].

Κατά τη διαξονική περιστροφή του καλουπιού όλες οι επιφάνειές του διέρχονται πολλές φορές από τη δεξαμενή αυτή του τήγματος. Το λιωμένο πολυμερές προσκολλάται στην επιφάνεια του καλουπιού εξαιτίας της πρόσφυσης δημιουργώντας αρχικά ένα λεπτό υμένιο. Το πάχος αυτού αυξάνεται κατά τη διάρκεια των πολλαπλών περιστροφών του καλουπιού έως ότου όλο το πολυμερές τηχθεί και προσκολληθεί στην επιφάνεια δημιουργώντας ένα στρώμα σταθερού πάχους.

Για να επιτευχθεί η διαδικασία αυτή και να παραχθούν προϊόντα υψηλής ποιότητας θα πρέπει το πολυμερές να βρίσκεται σε μορφή λεπτής σκόνης ώστε να απορροφήσει σχετικά εύκολα τη θερμότητα από το καλούπι. Επίσης, για να μπορεί να ρέει το τήγμα κατά τη διάρκεια της

περιστροφής του καλουπιού θα πρέπει να έχει υψηλό ιξώδες τήγματος και κατά συνέπεια μικρό μοριακό βάρος.

Η περιστροφική μορφοποίηση δε στηρίζεται στις φυγόκεντρες δυνάμεις για να προσκολλήσει το πλαστικό στα τοιχώματα της φόρμας. Οι ταχύτητες περιστροφής είναι χαμηλές και η σκόνη υποβάλλεται σε μία κανονική δράση περιστροφής και ανάμιξης.

Βασικός παράγοντας για να επιτευχθεί ομαλό πάχος τοιχωμάτων είναι ο ρυθμός της διαξονικής περιστροφής του καλουπιού και κυρίως ο λόγος της περιστροφής. Αυτός αναφέρεται στην ταχύτητα περιστροφής του καλουπιού ως προς τον κύριο άξονα σε σχέση με την ταχύτητα περιστροφής ως προς τον δευτερεύοντα άξονα. Κύριος άξονας θεωρείται αυτός όπου το καλούπι είναι συνδεδεμένο με την πλατφόρμα και ο δευτερεύοντας είναι κάθετος στον κύριο άξονα (Σχήμα 5.2).

Ο ρυθμός περιστροφής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{Ρυθμός περιστροφής} = \frac{A}{B - A} \quad (5.1)$$

όπου A, B η ταχύτητα περιστροφής ως προς τον κύριο και τον δευτερεύοντα άξονα αντίστοιχα σε rpm. Ρυθμός περιστροφής περίπου ίσος με 4 θεωρείται μία πολύ καλή επιλογή.

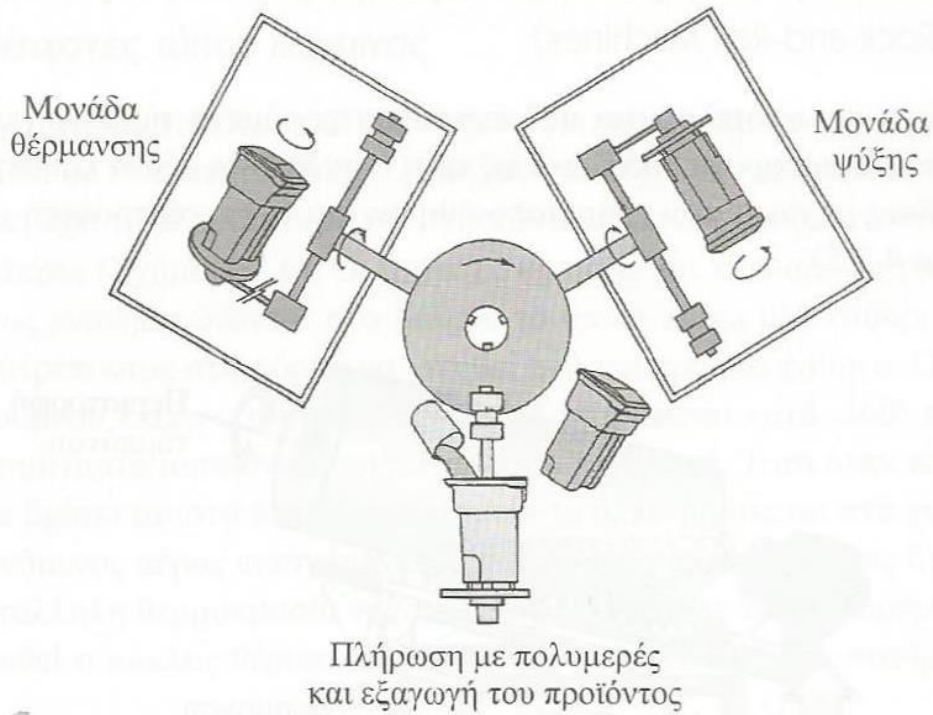
Πρέπει να σημειωθεί ότι με την τεχνική της περιστροφικής μορφοποίησης δεν είναι δυνατόν να παραχθούν τοιχώματα διαφορετικού πάχους όπως γίνεται με άλλες τεχνικές και κυρίως με την τεχνική της έγχυσης.

## 5.5 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

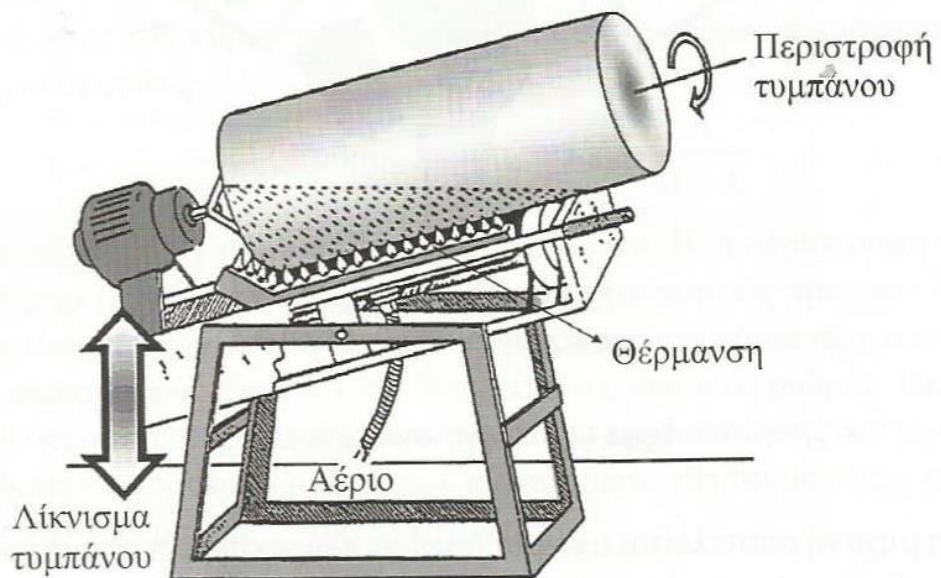
Έχει υπολογιστεί ότι το 40% περίπου των μηχανών περιστροφικής μορφοποίησης κατασκευάζεται εμπειρικά από τους κατασκευαστές των προϊόντων. Ωστόσο, οι εμπορικές μηχανές εμφανίζουν συγκριτικά πλεονεκτήματα και τείνουν να επικρατήσουν στην αγορά. Οι εμπορικές μηχανές διακρίνονται σε:

- Μηχανές τύπου Carousel
- Μηχανές λικνιζόμενων και περιστρεφόμενων τυμπάνων
- Μηχανές τύπου καμπίνας.

