

Α.Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΩΝ
Σ.Τ.Ε.Φ. Τμήμα Μηχανολογίας

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ
ΕΜΦΙΑΛΩΣΗΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΥΔΑΤΟΣ
ΣΕ ΦΙΑΛΗ ΡΕΤ**



ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ : ΙΩΑΝΝΗΣ ΓΙΑΝΝΑΚΗΣ
ΕΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΓΚΙΩΝΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

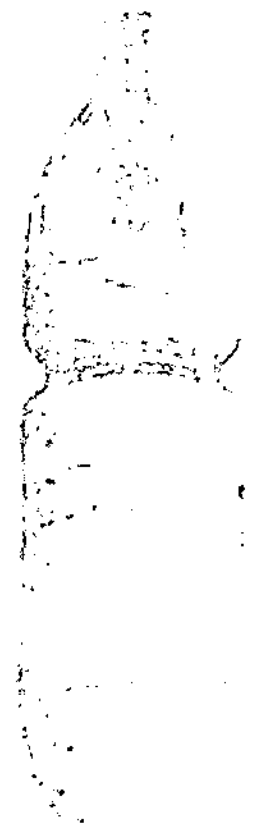
ΠΑΤΡΑ, 2005

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ 7111

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗΣ

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗΣ



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗΣ

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή.....	1
2. Μέθοδοι και τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε άλλα βιομηχανικά συστήματα	3
3. Μέθοδοι και τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στο παρόν βιομηχανικό σύστημα.....	5
4. Χημική τεχνολογία του PET	
4.1 Χαρακτηριστικά του PET.....	8
4.1.1 Χημικός τύπος και μοριακή δομή του PET.....	8
4.1.2 Προετοιμασία και χημεία του PET.....	8
4.1.3 Διαδικασία υποβάθμισης.....	9
4.1.4 Ιδιότητες του PET.....	9
4.1.5 Οι τρεις μεταβατικές φάσεις του PET.....	10
4.1.6 Εφαρμογές.....	11
4.2 Διπλός προσανατολισμός του PET.....	11
4.2.1 Εισαγωγή.....	11
4.2.2 Διπλός προσανατολισμός του PET.....	12
4.2.3.1 Μεταβολές της μακροσκοπικής κατάστασης.....	13
4.2.3.2 Παράμετρος της τάσεως σκλήρυνσης.....	13
4.2.4 Βιομηχανικός διπλο-προσανατολισμός των PET προφορμών.....	14
4.3 Σχεδιασμός φιαλών	16
4.3.1 Η τεχνολογία παρασκευής.....	17
4.3.2 Περιεχόμενα των φιαλών	18
4.4 Επιλογή της κατάλληλης προφόρμας.....	19
4.4.1 Ιδιότητες των προφορμών.....	19
5. Αυτοματοποιημένη βιομηχανική διαδικασία εμφιάλωσης	
5.1 Γενικά.....	21
5.2 Στοιχεία αυτομάτου ελέγχου.....	21
5.3 Μηχανή εμφύσησης.....	29
5.4 Γεμιστική μηχανή.....	36
5.5 Ταπωτική μηχανή.....	42
5.6 Ετικετοποίηση.....	44
5.7 Συσκευασία ετοιμού προϊόντος.....	46
6. Βοηθητικά κυκλώματα τροφοδοσίας	
6.1 Κύκλωμα τροφοδοσίας αέρα υψηλής πίεσεως.....	49
6.1.1 Γενικά.....	49

6.1.2 Στοιχεία και λειτουργία αεροσυμπιεστή.....	49
6.1.3 Τυπική διάταξη επεξεργασίας πεπιεσμένου αέρα.....	53
6.2 Κύκλωμα τροφοδοσίας ποσίου ύδατος.....	58
6.2.1 Επεξεργασία ποσίου ύδατος.....	58
6.2.2 Απομάκρυνση μικροσωματιδίων.....	60
6.2.3 Περιορισμός μικροβιακού φορτίου.....	62

7. Ανάκτηση και ανακύκλωση του PET

7.1 Η ανάγκη για αποτελεσματική ανακύκλωση.....	64
7.2 Ποιότητα του ανακυκλωμένου PET.....	66
7.2.1 Ανάκτηση από τα απορρίμματα.....	67
7.2.2 Ανακύκλωση.....	68
7.2.3 Ο ρόλος του σχεδιασμού του δοχείου.....	70

8. Μελλοντικές τεχνολογίες εμφιάλωσης σε PET

8.1 Οι νέες εφαρμογές.....	71
8.1.1 Αποδημία.....	71
8.1.2 Διαπερατότητα (migration).....	72
8.1.3 Φιάλες πολλαπλών στρώσεων.....	74
8.1.4 Επιστρεφόμενες φιάλες.....	74
8.1.4 Αποδοχή του καταναλωτή.....	75

9. Συμπεράσματα και σκέψεις για μελλοντικές βελτιώσεις.....76

Βιβλιογραφία – Δείγματα δοκιμίων

1. Εισαγωγή

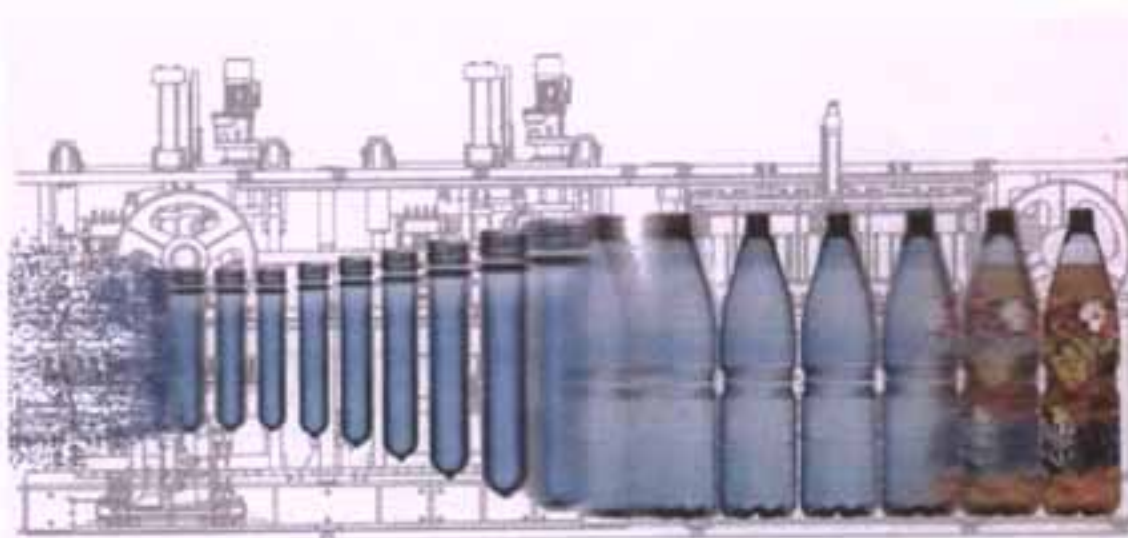
Η χρήση του PET ως υλικού συσκευασίας ξεκίνησε προς το τέλος της δεκαετίας του '70, αλλά ήταν στη δεκαετία του '90 όπου πραγματικά εκτοξεύτηκε. Από το 1990 έως το 1998 το ποσοστό της χρήσης PET για την εμφιάλωση μη αλκοολούχων ποτών, ανέβηκε από το 9 % στο 30 %. Ήδη το 2002 το ποσοστό αυτό ανερχόταν στο 42 %. Ενώ αρχικά η εφαρμογή του PET ξεκίνησε από την εμφιάλωση μεταλλικού νερού, γρήγορα επεκτάθηκε και στην εμφιάλωση αεριούχων ποτών. Τώρα ο κατάλογος είναι φαινομενικά ατελείωτος, συμπεριλαμβανομένων των λαδιών, σαλτσών, και χυμών φρούτων.

Τα πλεονεκτήματα του PET είναι πολυάριθμα. Ένα χαρακτηριστικό μπουκάλι PET 0.5 λίτρου ζυγίζει μόνο 28 γραμμάρια έναντι σε ένα ισοδύναμο μπουκάλι γυαλιού που μπορεί να φτάνει πάνω από τα 350 γραμμάρια. Το PET είναι επίσης κρυστάλλινα διαφανές και δίνει στο μπουκάλι ελκυστική, καθαρή και λαμπερή όψη. Μπορεί φυσικά επίσης να είναι βαμμένο, πράσινο, μπλε ή ηλεκτρικό, αναλόγως με τις απαιτήσεις του προϊόντος και του καταναλωτή. Η χρήση των πλαστικών μπουκαλιών ξεπερνάει το πρόβλημα της θραύσης που συνδέεται με το γυαλί και -όπως το γυαλί- το PET είναι συνολικά ανακυκλώσιμο. Εντούτοις η συσκευασία σε PET, λόγω της δυνατότητας ευελιξίας σχεδιασμού, θεωρείται σήμερα όχι μόνο ανταγωνιστική έναντι του γυαλιού, αλλά είναι σε θέση να εδραιωθεί και να αντικαταστήσει συνολικά τις νέες αγορές και τις νέες καταναλωτικές συνήθειες.