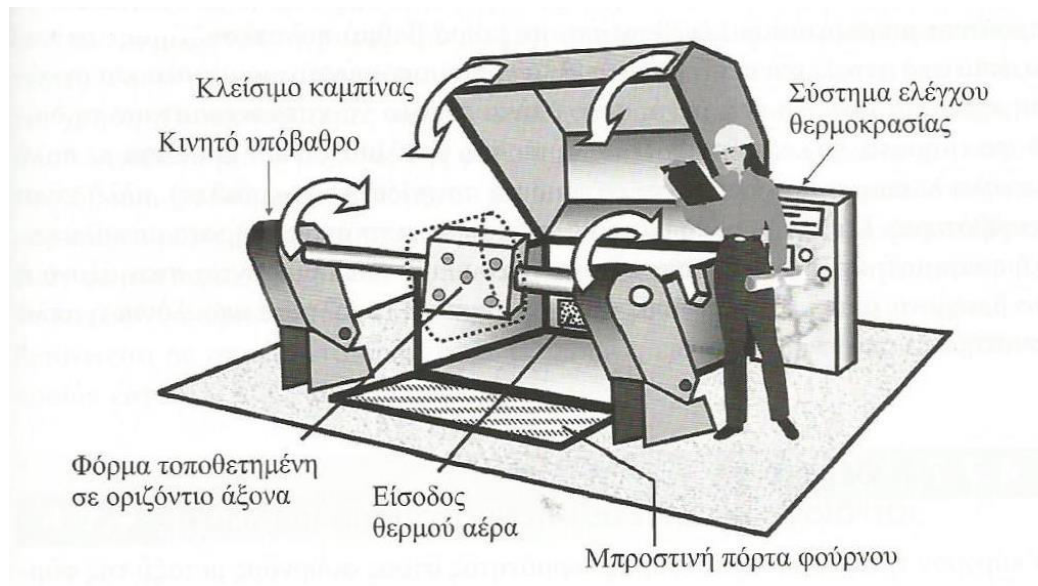




Σχήμα 5.4 Μηχανή τύπου Carousel [21].



Σχήμα 5.5 Μηχανή λικνιζόμενου και περιστρεφόμενου τυμπάνου [21].



Σχήμα 5.6 Μηχανή τύπου καμπίνα; [21].

## 6. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

### 6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η πληθώρα των καταναλωτικών προϊόντων και των υλικών που τα αποτελούν, σε συνδυασμό με την καθιέρωση της νοοτροπίας πως η αξία των υλικών εξαντλείται μετά την πρώτη χρήση, οδήγησαν τα τελευταία χρόνια σε μια άνευ προηγουμένου παραγωγή απορριμμάτων, μεγάλου συνολικού όγκου και σύνθετης σύστασης.

Με την πάροδο του 20<sup>ου</sup> αιώνα και την καθολική επικράτηση της βιομηχανικής μεθόδου μαζικής παραγωγής, παρατηρείται μια εκρηκτική αύξηση του αριθμού και της ποικιλίας των παραγόμενων αγαθών, που συμβαδίζει με την αυξανόμενη χρήση και επεξεργασία των πρώτων υλών οι οποίες βρίσκονται διαθέσιμες στη φύση. Εμφανίστηκε ένα πλήθος προϊόντων, προσβάσιμων από πολίτες κάθε οικονομικής και κοινωνικής τάξης, καθώς η βιομηχανική παραγωγή εξασφάλισε τη μείωση των τιμών, ενώ εξασφαλίστηκε η άμεση και γρήγορη διάθεση των προϊόντων από τα σύγχρονα μέσα μεταφορών. Άμεσο αποτέλεσμα ήταν η προώθηση μιας νέας μορφής κοινωνικής δομής στη βάση της καταναλωτικής ικανότητας, στον αντίποδα της οποίας όμως παρουσιάστηκαν μια σειρά από αρνητικές επιπτώσεις στο ζωτικό χώρο που μας περιβάλλει. Σταδιακά έκαναν την εμφάνισή τους διάφορες μεταβολές στο περιβάλλον, αρχικά δυσδιάκριτες και στη συνέχεια κυρίαρχες και επικίνδυνες, όπως η μείωση των διαθέσιμων ποσοτήτων των πρώτων υλών και η καταστροφή των οικοσυστημάτων που σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα με αυτές.

Στις πραγματικές ή πλασματικές καταναλωτικές μας ανάγκες έρχεται να προστεθεί και η ψυχολογία του σύγχρονου δυτικού πολίτη ως καταναλωτή προϊόντων μιας χρήσης. Η καθημερινότητά μας κατακλύζεται από προϊόντα που συνοδεύονται από ανυπολόγιστες ποσότητες συσκευασιών, ως μέσων προστασίας, συντήρησης ή απλά εντυπωσιασμού και διαφήμισης. Τεράστιες ποσότητες χρήσιμων υλικών καταλήγουν μετά από ελάχιστη ή και μηδενική χρήση σε χώρους απόθεσης απορριμμάτων ή στην καλύτερη περίπτωση σε οργανωμένους χώρους υγειονομικής ταφής.

## 6.2 ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται έντονη κινητικότητα στον τομέα της ανακύκλωσης και εναλλακτικής διαχείρισης συσκευασιών, κυρίως σε χώρες της Δυτικής Ευρώπης. Στη χώρα μας παρόμοιες ενέργειες στηρίζονταν μέχρι πρόσφατα κυρίως από την ιδιωτική πρωτοβουλία και σε μικρότερο βαθμό από ένα περιορισμένο αριθμό οργανωμένων προγραμμάτων της πολιτείας και των Ο.Τ.Α.

Η Ευρωπαϊκή Οδηγία που ορίζει το πλαίσιο και τις αρχές διαχείρισης των υλικών συσκευασίας στους κόλπους της Ε.Ε. υπάρχει από το 1994 (94/62). Η εναρμόνιση της ελληνικής νομοθεσίας με την οδηγία αυτή, πραγματοποιήθηκε με το νόμο 2939 του 2001 («Συσκευασίες και εναλλακτική διαχείριση συσκευασιών και άλλων προϊόντων»). Ο νόμος αυτός προβλέπει τη θέσπιση μέτρων που σχετίζονται με την ολοκληρωμένη διαχείριση των συσκευασιών και άλλων ειδών απορριμμάτων με τους εξής στόχους:

- ✓ θέσπιση μέτρων και όρων για τη συνεργασία των εμπλεκόμενων φορέων. Ως νομικά υπόχρεοι θεωρούνται πλέον όσοι σχετίζονται με την προμήθεια, κατασκευή, διακίνηση και εισαγωγή ειδών συσκευασίας, αλλά και οι Ο.Τ.Α. της χώρας.
- ✓ διαχωρισμός των απορριμμάτων στην πηγή, ανάλογα με το υλικό κατασκευής, που απαιτεί τη συνεργασία των φορέων της τοπικής κοινωνίας
- ✓ συγκρότηση πλαισίου για την αποκομιδή, τη συλλογή και το διαχωρισμό των απορριμμάτων, ώστε να ακολουθήσει δρομολόγηση τους προς κέντρα ανακύκλωσης
- ✓ ανάκτηση μεγάλου μέρους των υλικών (μέχρι και 100% όπου είναι εφικτό) και ενέργειας, ανακύκλωση ή και επαναχρησιμοποίηση των απορριμμάτων με στόχο την εξοικονόμηση πρώτων υλών αλλά και ενέργειας
- ✓ σήμανση των συσκευασιών και ανάπτυξη προτύπων συσκευασίας ώστε να διευκολυνθεί ο διαχωρισμός και η αξιοποίηση
- ✓ πληροφόρηση του κοινού, χωρίς την αρωγή του οποίου είναι αδύνατη κάθε έννοια διαχείρισης και ανακύκλωσης υλικών.

### 6.3 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Η νομοθεσία του 2001 βασίζεται στην αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει» που εφαρμόζεται με επιτυχία σε αρκετές Ευρωπαϊκές χώρες. Δίνει επίσης βάρος στις αρχές της πρόληψης δημιουργίας απορριμμάτων με την εφαρμογή μεθόδων ελαχιστοποίησης υλικών συσκευασίας και στην αρχή της επαναχρησιμοποίησης υλικών με χρήση νέων τεχνολογιών. Με βάση την αρχή αυτή, οι νομικά υπόχρεοι φορείς για τη διακίνηση και παραγωγή υλικών συσκευασίας και υλικών που είναι εν δυνάμει χρήσιμα και μπορούν να αξιοποιηθούν, θα πρέπει να επιβαρύνονται οικονομικά με βάση την ποσότητα και το είδος των υλικών συσκευασίας που διαθέτουν στην ελληνική αγορά. Υπεύθυνος φορέας για την εφαρμογή της νομοθεσίας στη χώρα μας είναι ο Εθνικός Οργανισμός Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και άλλων προϊόντων (Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π.) ο οποίος και προτείνει μεθόδους διαχείρισης, πρότυπα σχεδιασμού και σύνθεσης υλικών και οτιδήποτε σχετίζεται με το παρόν ζήτημα.

Ως νομικά υπόχρεοι φορείς είναι τόσο οι διαχειριστές συσκευασίας όσο και οι Ο.Τ.Α. Οι διαχειριστές συσκευασίας (προμηθευτές, κατασκευαστές, εισαγωγείς, παραγωγοί, διακινητές) υποχρεούνται να συλλέγουν και να διαλέγουν τα απόβλητα συσκευασίας, να τα οδηγούν σε χώρους με εγκεκριμένες εγκαταστάσεις αξιοποίησης και να μη διακινούν προϊόντα χωρίς την κατάλληλη σήμανση.

Κάθε φορέας που είναι νομικά υπόχρεος θα πρέπει να συνεισφέρει οικονομικά σε κάποια εταιρία που εφαρμόζει το σύστημα συλλογικής εναλλακτικής διαχείρισης απορριμμάτων. Σε συνεργασία με την εταιρία αυτή ακολουθεί το κατάλληλο προς αυτήν σύστημα διαχείρισης και επαναχρησιμοποίησης των υλικών που διακινεί. Στα τέλη του 2001 ιδρύθηκε η Ελληνική Εταιρία Αξιοποίησης Ανακύκλωσης Α.Ε. (ΕΕΑΑ) από βιομηχανικές και εμπορικές επιχειρήσεις που είτε κατασκευάζουν είτε διαθέτουν υλικά συσκευασίας που προτείνει και εφαρμόζει το σύστημα συλλογικής εναλλακτικής διαχείρισης «Ανακύκλωση». Τα μέλη της εταιρίας υποχρεούνται να καταβάλλουν εισφορά στην εταιρία, ανάλογα με την ποσότητα (τεμάχια), το βάρος και το υλικό συσκευασίας που διαθέτουν στην ελληνική αγορά.

Ο ρόλος της εταιρίας που εφαρμόζει το σύστημα διαχείρισης είναι να έρχεται σε επαφή με το ΥΠΕΧΩΔΕ, τους κατασκευαστές, τους κατασκευαστές αλλά και την τοπική αυτοδιοίκηση και να προτείνει ολοκληρωμένες λύσεις διαχείρισης. Με τη βοήθεια των εισφορών κάθε μέλους ενισχύει τη χρηματοδότηση των ΟΤΑ σχετικά με ζητήματα ανακύκλωσης, υποστηρίζει την έρευνα νέων καινοτόμων λύσεων και προτείνει λύσεις προς τους κατασκευαστές. Επιπλέον παρέχει την κατάλληλη σήμανση στους κατασκευαστές που συμμετέχουν στο

πρόγραμμα ενισχύοντας έτσι την ανταγωνιστικότητα τους, καθώς σταδιακά οι καταναλωτές αφυπνίζονται σχετικά με τα ζητήματα της ανακύκλωσης και επιλέγουν προϊόντα εταιριών που ενισχύουν τα προγράμματα ανακύκλωσης.

Στην περίπτωση αυτή λαμβάνει και το πράσινο σήμα – green dot - που αποτελεί πανευρωπαϊκό σήμα αναγνώρισης προϊόντων που συμμετέχουν σε ανάλογο πρόγραμμα ανακύκλωσης και αξιοποίησης.

Η νομοθεσία έθεσε πολύ υψηλά τον πήχη για τις επιδόσεις των ελληνικών συστημάτων διαχείρισης απορριμμάτων: μέχρι το τέλος του 2005 αξιοποίηση τουλάχιστον του 50% κ.β. των αποβλήτων συσκευασίας και ανακύκλωση τουλάχιστον του 25% κ.β. των υλικών συσκευασίας στο σύνολό τους (τουλάχιστον το 15% κάθε υλικού). Επιπλέον ορίζει ότι μέχρι το τέλος του 2011 θα πρέπει να πραγματοποιείται:

- Αξιοποίηση τουλάχιστον 60% κ.β. των απορριμμάτων συσκευασίας
- Ανακύκλωση 55-80% κ.β. των απορριμμάτων συσκευασίας
- Ανακύκλωση τουλάχιστον:
  - i. 60 %, κατά βάρος, για το γυαλί,
  - ii. 60 %, κατά βάρος, για το χαρτί και χαρτόνι,
  - iii. 50 %, κατά βάρος, για τα μέταλλα,
  - iv. 22,5 %, κατά βάρος, για τα πλαστικά, λαμβάνοντας αποκλειστικά υπόψη υλικά που ανακυκλώνονται εκ νέου σε πλαστικά,
  - v. 15 %, κατά βάρος, για το ξύλο.

Η συνολική παραγωγή απορριμμάτων στην Ελλάδα έφτασε το 2003 του 4,71 εκ. τόνους, δηλαδή 441 kg / κάτοικος ανά έτος (Οικολογική Εταιρία Ανακύκλωσης). Ο στόχος που θέτει η Ε.Ε. είναι 300 kg / κάτοικο ανά έτος, τιμή την οποία η χώρα μας υπερβαίνει όπως και όλες οι Ευρωπαϊκές χώρες πλην της Πολωνίας και της Τσεχίας.

Η σύνθεση των οικιακών απορριμμάτων στα μεγάλα αστικά κέντρα της χώρας μας, μεταβλήθηκε σημαντικά την τελευταία 20ετία. Σε σχέση με στοιχεία έρευνας του 1982-83, η συμμετοχή υλικών όπως χαρτόνι-χαρτί και πλαστικό στη συνολική σύνθεση του όγκου των απορριμμάτων έχει αυξηθεί. Σε έρευνα του Εργαστηρίου Περιβαλλοντικής Χημείας του Πανεπιστημίου Αθηνών που βρίσκεται σε εξέλιξη, εκτιμάται πως η παρουσία χαρτιού – χαρτονιού στο σύνολο των απορριμμάτων αυξήθηκε από 20% σε 29%, ενώ το ποσοστό πλαστικού διπλασιάστηκε στο 14%. Η συμμετοχή των οργανικών ζυμώσιμων υλικών μειώθηκε στο 40% αλλά αποτελεί ακόμη τον κύριο όγκο των απορριμμάτων (καθημερινή 14-05-2006). Γυαλί (3%), μέταλλα (3%),

αδρανή υλικά (3%) και ξύλο-δέρμα-λάστιχο (2%) φαίνεται να παραμένουν σταθερά.

Όσον αφορά τα υλικά συσκευασίας, στην Ελλάδα η παραγωγή εκτιμάται σε 1 εκ. τόνους ετησίως. Η ανακύκλωση των υλικών αυτών υπολογίζεται σε 45% (ΥΠΕΧΩΔΕ) εξαιτίας της αυξημένης συμμετοχής βιομηχανιών και σούπερ-μάρκετ σε προγράμματα εναλλακτικής διαχείρισης απορριμμάτων. Υστερούμε όμως σημαντικά στον τομέα της ανακύκλωσης υλικών συσκευασίας που χρησιμεύουν σε οικιακές χρήσεις και καταλήγουν στα απορρίμματα, καθώς είτε δεν υπάρχουν οι κατάλληλες υποδομές συλλογής και διαλογής υλικών στους επιμέρους ΟΤΑ, είτε οι ίδιοι οι καταναλωτές δεν έχουν πληροφορηθεί κατάλληλα σχετικά με την αναγκαιότητα της εφαρμογής των συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης.