Η αυξανόμενη χρήση PET ως καινοτόμο υλικό, προκάλεσε τον σχεδιασμό και την δημιουργία τεχνολογίας που αναπτύσσεται αποκλειστικά για την παραγωγή και την εμφιάλωση των φιαλών αυτών. Έτσι δημιουργήθηκαν μηχανές με χαρακτηριστικά γνωρίσματα, όπως τα συνολικά αυτόματα συστήματα επιθεώρησης και απόρριψης, η αποθήκευση και η ανάκληση όλων των λειτουργικών παραμέτρων για κάθε διαφορετικό τύπο φιάλης, έλεγχος από οθόνες επαφής για αλλαγές στις

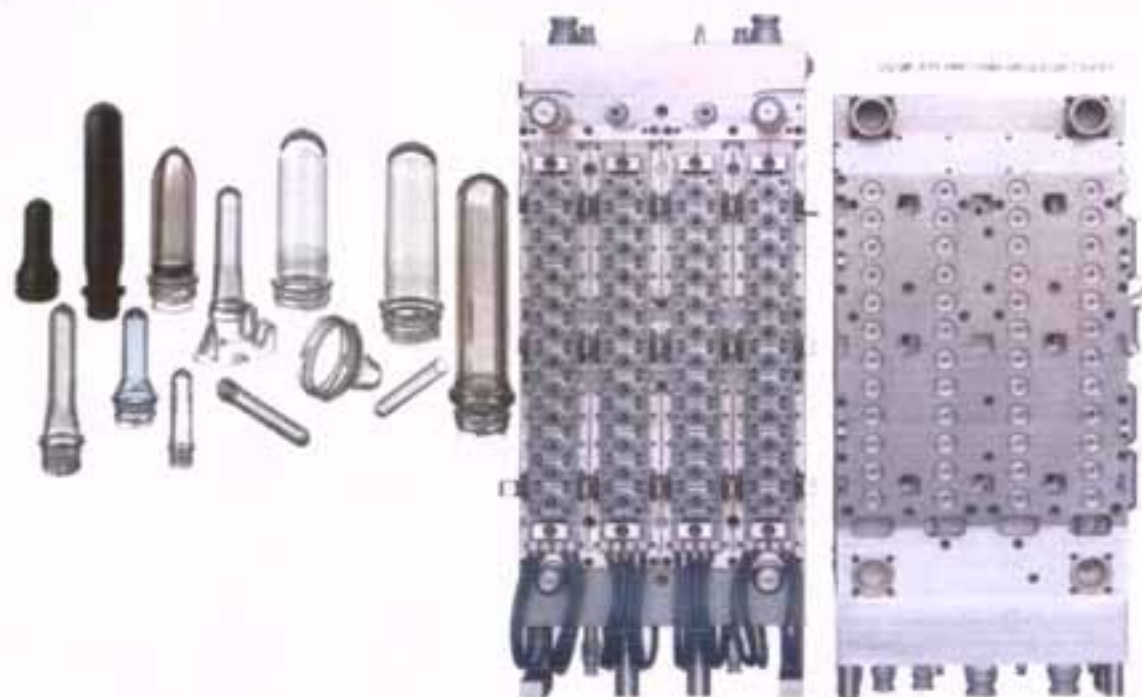
παραμέτρους σε πραγματικό χρόνο, remote control για χειρισμό από απόσταση και εγχειρίδια για άμεση αντιμετώπιση των τυχόν προβλημάτων που παρουσιάζονται κατά την παραγωγική διαδικασία. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό πλεονέκτημα του PET είναι η σχετική ευκολία με την οποία οι φιάλες μπορούν να παραχθούν στο εσωτερικό του εμφιαλωτηρίου από τον ίδιο τον εμφιαλωτή.



Στην παρούσα μελέτη θα αναπτυχθούν οι διάφορες τεχνολογίες που αφορούν την παραγωγική διαδικασία της βιομηχανικής διαδικασίας εμφιάλωσης σε φιάλη PET. Στα κεφάλαια 2 και 3 θα αναφερθούν επιγραμματικά οι δύο βασικές μέθοδοι παραγωγής φιαλών. Στο κεφάλαιο 4 που αφορά τη χημική τεχνολογία του PET, αναπτύσσεται η χημική του σύσταση και πως αυτή επηρεάζει τις μηχανικές του ιδιότητες. Οι αρχές του αυτομάτου ελέγχου και οι εφαρμογές του βιομηχανικού αυτοματισμού αναφέρονται στο κεφάλαιο 5. Στο ίδιο κεφάλαιο αναπτύσσονται επίσης λεπτομερώς όλα τα επιμέρους στάδια της βιομηχανικής εμφιάλωσης. Στο κεφάλαιο 6 μελετώνται τα βοηθητικά συστήματα παροχής καθαρού πεπιεσμένου αέρα και επεξεργασίας του προς εμφιάλωση ποσίμου ύδατος. Το κεφάλαιο 7 αφορά την ανάκτηση και την ανακύκλωση του PET. Οι μελλοντικές τεχνολογίες που αφορούν στην βιομηχανική χρήση του PET αναφέρονται στο κεφάλαιο 8. Τέλος στο κεφάλαιο 9 καταγράφονται συμπεράσματα και σκέψεις για μελλοντικές βελτιώσεις.

2. Μέθοδοι και τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε άλλα βιομηχανικά συστήματα

Οι φιάλες από PET παράγονται από μια διαδικασία θέρμανσης – επιμήκυνσης – εμφύσησης, γνωστή ως SBM (Stretch – Blow – Moulding). Κατά τη διαδικασία αυτή τα προπλάσματα, που ονομάζονται προφόρμες (preforms) και έχουν την όψη δοκιμαστικού σωλήνα, θερμαίνονται περίπου στους 110 °C και υποβάλλονται στην διαδικασία επιμήκυνσης – εμφύσησης με πεπιεσμένο αέρα στο κοίλο εσωτερικό ενός καπουλιού. Η ειδοποιός διαφορά ανάμεσα στις παραγωγικές μεθόδους έγκειται στο αν η κατασκευή των προφορμών υφίσταται ως διαφορετικό στάδιο στην παραγωγή της φιάλης ή είναι μέρος της αυτής παραγωγικής διαδικασίας. Έτσι οι δύο αυτές διαφορετικές παραγωγικές μέθοδοι, ονομάζονται *δύο σταδίων* ή *ενός σταδίου* αντίστοιχα. Στην παρούσα μελέτη θα αναπτυχθεί η παραγωγική διαδικασία *δύο σταδίων*.



Σχ. 2.1 Διάφοροι τύποι προφορμών και καλούπι έκχυσης

Σε άλλα βιομηχανικά συστήματα χρησιμοποιείται η μέθοδος *ενός σταδίου*, όπου η προφόρμα σχηματίζεται με τη μέθοδο της εκχύσεως και στη συνέχεια χωρίς να ψυχθεί, οδηγείται στο καλούπι όπου και θα πάρει την τελική μορφή φιάλης. Στην πραγματικότητα δύο ευδιάκριτα στάδια παραγωγής ενσωματώνονται σε μια μηχανή. Καθώς ο χρόνος εκχύσεως και σταθεροποίησης των προφορμών είναι κατά πολύ μεγαλύτερος από αυτόν του σχηματισμού της φιάλης, είναι επόμενο ότι ο αριθμός των αποτυπωμάτων θα είναι πολλαπλάσιος αυτού των σταθμών εμφύσησης. Αφού η προφόρμα σχηματισθεί και προτού ψυχθεί πλήρως, οδηγείται σε μια θερμαινόμενη ζώνη όπου αποκτά το τελικό προφίλ θέρμανσης (ανάλογα με το σχήμα της φιάλης για το οποίο προορίζεται). Στην συνέχεια οδηγείται στο εσωτερικό του καλουπιού όπου και θα πάρει το τελικό της σχήμα.

Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου ενός σταδίου είναι η σημαντική μείωση του κόστους παραγωγής, καθώς εξαλείφεται το κόστος μεταποίησης της ρητίνης PET σε προφόρμα. Υπάρχουν όμως μια σειρά μειονεκτήματα που οδηγούν στην επικράτηση της μεθόδου δύο σταδίων. Τα βασικότερα από αυτά είναι :

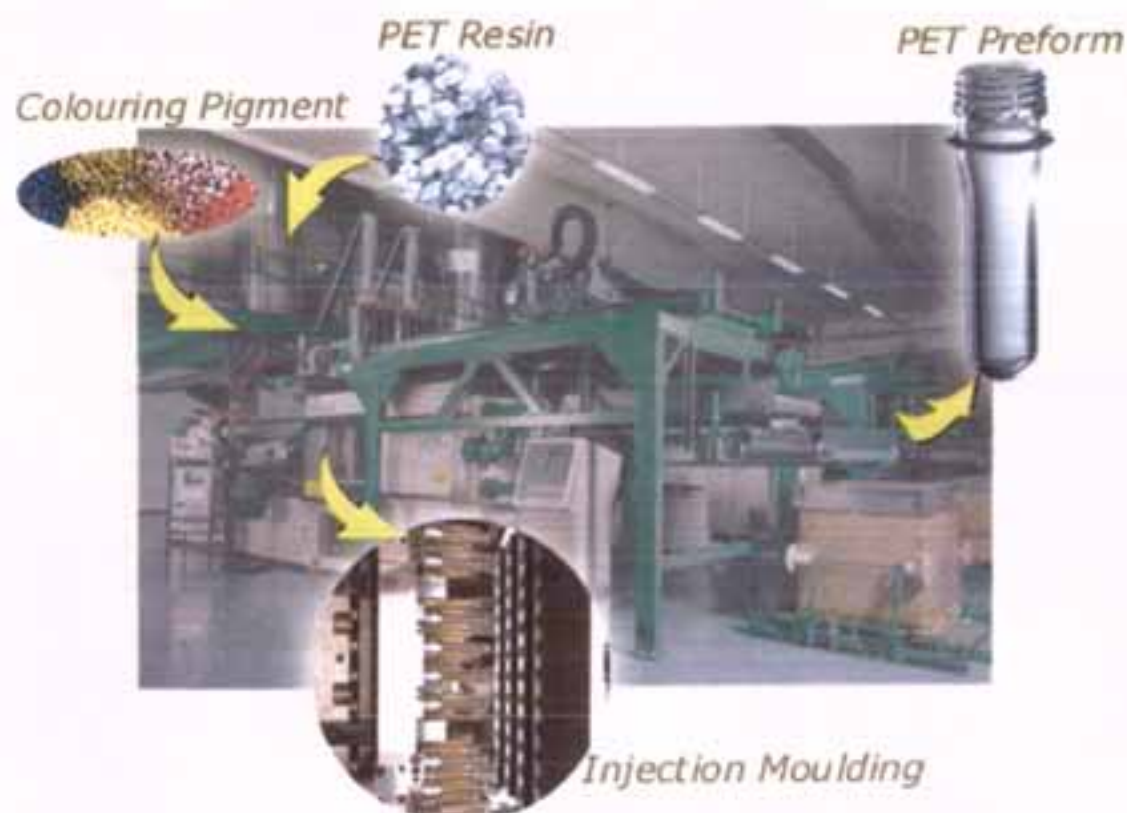
- ⬇ Ο εμφιαλωτής μπορεί να αλλάξει εύκολα τύπο προφόρμας, αλλάζοντας απλά προμηθευτή.
- ⬇ Απλουστεύεται η παραγωγική διαδικασία, αφού η παραγωγή με έκχυση (injection moulding) είναι πολύπλοκη και απαιτεί ιδιαίτερη τεχνογνωσία.
- ⬇ Μειώνεται το κόστος των σταματημάτων, αφού το σταμάτημα μιας μηχανής εκχύσεως είναι μια περίπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία.