Σε αντίθεση με κάποιες Ευρωπαϊκές χώρες (Γερμανία, Αυστρία), όπου ο διαχωρισμός των απορριμμάτων στην πηγή αποτελεί πλέον αυτονόητο μέρος της καθημερινότητας και όπου ο διαχωρισμός συμβαίνει με βάση το υλικό κατασκευής σε ξεχωριστούς κάδους σε επίπεδο γειτονιάς, στη χώρα μας επιδιώκεται μια συντομότερη οδός. Καθώς καλούμαστε να επιτύχουμε τους υψηλούς στόχους ανακύκλωσης που έχει θεσπίσει η Ε.Ε. σε σύντομο χρονικό διάστημα και χωρίς την κατάλληλη προετοιμασία και ενημέρωση κάθε πολίτη – καταναλωτή ως προς την προσωπική ευθύνη και τα οφέλη που προκύπτουν, επιλέχθηκε η λύση των «μπλε» κάδων σε συνδυασμό με την κατασκευή μονάδων διαλογής απορριμμάτων. Στους μπλε κάδους καλούνται οι πολίτες να τοποθετούν συνολικά τα υλικά συσκευασίας (ανεξαρτήτως υλικού) τα οποία στη συνέχεια οδηγούνται σε κέντρα διαλογής. Δε θα πρέπει φυσικά να ξεχνάμε πως η δημιουργία μονάδων διαλογής κρίνεται απαραίτητη για το διαχωρισμό των επιμέρους ειδών των υλικών (π.χ. πλαστικό, PET, PVC κ.ο.κ.), ενώ απασχολεί ικανό αριθμό εργαζομένων. Θα περάσουν αρκετά χρόνια μέχρι να γίνει συνείδηση του καθενός και κομμάτι της καθημερινότητας η ανάγκη διαχωρισμού στην πηγή, δηλαδή σε κάθε γειτονιά.

Στην Ελλάδα λειτουργούν σήμερα κέντρα διαλογής στο Μαρούσι και στις πόλεις Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Λάρισα, Ζάκυνθο, Κατερίνη, Λαμία, Χανιά, Καρδίτσα, Καλαμάτα και Τρίκαλα. Υπό κατασκευή βρίσκονται κέντρα διαλογής στην Κέρκυρα, το Ηράκλειο, την ανατολική Θεσσαλονίκη και τον Ασπρόπυργο. Σύμφωνα με εκτιμήσεις του ΥΠΕΧΩΔΕ σήμερα ανακυκλώνεται περίπου το 14% του συνόλου των απορριμμάτων, ποσοστό που υπερδιπλασιάστηκε τα τελευταία χρόνια και που συνεχώς αυξάνεται.

## 6.4 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

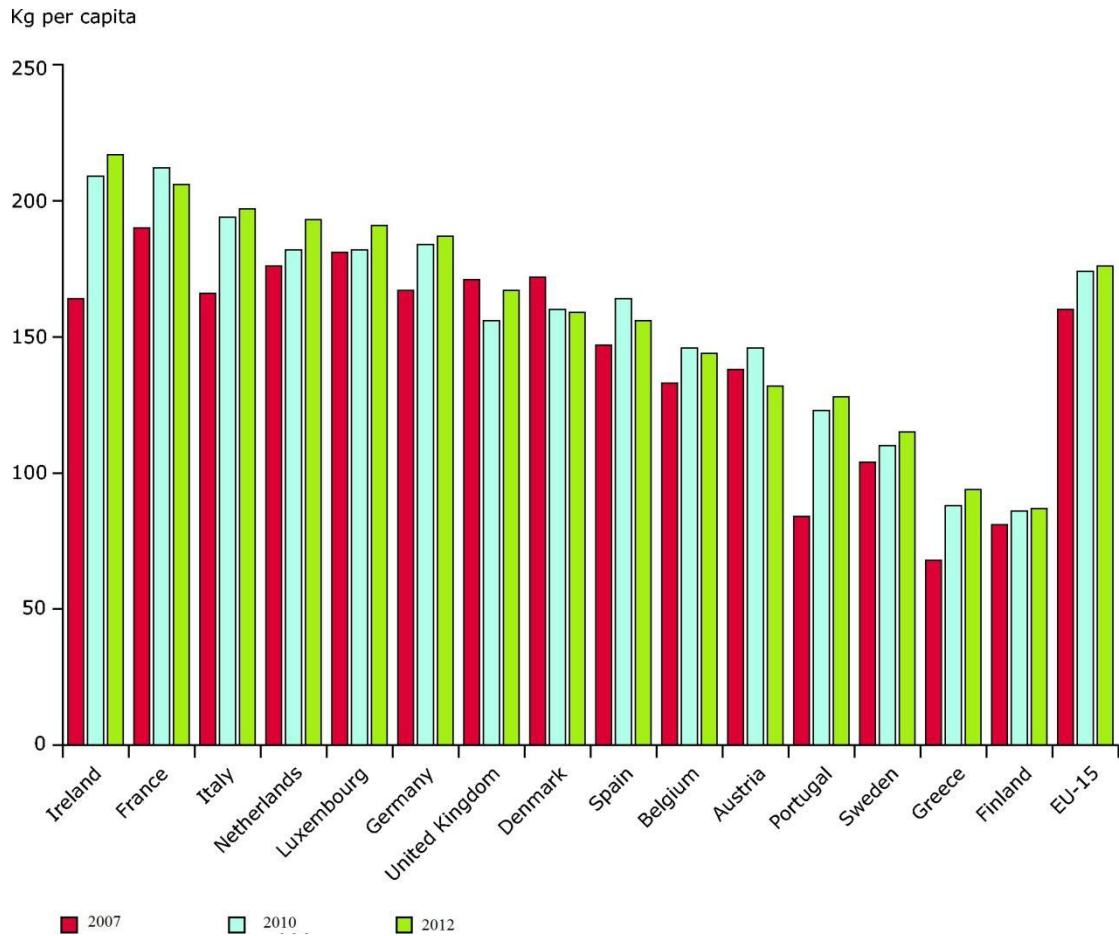
Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος (2002) η χώρα μας κατατάσσεται τελευταία ως προς τις επιδόσεις της στον τομέα της ανακύκλωσης των υλικών συσκευασίας, κυρίως λόγω της καθυστερημένης έναρξης των απαραίτητων ενεργειών. Οι περισσότερες εκθέσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Περιβάλλοντος αναφέρονται στον πυρήνα των 15 χωρών. Πρωτοπόροι στον τομέα της ανακύκλωσης συσκευασιών είναι οι Γερμανοί με πολυετή εμπειρία και τεχνογνωσία στον τομέα αυτό. Επίσης στη χώρα αυτή η πληροφόρηση και η ενημέρωση των πολιτών είναι σε υψηλό επίπεδο, καθώς αποτελεί πλέον μέρος της καθημερινότητάς τους ο διαχωρισμός των απορριμμάτων και η εκτίμηση της αξίας τους σε ύλη και ενέργεια. Στη Γερμανία το 2012 ανακυκλώνονταν το 74% των υλικών συσκευασίας. Και άλλες όμως χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης ακολουθώντας τις οδηγίες και τους κανονισμούς έφτασαν σύντομα σε υψηλές επιδόσεις. Στον πίνακα 6.1 δίδεται μια συνοπτική εικόνα των επιδόσεων της ΕΕ στον τομέα της ανακύκλωσης συσκευασιών με αριθμητικά στοιχεία.

Πίνακας 6.1 Παραγωγή και ανακύκλωση υλικών συσκευασίας σε ορισμένες από τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης<sup>1</sup>

	Παραγωγή Υλικών Συσκευασίας <sup>α</sup> (Κ tn)	Παραγωγή Υλικών Συσκευασίας ανά κάτοικο <sup>α</sup> (kg)	Ανακύκλωση υλικών Συσκευασίας (%) <sup>α</sup>
<b>Ελλάς</b>	974	94	33
<b>Γερμανία</b>	15131 <sup>β</sup>	187	74
<b>Αυστρία</b>	1097	132	66
<b>Πορτογαλία</b>	1357	128	36
<b>Ηνωμένο Βασίλειο</b>	9314	167	44
<b>Δανία</b>	1029	159	57
<b>Ιταλία</b>	11262	197	51
<b>Γαλλία</b>	12500 <sup>β</sup>	206	45
<b>Σουηδία</b>	977 <sup>β</sup>	115	65
<b>EU-15</b>	64876	176	54

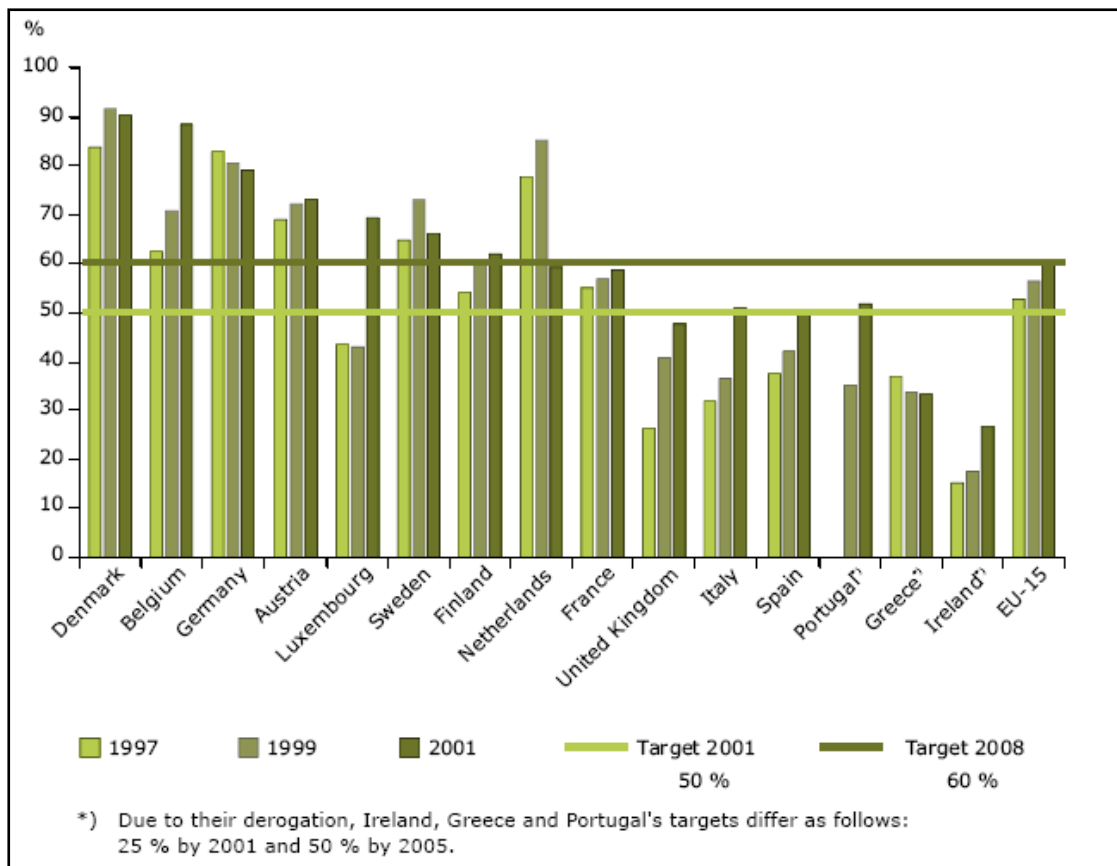
<sup>α</sup> στοιχεία του 2012 <sup>β</sup> στοιχεία του 2010





Σχήμα 6.1 Παραγωγή Υλικών Συσκευασίας σε kg ανά κάτοικο.

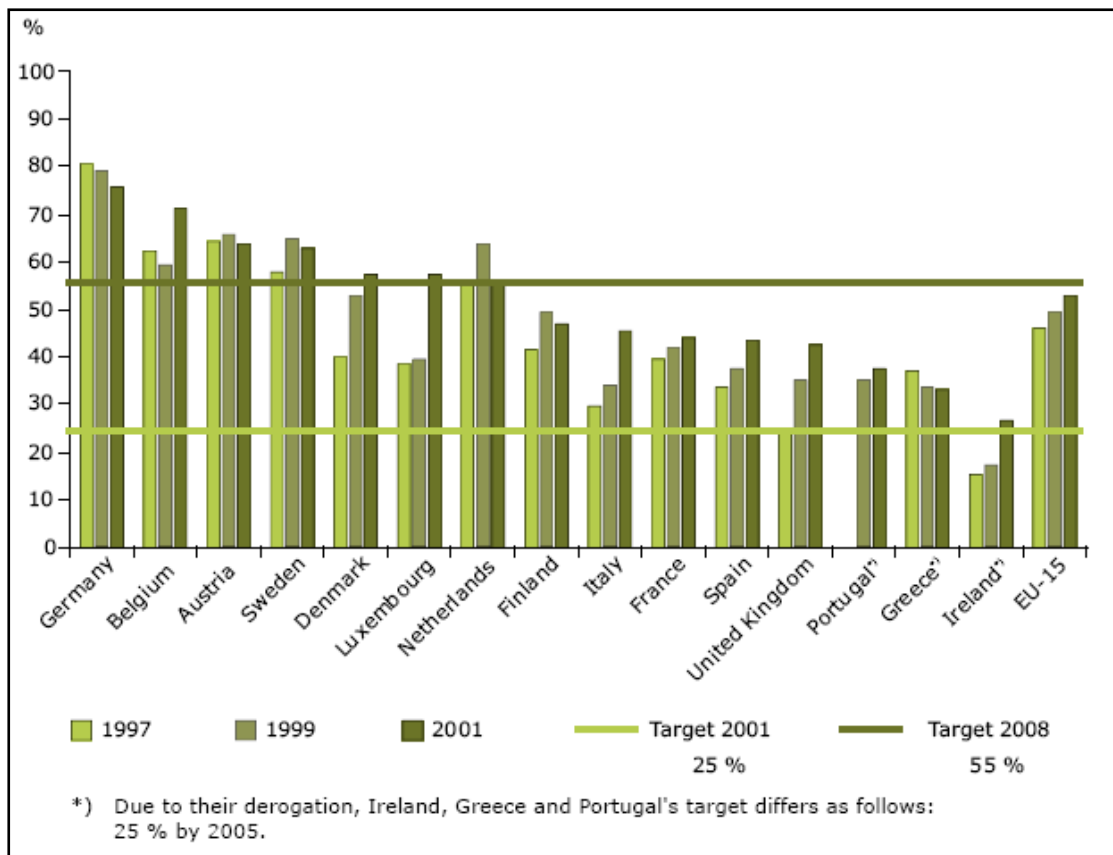
Απώτερος στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης αποτελεί η σταδιακή μείωση της κατά κεφαλή παραγωγής απορριμμάτων από υλικά συσκευασίας, μείωση δηλαδή του προβλήματος στην πηγή. Πρόληψη κι όχι θεραπεία. Η Δανία, Η Αυστρία και σταδιακά το Ηνωμένο Βασίλειο μειώνουν την παραγωγή των υλικών συσκευασίας όχι όμως και οι υπόλοιπες χώρες. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 6.1, η Ελλάδα παραμένει στις τελευταίες θέσεις σε παραγωγή υλικών συσκευασίας με τη μισή παραγωγή σε σχέση με τη Γερμανία, κάτι που αποτελεί ελπιδοφόρο μήνυμα για τους στόχους που έχουμε θέσει.