3. Μέθοδοι και τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στο παρόν βιομηχανικό σύστημα

Ο βασικός διαχωρισμός των βιομηχανιών εμφιάλωσης έγκειται στην μέθοδο κατασκευής των φιαλών. Στο παρόν βιομηχανικό σύστημα χρησιμοποιείται η μέθοδος των δύο σταδίων (2-stage process), η οποία έχει ως εξής :

- Πρώτο στάδιο : Η κατασκευή της προφόρμας (preforms) με την μέθοδο της εκχύσεως (injection moulding).
- Δεύτερο στάδιο : Η κατασκευή της φιάλης σε μηχανές εμφύσησης, όπου η προφόρμα επαναθερμαίνεται, επιμηκύνεται και φουσκώνεται (SBM process : Stretch – Blow – Moulding).

Οι προφόρμες αποτελούν τα προπλάσματα που θα μετατραπούν σε φιάλες. Κατά τη διαδικασία κατασκευής των προφορμών, το PET σε μορφή ρητίνης αφού αναμιχθεί με χρωστικές και βελτιωτικές ουσίες, οδηγείται με τη μέθοδο της εκχύσεως σε καλούπια που θα του δώσουν και το τελικό του σχήμα. Η προφόρμα φέρει το σπείρωμα όπου θα προσαρμοστεί το πώμα. Τα συνήθη σπείρώματα είναι τυποποιημένα κατά DIN και διατίθενται σε μεγάλη ποικιλία που καλύπτει κάθε ανάγκη. Οι προφόρμες διατίθενται επίσης σε μεγάλη ποικιλία σχημάτων και μαζών, αναλόγως με το σχήμα του δοχείου για το οποίο προορίζονται.



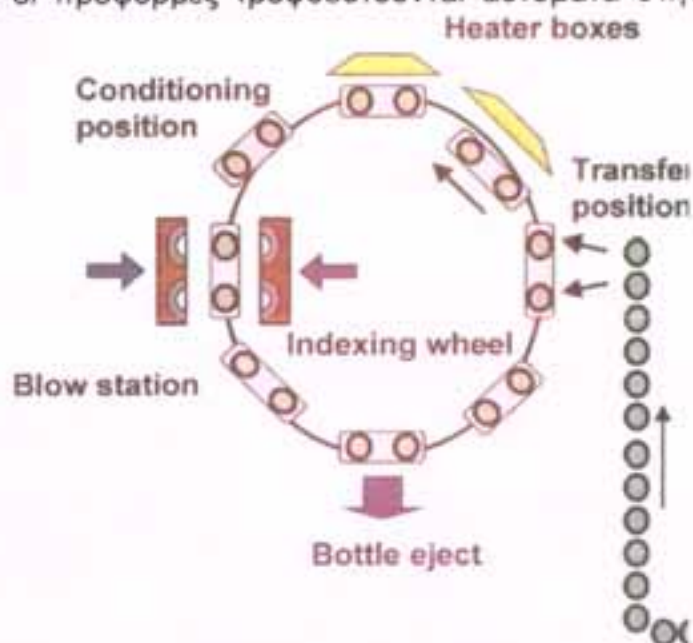
Σχ. 3.1 Διαδικασία κατασκευής προφορμών (injection moulding)

Η διαδικασία της μετατροπής της προφόρμας σε πλήρως σχηματισμένη φιάλη (δεύτερο στάδιο) διακρίνεται σε τρία βασικά βήματα, τα οποία εκτελούνται από τη μηχανή εμφύσησης (SBM : stretch – blow machine). Τα τρία αυτά βήματα είναι :

- 1) Θέρμανση των προφορμών
- 2) Εξισορρόπηση του προφίλ θέρμανσης
- 3) Επιμήκυνση – φύσημα

Ο σχεδιασμός και οι ταχύτητες των μηχανών εμφύσησης διαφέρουν από κατασκευαστή σε κατασκευαστή, ωστόσο οι βασικές αρχές παραμένουν κοινές. Η επιλογή της κατάλληλης μηχανής εξαρτάται από τη ζητούμενη «έξοδο», το σχεδιασμό του υπάρχοντος εργοστασίου και φυσικά από το κόστος. Οι απλούστερες διατάξεις είναι χειροκίνητα τροφοδοτούμενες μονάδες, όπου ο φούρνος θέρμανσης των προφορμών και ο τροχός εμφύσησης είναι ξεχωριστές ανεξάρτητες μονάδες. Οι τυπικές αποδόσεις αυτών των διατάξεων είναι 1000 με 1200 φιάλες για μία μηχανή με δύο καλούπια του ενός λίτρου.

Ένας πιο αποδοτικός τύπος μηχανών εμφύσησης είναι αυτός της «γραμμικής» διάταξης, όπου οι προφόρμες τροφοδοτούνται αυτόματα στην είσοδο της μηχανής και η σχηματισμένη φιάλη εξέρχεται, κατευθυνόμενη προς τη γεμιστική μηχανή. Είναι σύνηθες για αυτόν τον τύπο μηχανών η ζώνη θέρμανσης των προφορμών (φούρνος) να έχει δακτυλική μορφή, κάθετη ή οριζόντια. Οι θερμές προφόρμες εξερχόμενες από τον φούρνο μεταφέρονται μηχανικά στα καλούπια σε παρτίδες των 4,6,8 κλπ, αναλόγως των σταθμών εμφύσησης της μηχανής.



Σχ. 3.2 Αρχή λειτουργίας «γραμμικής» μηχανής εμφύσησης

Ο τύπος των «περιστροφικών» μηχανών εμφύσησης είναι και ο πιο αποδοτικός και είναι αυτός που θα αναπτυχθεί λεπτομερώς στο κεφάλαιο 5.3. Κατά τη διαδικασία εμφύσησης, μια συνεχώς κινούμενη κυκλική αλυσίδα μεταφέρει τις προφόρμες δια μέσου της ζώνης θέρμανσης, οι οποίες κατόπιν μεταφέρονται στον περιστρεφόμενο τροχό εμφύσησης όπου φέρονται περιφερειακά οι σταθμοί εμφύσησης. Εκεί οι θερμές προφόρμες μεταφέρονται σε ένα άδειο καλούπι, καθώς αυτό περνά από τη ζώνη διανομής του φούρνου. Όσπου το καλούπι να εκτελέσει μια πλήρη περιστροφή 360°, η προφόρμα έχει μετατραπεί σε φιάλη και έχει απομακρυνθεί, οπότε και το καλούπι είναι έτοιμο να δεχθεί μια καινούργια προφόρμα.

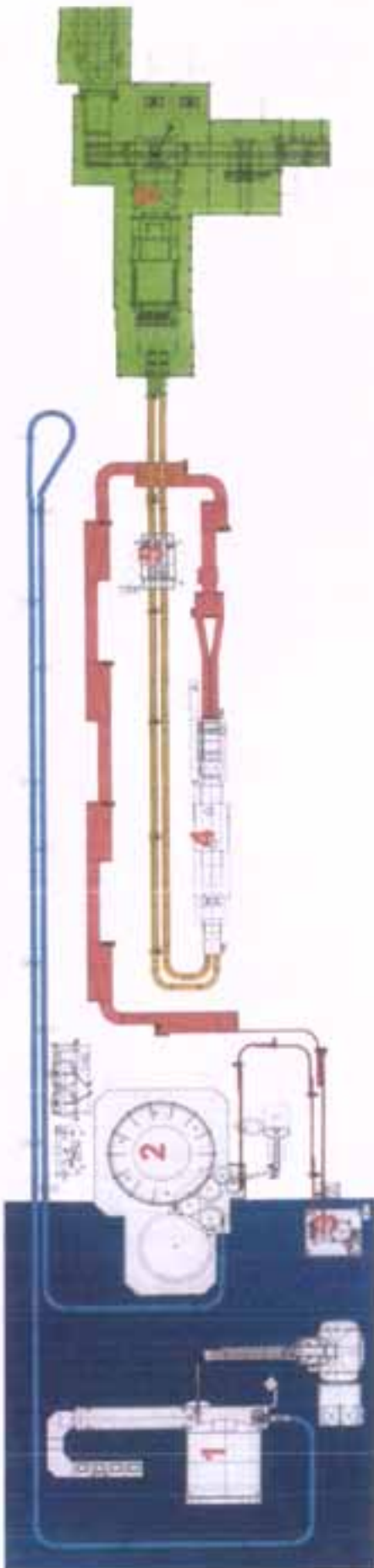
Σχ. 3.3 Τυπική διάταξη βιομηχανικής μονάδας εμφιάλωσης.

1. Μηχανή εμφύσησης
2. Γεμιστική και ταπωτική μηχανή
3. Μηχανή ετικετοποίησης
4. Μηχανή θερμοσυρρίκνωσης
5. Deviator (διαχωρηστής)
6. Παλετοποιητής

Αφού η φιάλη σχηματισθεί, οδηγείται μέσω γραμμής αερομεταφοράς στη γεμιστική μηχανή (βλ. κεφ. 5.4) όπου και θα πληρωθεί από το προϊόν. Η πλήρωση γίνεται λόγω βαρύτητας και ο έλεγχος στάθμης με την τεχνική Gravity level, κατά την οποία η ροή σταματά όταν το προϊόν φτάσει στο ύψος του σωλήνα διαφυγής του αέρα (water level tube). Η γεμάτη φιάλη οδηγείται πλέον προς την ταπωτική μηχανή (βλ. κεφ. 5.5), όπου και θα εφαρμοστεί το πώμα. Στα εμφιαλωμένα νερά κατά κανόνα χρησιμοποιούνται επίπεδα πλαστικά πώματα με προσχηματισμένο σπείρωμα αντίστοιχο με το σπείρωμα που φέρεται στον λαιμό της προφόρμας (pre-threaded flat plastic caps). Η ταπωτική μηχανή συνήθως φιλοξενείται στο εσωτερικό της γεμιστικής μηχανής, όπου τηρείται μικροβιακά ελεγχόμενο περιβάλλον. Έτσι η φιάλη πληρώνεται και σφραγίζεται πριν βγει στο σχετικά φορτισμένο μικροβιακά περιβάλλον της βιομηχανικής μονάδας.

Έπειτα η σφραγισμένη φιάλη κατευθύνεται στην μηχανή ετικετοποίησης (βλ. κεφ. 5.6) όπου και θα τοποθετηθεί η ετικέτα. Στην περίπτωση κυλινδρικών φιαλών από PET ή PVC, όπου συνήθως εμφιαλώνονται νερό και αναψυκτικά, χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο η τεχνική της «θερμόρευστης κόλλας» (Hot melt labelling). Η ετικέτα εκτός από την ταυτότητα του προϊόντος, επηρεάζει σημαντικά και την εμφάνισή του. Το προϊόν πρέπει να δείχνει καθαρό και ελκυστικό. Η ετικέτα πρέπει να αντικατοπτρίζει την ποιότητα του προϊόντος.

Το προϊόν θα οδηγηθεί στις μηχανές συσκευασίας (βλ. κεφ. 5.7), όπου και θα συσκευασθεί σε χαρτοκιβώτια ή θερμοσυρρικνούμενο φιλμ και θα στοιβαχτεί σε παλέτες στον παλετοποιητή.

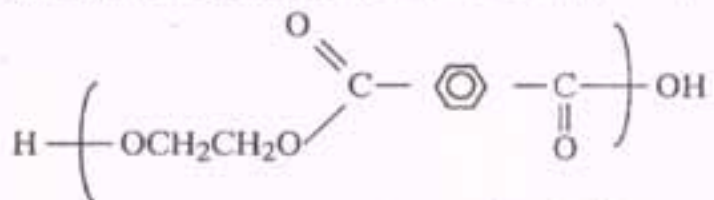


4. Χημική τεχνολογία του PET

4.1 Χαρακτηριστικά του PET

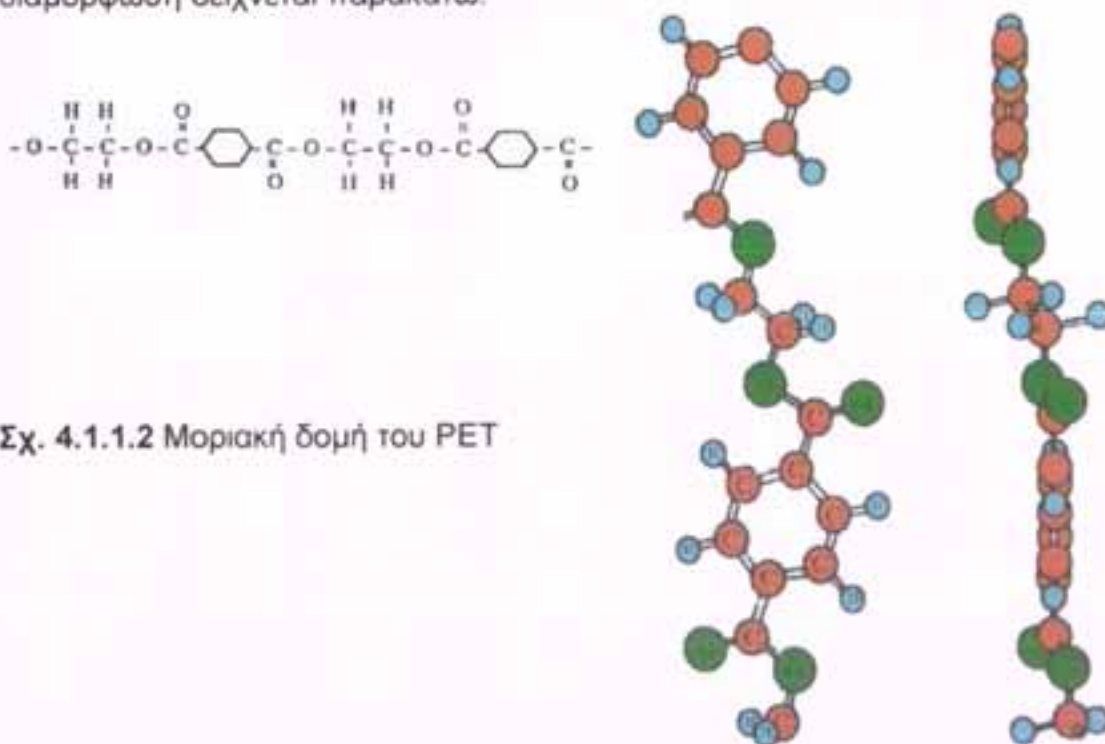
4.1.1 Χημικός τύπος και μοριακή δομή του PET

Το PET, γνωστό επίσης και ως αιθυλογλυκολικό πολυτερεφθάλιο, είναι κορεσμένο, θερμοπλαστικό polyester με την κάτωθι μοριακή δομή:



Σχ. 4.1.1.1 Χημική μορφή του PET

Το PET, έχει γραμμική μοριακή δομή και είναι ημικρυσταλλικό. Η μοριακή διαμόρφωση δείχνεται παρακάτω:



Σχ. 4.1.1.2 Μοριακή δομή του PET

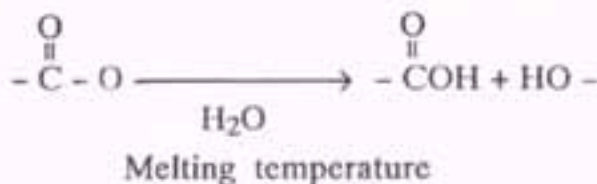
4.1.2 Προετοιμασία και χημεία του PET

Η γενικά αποδεκτή μέθοδος παραγωγής, είναι μια απευθείας αντίδραση εστεροποίησης ανάμεσα στην αιθυλική γλυκόλη και το τερεφθαλικό οξύ. Η αρχική αντίδραση ακολουθείται από μια αντίδραση πολυσυμπύκνωσης στην οποία ο βαθμός πολυμερισμού ελέγχεται από την διαφοροποίηση της θερμοκρασίας και της πίεσης της αντίδρασης.

4.1.3 Διαδικασία υποβάθμισης

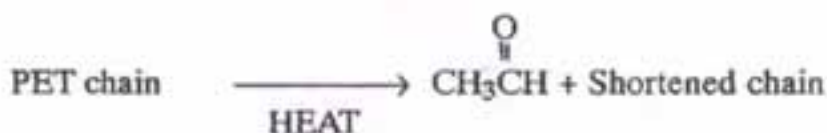
Η διαδικασία υποβάθμισης διακρίνεται σε δύο στάδια :

Η **υδρόλυση**, είναι μια διαδικασία υποβάθμισης η οποία κόβει τις πολυμερικές αλυσίδες μειώνοντας το μοριακό βάρος και συνεπώς το ιξώδες (IV).



Σχ. 4.1.3.3 Υδρόλυση

Η **θερμική υποβάθμιση** κονταίνει τις πολυμερικές αλυσίδες έως ότου παραμείνουν μόνον τα oligομερή (n=1 έως 5 units). Υπάρχει η ταυτόχρονη παραγωγή ακεταλδεύδης, που μπορεί να νοθεύσει τα είδη διατροφής.

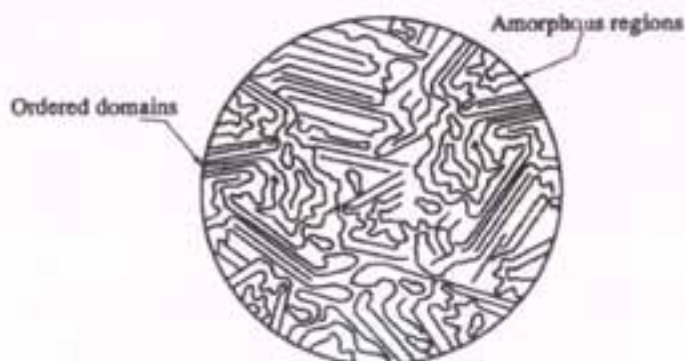


Σχ. 4.1.3.4 Θερμική υποβάθμιση

Στην πράξη όμως, αυτοί οι μηχανισμοί υποβάθμισης λαμβάνουν χώρα στην θερμοκρασία που λιώνει το PET και συνεπώς λαμβάνονται υπόψη κατά τα διαφορετικά στάδια επεξεργασίας του PET, απλώς σαν σύνθεση και έκχυση.