Σχήμα 6.2 Ανάκτηση υλικών από απορρίμματα συσκευασίας.

Στα διαγράμματα 6.2 και 6.3 παρουσιάζονται οι επιδόσεις των 15 της Ευρώπης ως προς την ανάκτηση υλικών και την ανακύκλωση των απορριμμάτων συσκευασίας. Ο στόχος του 2001 για ανάκτηση τουλάχιστον 50% των υλικών και ανακύκλωση 25% των απορριμμάτων συσκευασίας φαίνεται ότι έχει επιτευχθεί, ενώ φαίνεται πως σε δυο χρόνια θα επιτευχθεί και ο δεύτερος στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης για ανάκτηση 60% των υλικών.

Αμφίβολο είναι αν θα επιτύχουν οι αρκετές Ευρωπαϊκές χώρες να ανακυκλώσουν το 55% των απορριμμάτων συσκευασίας ετησίως μέχρι το 2014. Για τη χώρα μας ισχύουν οι ίδιοι στόχοι με χρονική όμως καθυστέρηση που μας δίνει θεωρητικά τη δυνατότητα να προλάβουμε τις εξελίξεις. Υποχρεούμαστε να ανακυκλώνουμε το 25% των υλικών συσκευασίας από το 2005, στόχο που είχαμε επιτύχει, και το 55% το 2008, με αμφίβολη επιτυχία κυρίως λόγω της μειωμένης συμμετοχής των πολιτών στα προγράμματα.



Σχήμα 6.3 Ποσοστό ανακύκλωσης υλικών συσκευασίας.

## 6.5 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΠΟΛΙΤΗ

Ο ρόλος του πολίτη ως καταναλωτή, μέχρι σήμερα περιορίζεται στο να καταναλώνει και να απορρίπτει, χωρίς να ενδιαφέρεται για τη δυσανάλογη παραγωγή άχρηστων υλικών. Ιδιαίτερα στη χώρα μας, χωρίς αυτό να σημαίνει πως τα παραδείγματα των υπολοίπων ευρωπαϊών εταίρων είναι πρότυπα αρετής, ζητήματα όπως κύκλος ζωής προϊόντος, υποβάθμιση της αξίας των υλικών, αειφόρος ανάπτυξη, αξιοποίηση απορριμμάτων και ενέργειας κλπ, αποτελούν μάλλον άγνωστα και πολύπλοκα βάρη στην ήδη βεβαρημένη μας πραγματικότητα. Ο ρόλος του πολίτη περιορίζεται στη θέση του τιμητή του κράτους, του παθητικού κριτή που αποφεύγει τη συμμετοχή και την ευθύνη της πρωτοβουλίας. Καθένας μας έμαθε να βασίζεται στην πολιτεία για προβλήματα που θεωρεί συλλογικά χωρίς να αντιλαμβάνεται τη σημασία της συμμετοχής του ιδίου. Η λύσεις είναι απλές: επιλογή καταναλωτικών προϊόντων με λιγότερα υλικά συσκευασίας ή προϊόντων που διαθέτουν green dot και προσπάθεια διαχωρισμού στην πηγή, όσο αυτό είναι δυνατό.

Οι στόχοι που θέτει η ευρωπαϊκή ένωση δεν είναι τυχαίοι. Οι αποφάσεις αυτές λαμβάνονται με γνώμονα μελλοντικές κατευθύνσεις με

σταδιακά βήματα. Το πρώτο στάδιο στόχευε στη δημιουργία των εναλλακτικών συστημάτων διαχείρισης απορριμμάτων κυρίως από βιομηχανίες και κέντρα επαγγελματικών δραστηριοτήτων, ενώ το δεύτερο στάδιο στοχεύει στην αφύπνιση των πολιτών και την εμπέδωση της ανακύκλωσης στην καθημερινότητά τους.

Εδώ ακριβώς υπεισέρχεται και ο διττός ρόλος της πολιτείας. Να κατασκευάσει τις απαραίτητες εγκαταστάσεις που θα επιτρέψουν τη συλλογή και ανακύκλωση των υλικών, αλλά και να μεταδώσει ένα αίσθημα ευθύνης στους πολίτες για τη σημασία της συμμετοχής τους, με πληροφόρηση και ενημέρωση.

Σταδιακά καταφθάνει η εποχή που και η ίδια η ανακύκλωση αποτελεί αναποτελεσματικό μέσο επανάκτησης υλικών. Δεν πρέπει να ξεχνάμε πως η ανακύκλωση των υλικών περιορίζεται από τεχνολογικούς, οικονομικούς και οικονομικούς παράγοντες. Πολλές φορές η υφιστάμενη τεχνολογία ανακύκλωσης είναι αναποτελεσματική ή οικονομική ασύμφορη για ορισμένα υλικά, με αποτέλεσμα να επιλέγεται η χρήση απευθείας πρώτων υλών και όχι ανακυκλώσιμων υλικών. Η επιβολή από την πολιτεία οικονομικά μη ασύμφωνων βιομηχανικών μεθόδων παραγωγής από ανακυκλώσιμα υλικά, είναι ανεπίτρεπτη σε ένα περιβάλλον φιλελεύθερης και ανοιχτής οικονομίας. Ακόμη, η αποδοχή του ανακυκλωμένου υλικού ως ισάξιου με το αρχικό, δεν έχει επιτευχθεί στη συνείδηση του καταναλωτή, κάτι που αποτελεί ανασταλτικό κοινωνικό παράγοντα. Επιπλέον αρκετές τεχνικές ανακύκλωσης είναι ενεργοβόρες κάτι που αυξάνει το κόστος του παραγόμενου προϊόντος. Τέλος πρέπει να εμπεδωθεί η ιδέα πως και οι πληρέστερες τεχνικές ανακύκλωσης δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα υλικό για άπειρο κύκλους ζωής, ενώ σχεδόν πάντα μόνο ένα ποσοστό του αρχικού υλικού είναι δυνατόν να ανακτηθεί. Συνεπώς θα φτάσουμε σε μια περίοδο όπου η πρόληψη της δημιουργίας απορριμμάτων θα είναι ο κύριος στόχος. Καλό είναι η πραγματικότητα αυτή να γίνει κατανοητή όσο γίνεται νωρίτερα από όλους.

Η μελλοντική τάση της ευρωπαϊκής ένωσης είναι να προωθήσει τη μείωση της παραγωγής αποβλήτων με τη γενικότερη έννοια. Δεν είναι λίγα τα παραδείγματα προϊόντων που χρησιμοποιούν υλικά συσκευασίας χωρίς κανένα προφανή και απαραίτητο λόγο. Οτιδήποτε και να αγοράσουμε πλέον από κάποιο κατάστημα, θα είναι τυλιγμένο σε κάποιο πολυμερές ή άλλο υλικό, άσχετα αν πραγματικά χρήζει προστασίας ή όχι. Η παραγωγή διαφημιστικών φυλλαδίων σε πολυτελές χαρτί, οι πολλαπλές πλαστικές συσκευασίες, η παραγωγή πλαστικών φιαλών για εμφιαλωμένο νερό κ.ο.κ. είναι παραδείγματα συσκευασιών μικρού μεγέθους με ευρεία αποδοχή, που συνιστούν πρόβλημα για το μέλλον.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έδωσε τις κατευθυντήριες γραμμές και το πλαίσιο των ενεργειών. Μας δίνεται η δυνατότητα να αντιληφθούμε πως

η συνεχής υποβάθμιση της αξίας των πρώτων υλών, είναι αδιέξοδη και εγωιστική πρακτική, δεδομένου ότι ο πλούτος της φύσης δεν είναι ανεξάντλητος.