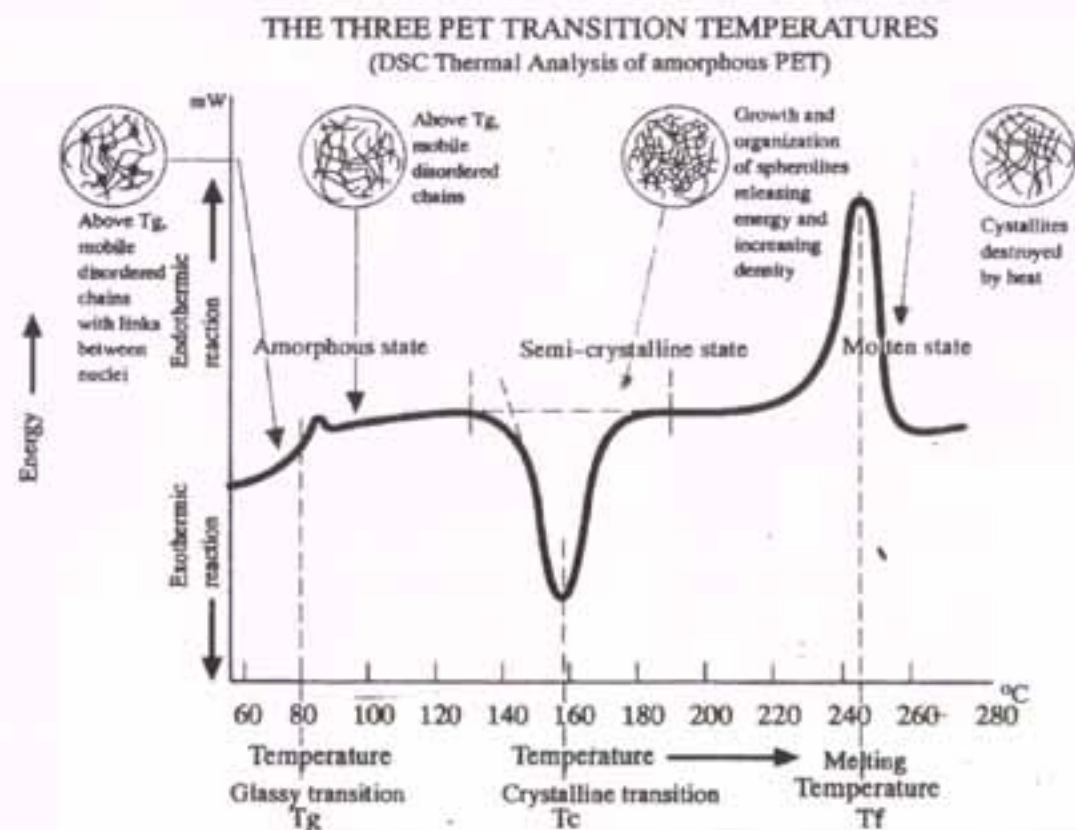
4.1.4 Ιδιότητες του PET

Το PET, έχει μια γραμμική μοριακή δομή. Είναι ένα ημικρυσταλλικό πολυμερές (Σχ. 4.2.1), το οποίο σημαίνει ότι έχει μια άμορφη φάση που δικτυώνεται από μια κρυσταλλική φάση.



Σχ. 4.1.4.1
Ημικρυσταλλικό μοντέλο

4.1.5 Οι τρεις μεταβατικές φάσεις του PET



Σχ. 4.1.5.1 DSC θερμική ανάλυση του άμορφου PET

Θερμοκρασία υαλώδους μεταβολής (T_g).

Κατά την θέρμανση του PET η μεταβολή από την άμορφη υαλώδη φάση σε μια ελαστική σύνθεση (και αντιστρόφως), είναι μια υαλώδης μεταβολή που αναγνωρίζεται στο T_g . Αντανακλά τις πρώτες κινήσεις των μακρών πολυμερών (μερισμάτων). Η προσθήκη θερμότητας προσθέτει βαθμούς ελευθερίας και τα μόρια που ψύχθηκαν στην υαλώδη κατάσταση (ενώσεις μεταξύ πυρήνων βενζολίου), γίνονται πιο κινητικά και κινούνται πλάγιως. Η υαλώδης μεταβολή, εξαρτάται πολύ από τη μορφολογία του PET. Όταν το IV (ιξώδες) είναι υψηλό ή είναι έντονη η κρυστάλλωση, τότε η δραστηριότητα των αλυσίδων είναι περιορισμένη και κατά συνέπεια, το T_g είναι υψηλότερο.

Θερμοκρασία κρυσταλλοποίησης (T_c)

Η αύξηση της θερμοκρασίας δημιουργεί μια μερική σφαιρολυτική κρυσταλλοποίηση που απορρέει από μια τοπική ανακατάταξη των μακρομοριακών αλυσίδων που συγκρατούνται από διαμοριακές δυνάμεις. Για το PET, το μέγιστο επίπεδο κρυσταλλοποίησης είναι περίπου 55%. Αυτό το σχετικό όριο, είναι αποτέλεσμα της βραδύτητας ανακατάταξης των αρωματικών πυρήνων, έτσι ώστε η αλυσίδα να μπορεί να εμπεριέχει διατεταγμένες ζώνες κρυστάλλωσης.

4.1.6 Εφαρμογές

Το PET, χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές επειδή είναι εύχρηστο και έχει εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες. Οι ποικίλες εφαρμογές και οι σχετικές τεχνολογίες απαιτούν συγκεκριμένες βαθμίδες, που χαρακτηρίζονται πρωτίστως από διαφορές στο πραγματικό ιξώδες IV και στο μοριακό βάρος.

Εκτός από τις διαφορές του IV, η οικογένεια του PET χωρίζεται επίσης σε συμπολυμερή και ομοσυμπολυμερή :

Ομοσυμπολυμερή: Ένας μονός τύπος επανάληψης

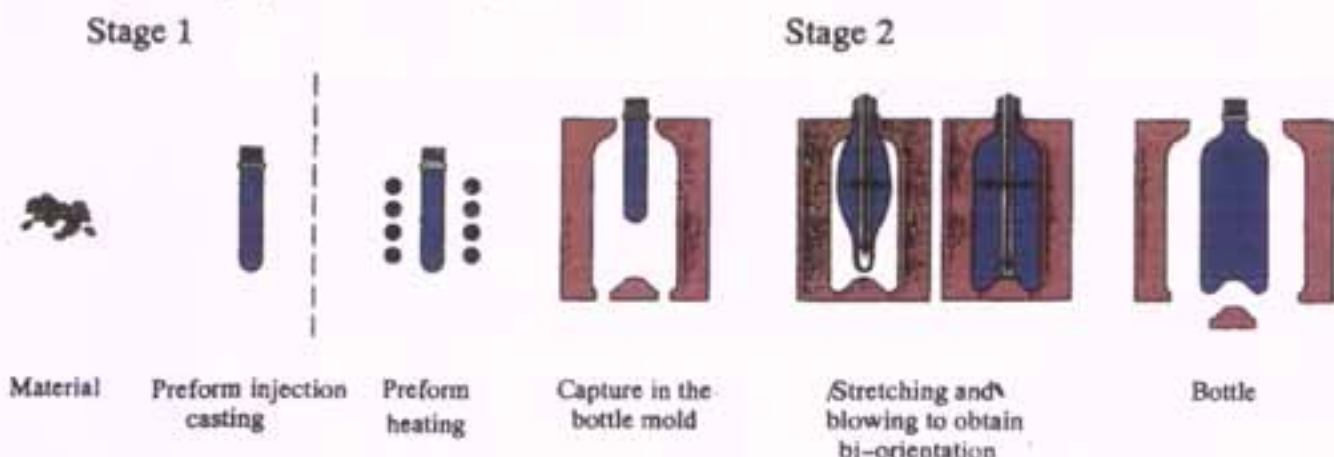
Συμπολυμερή: Συνήθως, δυο διαφορετικοί τύποι επανάληψης.

Τα συμπολυμερή, είναι επιθυμητά για συγκεκριμένες εφαρμογές, επειδή κρυσταλλοποιούνται πιο αργά από τα ομοσυμπολυμερή, άρα πλεονεκτούν για την κατασκευή φιαλών που γεμίζονται με ζεστό προϊόν (HR) και των επιστρεφόμενων φιαλών και παράγουν λιγότερο ακεταλδεύδη, που είναι πλεονέκτημα για την εμφιάλωση μεταλλικού νερού.

4.2 Διπλός προσανατολισμός του PET

4.2.1 Εισαγωγή

Ο μοριακός προσανατολισμός είναι αποτέλεσμα μιας ανακατάταξης των μακρομοριακών αλυσίδων. Αυτό επιτυγχάνεται γενικά με το να εφαρμόζεται στο πολυμερές η σωστή θερμοκρασία κατεργασίας. Η μοριακή ανακατάταξη χρησιμοποιείται για να βελτιώνει τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού. Όταν φτιάχνουμε κοίλους περιέκτες με το συνδυασμό γρήγορης επιμήκυνσης και φυσήματος, οι μικρές προφόρμες τεντώνονται αξονικά και ακτινικά με σκοπό να προσανατολίζονται οι μακρομοριακές αλυσίδες προς δύο κατευθύνσεις (διπλός προσανατολισμός).



Σχ. 4.2.1.1 Εφαρμογή του διπλού προσανατολισμού στην παραγωγική διαδικασία

4.2.2 Διπλός προσανατολισμός του PET

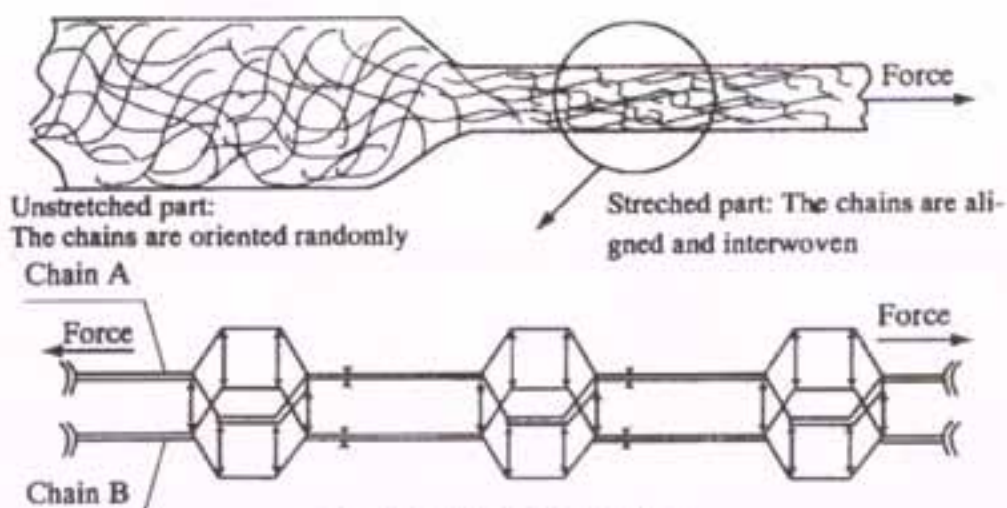
Στη φυσική τους κατάσταση, τα ημικρυσταλλικά πολυμερή αποτελούνται από μια άμορφη φάση κατά την οποία, οι κρυστάλλινες ζώνες ή σφαιρολύτες διανέμονται τυχαία. Ο μοριακός προσανατολισμός επιτυγχάνεται όταν η θερμοκρασία είναι ελαφρώς υψηλότερη από το T_g , έτσι ώστε το πολυμερές να είναι ελαστικό. Η ολκή, δημιουργεί διαφορετικά φαινόμενα σε κάθε φάση του PET, που συνδυάζονται για να δώσουν στο υλικό τις τελικές του ιδιότητες.

ΑΜΟΡΦΗ ΦΑΣΗ

Το τέντωμα, κατευθύνει εν μέρει τις μακρομοριακές αλυσίδες ή τα αλυσιδωτά τμήματα ανάμεσα στα δευτερεύοντα σημεία σύνδεσης ή τα σημεία σύνδεσης δεσμών των μακρομορίων (κρυστάλλινη φάση). Το υλικό γίνεται πιο διατεταγμένο.

ΦΑΣΗ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΝΗΣ

Το τέντωμα, επιταχύνει και προωθεί το σχηματισμό κρυσταλλυτών προς τη διεύθυνση της ολκής. Οι κρυσταλλύτες έχουν μια δομή που διαφέρει από αυτή των σφαιρολυτών και είναι χαρακτηριστικό της στατικής ή θερμικής κρυσταλλοποίησης. Σχηματίζονται όταν οι αλυσίδες ενώνονται και στην περίπτωση του PET, οι πυρήνες βενζολίου στις γειτονικές αλυσίδες, έλκονται και δένουν μαζί. Αυτός ο τύπος κρυσταλλοποίησης καλείται κοινώς *τεχνητή κρυσταλλοποίηση*.



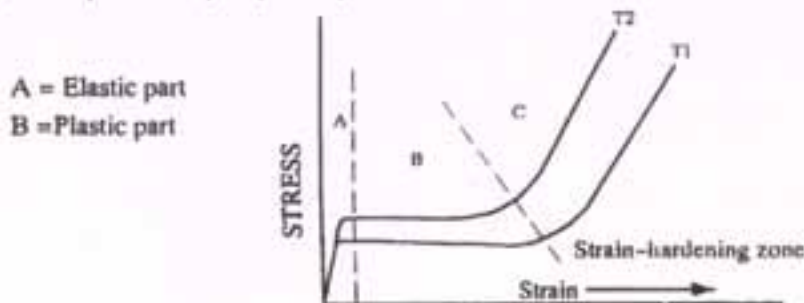
Σχ 4.2.2.1 Ολκή του PET

Ο συνδυασμός των ενεργειών στην άμορφη φάση και την κρυσταλλική φάση, παράγουν μια τακτική, κανονισμένη τελική δομή που σχετίζεται άμεσα με τον αριθμό κρυσταλλυτών που δημιουργήθηκαν από το μοριακό προσανατολισμό του ημικρυσταλλικού πολυμερούς. Αυτό, απαιτεί το εύρος κρυσταλλοποίησης να είναι όσο το δυνατό χαμηλότερο κατά τη διάρκεια ολκής, ώστε να αποκτήσει καλύτερο προσανατολισμό. Γι' αυτό, τα προσχήματα του PET (προφόρμα) πρέπει να έχουν ψυχθεί σε μια άμορφη κατάσταση μετά την έκχυση.

4.2.1 Διπλός προσανατολισμός των PET προσχημάτων

4.2.3.1 Μεταβολές της μακροσκοπικής κατάστασης.

Ο διπλός προσανατολισμός, μεταβάλλει ριζικά το υλικό. Μετά τη φάση θέρμανσης, το αρχικά άμορφο πρόσχημα, γίνεται ελαστικό και συμπεριφέρεται σαν «ελαστικό» ρευστό. Κατά τη διάρκεια της επακόλουθης φάση διπλού προσανατολισμού, η κατεύθυνση των μακρομοριακών αλυσίδων προκαλεί κρυσταλλοποίηση. Υπάρχει συνεπώς, μια κατάσταση μεταβολής εφόσον μετά το φύσημα του υλικού, αυτό συμπεριφέρεται περισσότερο σαν στερεό. Η κατάσταση αλλαγής, υπόκειται σε ένα κρίσιμο όριο τάσης, πέραν του οποίου, η ροή του πλαστικού τονίζεται από υψηλό προσανατολισμό, ο οποίος αυξάνει την εσωτερική τάση στο PET.

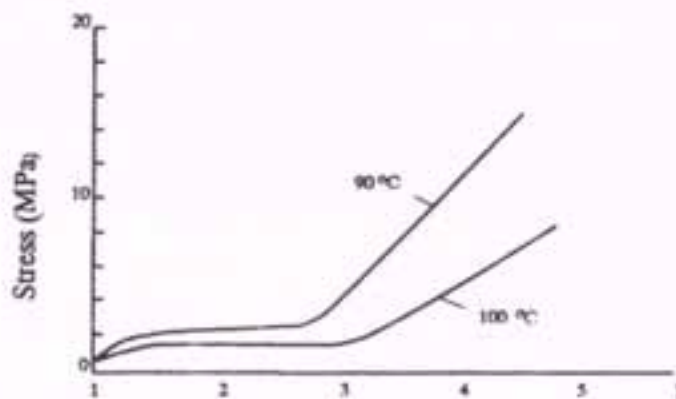


Σχ. 4.2.3.1 Διάγραμμα της τάσης σκλήρυνσης.

Στο σχέδιο 4.2.3.1, η ζώνη A είναι μια περιοχή ελαστικής αντίδρασης. Η ζώνη B, καλείται πλατώ ροής. Είναι μια ζώνη όπου η κίνηση είναι πηκτοελαστική και οι μακρομοριακές αλυσίδες περιστρέφονται αλλά και μετατοπίζονται. Αυτές οι κινήσεις τείνουν να παρατάσσουν τα μόρια προς την κατεύθυνη τάσεως. Όταν η ζώνη C, το άκρο της τάσεως σκλήρυνσης επιτυγχάνεται, τότε η ροή χαρακτηρίζεται από έντονο προσανατολισμό.

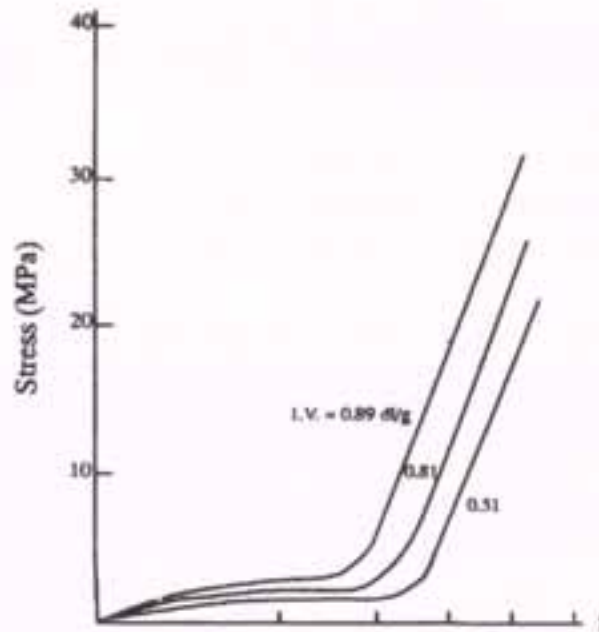
4.2.3.2 Παράμετρος της τάσεως σκλήρυνσης

Εφόσον το όριο πρέπει πάντα να ξεπερνιέται για να αποκτηθεί συμπεριφορά στερεού και συνεπώς, να προκληθεί κρυσταλλοποίηση και να εξασφαλιστεί ομοιόμορφη πυκνότητα των τοιχωμάτων του μπουκαλιού, το επίπεδο τάσεως αυξάνει κατά περίπτωση μόλις επιτευχθεί το όριο της τάσεως σκλήρυνσης. Πρακτικά, η εκδήλωση του τάσεως σκλήρυνσης, εξαρτάται από τη μέγιστη τιμή τάσης λ^N , γνωστή ως φυσικό όριο εσωτερικής τάσης.

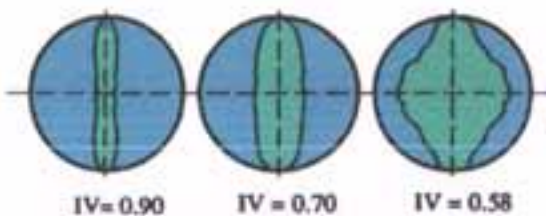


Σχ. 4.2.3.2.1 Διάγραμμα έντασης – τάσης σκλήρυνσης

Πειραματικές μελέτες για το ελεύθερο φύσημα των προφορμών, έχει ορίσει ότι το λ^N εξαρτάται από την πραγματική ρευστότητα του υλικού IV και τη θερμοκρασία της προφόρμα. Επιπλέον, το κυλινδρικό σχήμα των προφορμών, προωθεί περισσότερο τη διαμετρική παρά την διαμήκη ανάπτυξη, το οποίο για την φυσική τάση σημαίνει ότι $\lambda^N > \lambda^N_1$, προκαλώντας επιλεκτικό προσανατολισμό προς τη διαμετρική κατεύθυνση που εξαρτάται από την πραγματική ρευστότητα.