## 6.6 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

Η ανακύκλωση των πλαστικών απορριμμάτων διακρίνεται σε:

- Πρωτογενή ανακύκλωση: τα ανακυκλωμένα πλαστικά είναι ίδιου ή παρόμοιου τύπου με αυτά από τα οποία προήλθαν
- Δευτερογενή ανακύκλωση ή μηχανική ανακύκλωση: τα ανακυκλωμένα πλαστικά εμφανίζουν μειωμένες ιδιότητες (μηχανικές ή θερμικές) σε σχέση με αυτά από τα οποία προήλθαν
- Τριτογενή ανακύκλωση (Θερμική Ανακύκλωση (πυρόλυση, θερμική διάσπαση, καταλυτική διάσπαση, αεριοποίηση, υδρογόνωση)-Χημική Ανακύκλωση): παραγωγή κηροζίνης, βενζίνης, ντίζελ, χημικών, μονομερών κ.τ.λ.
- Τεταρτογενή ανακύκλωση (αποτέφρωση): ανάκτηση ενέργειας από πλαστικά απορρίμματα

Η επιλογή των τεχνικών ανακύκλωσης των πλαστικών απορριμμάτων χαρακτηρίζεται από διαφοροποιήσεις ανάλογα με την εξέλιξη των επιμέρους διεργασιών, των τιμών των παραγομένων προϊόντων, των κοινωνικών/πολιτικών πιέσεων και των συνακόλουθων νομοθετικών ρυθμίσεων που τίθενται σχετικά με την ασφάλεια των ανακυκλωμένων προϊόντων στην υγεία των πολιτών όσο και των επιπτώσεων τους στο περιβάλλον.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 κύρια επιλογή ήταν η μηχανική ανακύκλωση. Σήμερα το προβάδισμα διαθέτει η καύση ή τεταρτογενής ανακύκλωση (ανάκτηση ενέργειας), λόγω και της προώθησης της καύσης των στερεών δημοτικών απορριμμάτων (όπου τα πλαστικά συν-καίονται με τα δημοτικά), όπως και των δυσκολιών συλλογής-διαλογής και των συλλεγόμενων ποσοτήτων πλαστικών.

Επίσης η τριτογενής ανακύκλωση περιορίζεται σε ειδικές κατηγορίες πλαστικών απορριμμάτων. Η σημαντική αλλαγή, από οικολογική άποψη, είναι κυρίως η δυνατότητα ανακύκλωσης περισσότερων τύπων πλαστικών απορριμμάτων. Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 ανακυκλώνονταν μόνο οικιακά πλαστικά συσκευασίας, ενώ σήμερα, πέραν των οικιακών, ένα ευρύ φάσμα πλαστικών, μεταξύ των οποίων και ειδικές κατηγορίες όπως, ελαστικά οχημάτων, πλαστικά ηλεκτρολογικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, χαλιά κ.τ.λ.

Οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη στην επιλογή της διεργασίας ανακύκλωσης εξαρτώνται από τη φύση του πολυμερούς, το

πεδίο εφαρμογής του και το επίπεδο επιμόλυνσης, σε συνυπολογισμό με τη σταθερή τροφοδοσία των πλαστικών απορριμμάτων και του οικονομικού κόστους της τεχνολογίας.

Το ποσοστό που καταλαμβάνουν οι εφαρμοζόμενες τεχνολογίες είναι: δευτερογενής ανακύκλωση ή μηχανική ανακύκλωση (6%), τριτογενής ανακύκλωση (0.3%) και τεταρτογενής ανακύκλωση (14%).

Η πρωτογενής ανακύκλωση συνήθως πραγματοποιείται στο χώρο της βιομηχανικής παραγωγής των πλαστικών (σκάρτο πλαστικό) ως αποτέλεσμα αστοχιών της παραγωγής και δημιουργίας ελαττωματικών προϊόντων. Σχετικά με την δευτερογενή ή μηχανική ανακύκλωση ένα ποσοστό της τάξης του 15-20 % των πλαστικών απορριμμάτων θα μπορούσε να ανακυκλωθεί με τις συμβατικές διεργασίες της μηχανικής ανακύκλωσης. Πέραν του ρεύματος των πολυολεφινών υφίστανται πολλά ανάμικτα και επιμολυσμένα πλαστικά τα οποία μετατρέπονται σε υποκατάστατα προϊόντων ξύλου τα οποία απαντώνται σε μεγάλο αριθμό εφαρμογών, λόγω των μηχανικών ιδιοτήτων τους και της αντοχής τους στις καιρικές συνθήκες.

Στην τριτογενή ανακύκλωση περιλαμβάνονται η Θερμική Ανακύκλωση: πυρόλυση (υψηλών θερμοκρασιών), θερμική διάσπαση (πυρόλυση χαμηλών θερμοκρασιών), καταλυτική διάσπαση, υδρογόνωση, αεριοποίηση και η Χημική Ανακύκλωση: υδρόλυση, γλυκόλυση και μεθανόλυση των πλαστικών πολυσυμπύκνωσης. Η πυρόλυση διεξάγεται απουσία αέρα ενώ η υδρογόνωση παρουσία υδρογόνου. Κατά την αεριοποίηση συμβαίνει μερική οξείδωση των υδρογονανθράκων.

Ο προσανατολισμός σε αυτές τις τεχνικές οφείλεται στη φύση και τη ποιότητα των ανάμικτων και επιμολυσμένων πλαστικών τα οποία επεξεργάζονται, και τα οποία πέραν της σύστασης τους ως μίγματα πλαστικών περιλαμβάνουν διάφορες προσμίξεις όπως, άμμο, σκόνη, αλουμινόχαρτο, χάρτινες ετικέτες και υπολείμματα τροφών. Με τις τεχνικές αυτές ανακυκλώνονται επίσης ειδικές κατηγορίες πλαστικών απορριμμάτων, όπως πλαστικά κατάλοιπα τεμαχισμού οχημάτων (ΚΤΟ), τα ελαστικά αυτοκινήτων και τα πλαστικά απορρίμματα ηλεκτρολογικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ).

Με την τριτογενή ανακύκλωση μετατρέπονται θερμοπλαστικά και θερμοανθεκτικά πλαστικά σε υψηλής ποιότητας καύσιμα και χημικά και επεξεργάζονται πλαστικά απορρίμματα που δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν με άλλες διεργασίες ούτε τεχνολογικά αλλά κυρίως οικονομικά, λόγω των δαπανηρών σταδίων διαχωρισμού/καθαρισμού.

Στην πυρόλυση χρησιμοποιούνται ανάμικτα και πολυστρωματικά πλαστικά, με υψηλό βαθμό επιμολύνσεων. Ένας περιορισμός γι' αυτή τη διεργασία είναι το περιεχόμενο χλώριο των πλαστικών απορριμμάτων. Στην αιχμή της πυρολυτικής διεργασίας βρίσκονται σήμερα η πυρόλυση

χαμηλών θερμοκρασιών και η καταλυτική διάσπαση με την οποία λαμβάνονται υγρά καύσιμα σε ποσοστό μεγαλύτερο του 80% και το προκύπτον καύσιμο είναι εντός των προδιαγραφών της βενζίνης, κεροζίνης, ντίζελ ή άλλων χρήσιμων υδρογονανθράκων. Στην καταλυτική διάσπαση χρησιμοποιούνται όξινοι καταλύτες όπως πυριτίου-αλουμίνας, ζεόλιθοι (HY, HZSM-5, μορντενίτης) ή αλκαλικές ενώσεις όπως το οξειδίο ψευδαργύρου. Το κύριο πρόβλημα της καταλυτικής διάσπασης είναι ότι οι καταλύτες, κατά την πορεία της διεργασίας, απενεργοποιούνται πάρα πολύ γρήγορα. Πολλές από τις πυρολυτικές διεργασίες βρίσκονται σήμερα στο στάδιο της εφαρμογής σε υψηλών προδιαγραφών εγκαταστάσεις.