Σχ. 4.2.3.2.2 Διάγραμμα έντασης – τάσης σκλήρυνσης για διάφορα ιξώδη (IV)



Σχ. 4.2.3.2.3 Προσανατολισμός μορίων για διάφορα ιξώδη (IV)

4.2.4 Βιομηχανικός διπλο-προσανατολισμός των PET προφορμών

Όπως αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο, ο μοριακός διπλό-προσανατολισμός είναι αποτέλεσμα διαξονικής ολκής του πλαστικού υλικού υπό συγκεκριμένες συνθήκες:

- Γεωμετρία
- Προφίλ θερμοκρασίας

Προκειμένου να αποκτήσουμε τις συγκεκριμένες ιδιότητες της φιάλης, η βιομηχανική επεξεργασία πρέπει να ελέγχει τη συγκεκριμένη ταχύτητα προσανατολισμού και την τιμή ψύξης.

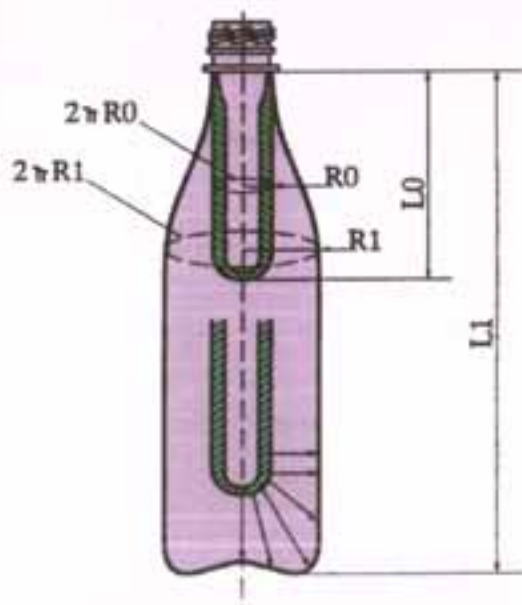
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Το υλικό της προφόρμας, πρέπει να είναι άμορφο (χαμηλή τιμή κρυσταλλοποίησης), για να διασφαλίσει επαρκή προσανατολισμό υπό την επιρροή του διπλο-προσανατολισμού. Εξάλλου, η πραγματική ρευστότητα, πρέπει να υπερτερεί των προδιαγραφών προσανατολισμού, εφόσον τα υψηλής ρευστότητας polyesters έχουν υψηλότερη ανισοτροπία

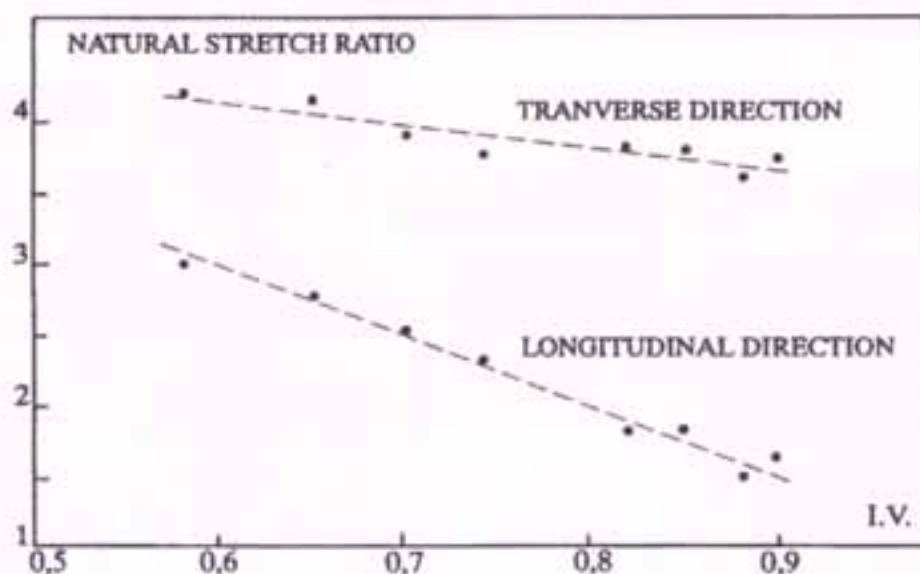
(ορθοτροπικός προσανατολισμός) στο κρίσιμο όριο ολκής (πριν την υποβάθμιση), εν συγκρίσει με τη χαμηλή ρευστότητα υπό το ίδιο σύνολο συνθηκών. Πρακτικά, η επιλογή του IV, θα εξαρτηθεί από την τελική εφαρμογή. Τα υψηλά IVs (0.5 έως 0.85 dl/g), είναι καλύτερα για τα ανθρακούχα αναψυκτικά, διότι παρέχουν υψηλές μηχανικές ιδιότητες (creep). Για τα «ήρεμα» υγρά, όπως το μεταλλικό νερό, τα υψηλότερα IVs (0.7 έως 0.78 dl/g), θα αποδώσουν αρκετή ισχύ.

ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

Η γεωμετρία του σχήματος της προφόρμας εξαρτάται από την πραγματική ρευστότητα του PET, τις διαστάσεις και την τελική εφαρμογή του μπουκαλιού. Πρακτικά, η προφόρμα επιλέγεται με βάση την επιθυμητή τιμή του διπλο-προσανατολισμού και την απαιτούμενη τελική πυκνότητα των τοιχωμάτων. Η τιμή των δημιουργούμενων τάσεων λόγω ολκής κατά μήκος και των δύο αξόνων πρέπει να επιτρέπει να αποκτά αρκετό προσανατολισμό ώστε να αυξηθούν οι μηχανικές ιδιότητες. Η χαρακτηριστική παράμετρος του υλικού εξαρτάται από την πραγματική ρευστότητα και άλλες παραμέτρους.



Σχ. 4.2.4.1 Υπολογισμός του διπλο-προσανατολισμού (BO) σε μια προφόρμα



Σχ. 4.2.4.2 Αναλογία φυσικής τάσης για διάφορες τιμές του IV.

Η υπέρβαση της τιμής φυσικής τάσης, αυξάνει τις εσωτερικές τάσεις, οι οποίες τείνουν να αντιστέκονται στην εξάπλωση. Για μπουκάλια αναψυκτικών, οι εσωτερικές τάσεις είναι επιθυμητές, επειδή αντιστέκονται στην εσωτερική πίεση της απανθρακοποίησης και η διαδικασία σχεδιάζεται ώστε να τις μεγιστοποιήσει. Αντιθέτως, για «ήρεμα» υγρά, hot-refill εφαρμογές, η διαδικασία είναι σχεδιασμένη να μειώσει τις εσωτερικές τάσεις για να περιορίσει τη παραμόρφωση από υποπίεση όταν οι φιάλες ψυχθούν.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Οι συνθήκες θερμοκρασίας του διπλο-προσανατολισμού για ένα ημικρυσταλλικό υλικό, ορίζονται ως εξής :

- Πάνω από το T_g , για να αποκτήσουμε αρκετή ευπλαστότητα για να επιτρέψει τον προσανατολισμό
- Κάτω από τη θερμοκρασία κρυσταλλοποίησης, για να παρεμποδίσει την δημιουργία των σφαιρολυτών στο υλικό, κάτι το οποίο θα μπορούσε να αντισταθεί στον προσανατολισμό.

Το εύρος της θερμοκρασίας που επιτρέπει στο PET διπλο-προσανατολισμό, είναι από 90° έως 120°C . Όσον αφορά τον ορισμό της τιμής του BO , η επιλογή της τιμής διπλο-προσανατολισμού καθορίζεται με βάση την προτιθέμενη εφαρμογή στο τελικό προϊόν. Για τα αναψυκτικά, η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη (90 έως 100°C), για να αυξήσει τις εσωτερικές τάσεις. Εν αντιθέσει, η θερμοκρασία για μια hot-refill εφαρμογή, είναι υψηλότερη (110 έως 120°C), οπότε και οι εσωτερικές τάσεις κρατούνται χαμηλά.

TΑΧΥΤΗΤΑ ΟΛΚΗΣ (ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗΣ)

Οι ταχύτητες ολκής, πρέπει να είναι αρκετά γρήγορες (500 έως 1500 mm/sec), ώστε να αποτραπεί ο αποπροσανατολισμός του πολυμερούς κατά τη διάρκεια ολκής.

ΨΥΞΗ

Όταν το υλικό ψύχεται κάτω από το T_g μετά την ολκή, οι εσωτερικές τάσεις που προκαλείται από την τροποποίηση της μοριακής διαμόρφωσης του PET, «κλειδώνονται» εντός του μπουκαλιού. Αυτό, είναι επιθυμητό για εφαρμογές στα αναψυκτικά, αλλά για εφαρμογές στα hot-fills η θερμοκρασία πρέπει να διατηρηθεί πάνω από το T_g ενώ διεξάγεται ο μοριακός προσανατολισμός, ώστε να επιτευχθεί η πτώση των εσωτερικών τάσεων.