Τέλος η ανάκτηση της ενέργειας των πλαστικών απορριμμάτων μπορεί να επιτευχθεί με *αποτέφρωση (τεταρτογενής ανακύκλωση)*, το κόστος όμως απορρύπανσης εξαιτίας των επιπτώσεων στο περιβάλλον (με σημαντικότερη επίπτωση την παραγωγή διοξινών και φουρανίων), όπως και των προδιαγραφών της τροφοδοσίας ως προς τα περιεχόμενα ετεροάτομα είναι πάρα πολύ υψηλό. Πέραν της μονο-καύσης των πλαστικών απορριμμάτων εφαρμόζεται και η συν-καύση με άλλα καύσιμα, όπως στις υψικαμίνους, όπου και πάλι θα πρέπει να τηρούνται οι προδιαγραφές της τροφοδοσίας. Λόγω όλων αυτών των προβλημάτων (περιβαλλοντικών και οικονομικών) στη Γερμανία απαγορεύεται η *καύση των πλαστικών*.

Ως συμπέρασμα σχετικά με την παρουσίαση του συγκεκριμένου επιστημονικού και τεχνολογικού πεδίου, και με τις δεδομένες κοινωνικές προεκτάσεις αλλά και αλληλεπιδράσεις του θα πρέπει να σημειωθεί [5]: ότι η εξέλιξη της τεχνολογίας αν συνδυαστεί με την ελάττωση της χρήσης, επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση των υλικών (με Συλλογή-Διαλογή των υλικών στη Πηγή ή με Μηχανική Διαλογή), η κοινωνία θα οδηγηθεί σε μια σημαντική αύξηση του οικολογικού οφέλους και της ελαχιστοποίησης του οικονομικού κόστους. Αυτό θα έχει σαν συνέπεια την υιοθέτηση των πιο φιλικών προς το περιβάλλον διεργασιών, όπως της μηχανικής ανακύκλωσης και όχι περισσότερων προβληματικών για το περιβάλλον και δαπανηρών για το πολίτη διεργασιών, όπως η καύση.

Σχετικά με τις θερμικές επεξεργασίες που οδηγούνται σε παραγωγή καυσίμων, τα οποία κατηγορούνται ότι συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, θα πρέπει να προσανατολιστεί (όπως έχει αρχίσει και εφαρμόζεται και σήμερα στην πράξη) στην επεξεργασία περισσότερο των ανάμικτων και επιμολυσμένων πλαστικών απορριμμάτων που δεν μπορούν να τύχουν άλλης επιτυχούς επεξεργασίας, όπως και ειδικών κατηγοριών απορριμμάτων (π.χ. ΚΤΟ, ελαστικά οχημάτων, ΑΗΗΕ), με σκοπό την παραγωγή χημικών υψηλής αξίας (π.χ. μονομερή) λόγω των μειωμένων περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων. Σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνεται και η Χημική

Ανακύκλωση των πλαστικών, με χαρακτηριστικό παράδειγμα την ανακύκλωση του PET με την οποία λαμβάνεται το υψηλής αξίας μονομερές καθιστώντας την διεργασία αυτή οικονομικά βιώσιμη.



## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η βιομηχανία των πλαστικών είναι απαραίτητη και διαρκώς εξελίξιμη λόγω του μεγάλου καταναλωτισμού. Νέοι μέθοδοι επεξεργασίας πρώτων υλών, νέα υλικά, νέοι τρόποι μορφοποίησης εξετάζονται και αναπτύσσονται συνεχώς με στόχο την παραγωγή καλύτερων προϊόντων και την ελαχιστοποίηση του κόστους.

Τα πλαστικά υλικά κυριαρχούν όχι μόνο στη συσκευασία αλλά και σε όλες τους τομείς του σύγχρονου τεχνολογικού πολιτισμού. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί πάρα πολλές τεχνικές μορφοποίησης των πλαστικών ώστε να αποκτήσουν την επιθυμητή μορφή και τις επιθυμητές ιδιότητες. Οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιούν εξελιγμένο μηχανολογικό εξοπλισμό και συνεχώς αναπτύσσονται με στόχο την παραγωγή ακόμη καλύτερων πλαστικών υλικών.

Η ανακύκλωση για πολλούς επιστήμονες αποτελεί βασική λύση τόσο σε περιβαλλοντικό επίπεδο όσο και σε οικονομικό. Είναι λοιπόν επιτακτική η ανάγκη μετατόπισης της τάσης από απλή απόρριψη των πλαστικών στους χώρους αποκομιδής σε εξεύρεση και εφαρμογή ικανοποιητικών μεθόδων ανακύκλωσής τους.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. European Parliament and Council Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste (1994).
2. Νόμος 2939, 2001 «Συσκευασίες και εναλλακτική διαχείριση συσκευασιών και άλλων προϊόντων – ίδρυση Εθνικού Οργανισμού Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Άλλων Προϊόντων ΕΟΕΔΣΑΠ», ΦΕΚ 179/2001.
3. Ουέρκνεχ Χ., Η Ενίσχυση του Brand από τη Συσκευασία, Πτυχιακή Εργασία, Αλεξάνδρειο ΤΕΙ Θεσσαλονίκης 2013.
4. <http://www.metal.ntua.gr/uploads/3455/372/Chap11gr.pdf>
5. Μπόκαρης Ε., Τεχνολογία Ανακύκλωσης Πλαστικών, εκδόσεις Ζήτη, 2012.
6. Καρακασίδης Ν., Συσκευασία και Περιβάλλον, εκδόσεις Ίων 1999.
7. Παπαδάκης Σ., Συσκευασία Τροφίμων, εκδόσεις Τζιόλα 2010.
8. Rubin, I.I: Injection Molding: Theory and Practice, Wiley, New York, 1972.
9. Βλάχος, Π., 2005. Ο κλάδος της πλαστικής συσκευασίας, [http://www.iobe.gr/index.asp?a\\_id=165&news\\_id=181](http://www.iobe.gr/index.asp?a_id=165&news_id=181)
10. Κόνδυλα Κ., Περιβαλλοντική πολιτική και εταιρική κοινωνική ευθύνη εταιρειών που παράγουν και χρησιμοποιούν προϊόντα συσκευασίας, Διπλωματική Εργασία, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών στην Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων, Πειραιάς 2011.
11. ΥΠΕΧΩΔΕ, <http://www.minenv.gr/anakyklosi/aim.html>
12. [www.recycle.gr](http://www.recycle.gr)

- 13.Σύνδεσμος ΟΤΑ Μείζονος Θεσσαλονίκης, [www.anakyklosi.gr](http://www.anakyklosi.gr)
- 14.Γραμμή Περιβαλλοντικής Βοήθειας για την Ελαχιστοποίηση των Αποβλήτων, [www.wmin.gr](http://www.wmin.gr)
- 15.Ελληνική Εταιρία Αξιοποίησης Ανακύκλωσης ΕΕΑΑ, [www.herrco.gr](http://www.herrco.gr)
16. ICAP, Κλαδική Μελέτη: Πλαστική Συσκευασία (2005).
17. ICAP, Κλαδική Ανάλυση: Πλαστική Συσκευασία (2011).
- 18.Association of Plastic Manufactures in Europe  
<http://www.plasticseurope.org>
- 19.Σιμιτζής, Ι.Χ, Πολυμερή, Πανεπιστημιακές εκδόσεις ΕΜΠ, 1994
20. <http://www.metadosi-ischios.gr/article.php?ID=281>
21. Καραγιαννίδης Γ., Σιδερίδου Ε., Αχιλιάς Δ. και Μπικιάρης Δ., Τεχνολογία Πολυμερών, εκδόσεις Ζήτη 2009.
22. Βασιλειάδης Δ., Η εφαρμογή των Πλαστικών Μεμβρανών στη Συσκευασία Τροφίμων, Πτυχιακή Εργασία, ΤΕΙ Καβάλας 2010.
23. Μπάμπαλης Θ., Σημειώσεις Βιομηχανικού Σχεδιασμού, ΤΕΙ Λάρισας 2007.