4.3 Σχεδιασμός φιαλών

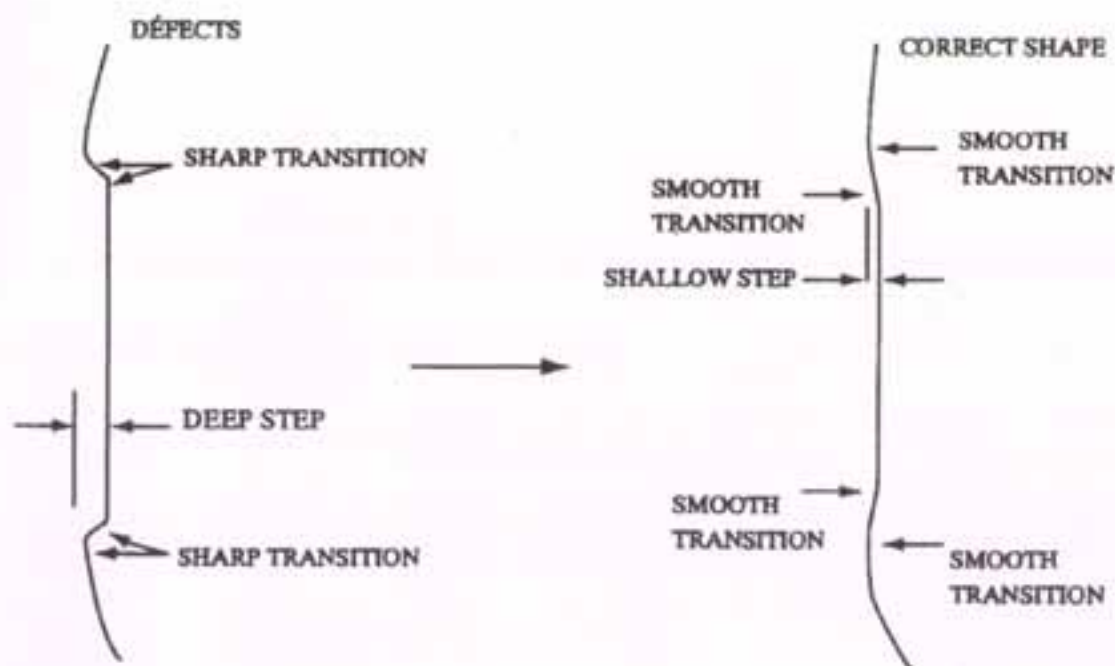
Η βασική θεωρία στο σχεδιασμό φιαλών, είναι η εικόνα την οποία ο πωλητής σκοπεύει να μεταφέρει μέσω της συσκευασίας του προϊόντος ως μέρος του προγράμματος marketing. Παρόλα ταύτα, ο σχεδιασμός περιορίζεται από τεχνικά και υλικά όρια που επιβάλλονται από:

- Την τεχνολογία παρασκευής
- Το περιεχόμενο των φιαλών

Πρακτικά, κάθε σχέδιο φιάλης εμπεριέχει ένα συμβιβασμό μεταξύ αισθητικής ως θεωρίας του image και αποτελεσματικότητας της συσκευασίας.

4.3.1 Η τεχνολογία παρασκευής

Η χρήση της stretching-blowing τεχνολογίας, επιβάλλει περιορισμούς στο σχεδιασμό των φιαλών για την αποτροπή προβλημάτων στην αποτύπωση του καλουπιού (cavity print) και δημιουργία τοπικών συγκεντρώσεων τάσεων (over-stretching problems), που θα μπορούσαν να υποβαθμίσουν τις τελικές μηχανικές ιδιότητες. Μυτερές γωνίες και απότομες αλλαγές στην πυκνότητα των τοιχωμάτων, δεν είναι αποδεκτές. Στις ζώνες μεταβολής, οι συγκεντρώσεις τάσεων μπορούν να αποτραπούν με το να φτιάχνονται καμπυλότητες μεγάλων ακτινών.



Σχ. 4.3.1.1 Παράδειγμα σωστού - λάθος σχεδιασμού φιαλών

4.3.2 Περιεχόμενα των φιαλών

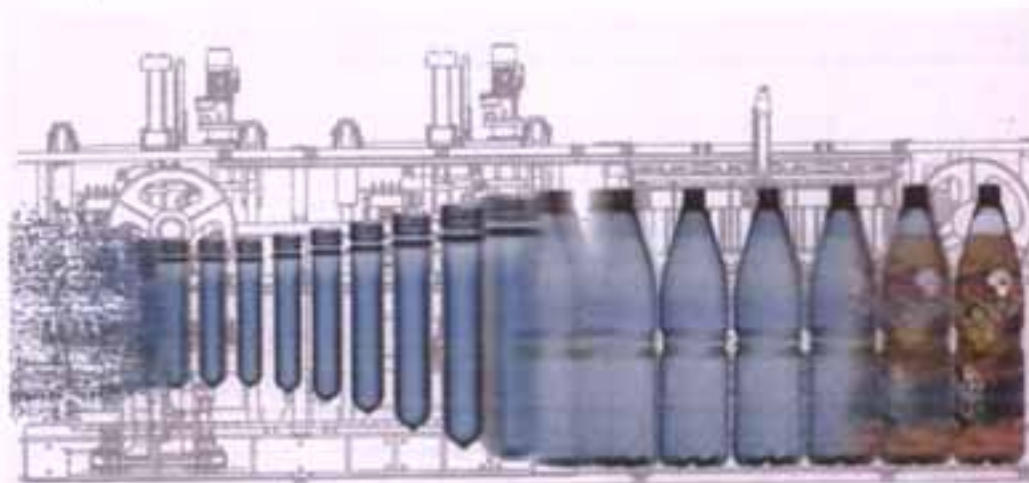
Υπάρχουν δυο σημαντικές παράμετροι που επηρεάζουν το σχεδιασμό των φιαλών και εξαρτώνται από το είδος του περιεχομένου. Μια ή και οι δύο από αυτές μπορούν να εφαρμοστούν, σε εξάρτηση με το εμφιαλωμένο προϊόν :

- Ανθρακούχα ή «ήρεμα» προϊόντα
- Ειδικές ιδιότητες ελέγχου
- Είδος συσκευασίας

ΑΝΘΡΑΚΟΥΧΑ Ή «ΗΡΕΜΑ» ΠΡΟΪΟΝΤΑ

Αυτή είναι η υπερισχύουσα σκέψη στην επιλογή του σχεδιασμού της βάσης της φιάλης. Όταν εμφιαλώνουμε ανθρακούχα υγρά, εξαιτίας της δημιουργίας εσωτερικής πίεσης από την εκτόνωση του CO₂, προτιμάται το πεταλοειδές σχήμα για τη βάση της φιάλης. Το πεταλοειδές σχήμα φροντίζει στην αποφυγή τοπικών συγκεντρώσεων τάσεων σε «μυτερά» σημεία. Υπάρχει μεγαλύτερη ευλυγισία στην επιλογή του σχήματος των φιαλών για «ήρεμα» υγρά, επειδή οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις είναι σαφώς χαμηλότερες.

Επιπροσθέτως, όταν χρησιμοποιείται θερμή επεξεργασία όπως η παστερίωση ή επεξεργασίες hot refill, η φιάλη θα χρειαστεί να αντέξει στις επακόλουθες θετικές ή αρνητικές πιέσεις δίχως να χαθεί η ακαμψία. Αυτή η γενική άποψη, αφορά μόνο τις τυπικές περιπτώσεις. Υπάρχουν ωστόσο πολλά είδη φιαλών, όπως «Refill», «Hotwash», λεπτές φιάλες με πάκτονες στον πυθμένα και πολλά άλλα.



ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΦΡΑΓΗΣ

Η παράμετρος φραγής (barrier technologie), δεν είναι μια οριστική θεωρία στο σχεδιασμό των φιαλών. Όμως, είναι επιδιωκόμενο το να κρατάμε τα τρόφιμα υγιεινά και νόστιμα μετά από μακρά χρονικά διαστήματα αποθήκευσης. Για παράδειγμα, οι φιάλες μπίρας ή ale, πρέπει να είναι αδιαφανείς στο φως UV και να έχουν επίσης φραγή διαφυγής του CO₂ και εισόδου του O₂. Πρακτικά, ο συνδυασμός των ιδιοτήτων αυτών, μπορεί να αποκτηθεί με το φύσημα πολλών στρωμάτων (όπως το EVOH) ήλεκτρου ή πράσινων βαμμένων προσχημάτων. (Εκτενής αναφορά της τεχνολογίας φραγής στο Κεφ. 7)

4.4 Επιλογή της κατάλληλης προφόρμας

Η καταλληλότητα μιας φιάλης PET, εξαρτάται από το βαθμό διπλο-προσανατολισμού και το προφίλ πυκνότητας των τοιχωμάτων που παράγεται μέσω του φυσήματος-έκτασης του προσχήματος υπό ένα σύνολο ειδικών συνθηκών (ταχύτητα διαμόρφωσης, προφίλ θερμοκρασίας κ.α.)

Ο βαθμός διπλο-προσανατολισμού, εξαρτάται κυρίως από:

- Τις αρχικές διαστάσεις του προσχήματος
- Τις ιδιότητες του PET μετά την έκχυση
- Τις παραμέτρους επεξεργασίας

Αυτή η ενότητα, θα απευθυνθεί στις αρχικές συνθήκες της προφόρμας που απαιτούνται για την απόκτηση του βέλτιστου μοριακού διπλο-προσανατολισμού.

4.4.1 Ιδιότητες των προφορμών

A. Άμορφη φάση

Το PET που συνθέτει το πρόσχημα, πρέπει να εγκλωβιστεί στην άμορφη κατάσταση. Όπως είδαμε παραπάνω, (Παρ. 4.2.2), η κρυσταλλοποίηση πρέπει να ελαχιστοποιείται για να αποκτηθεί καλός διπλο-προσανατολισμός. Αυτό σημαίνει, ότι τη ψύξη του προσχήματος μετά την έκχυση, πρέπει να είναι ελεγχόμενη. Παρ'όλα αυτά, η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα του PET, τείνει να αντισταθεί στη γρήγορη ψύξη. Σαν αποτέλεσμα, η μέγιστη πυκνότητα των τοιχωμάτων του προσχήματος με τις πιο κοινές βαθμίδες του PET, περιορίζεται στα 4.4mm. Πέραν του ορίου αυτού, η κρυσταλλοποίηση θα μπορούσε να συμβεί βαθιά στα τοιχώματα ,προκαλώντας αξιοσημείωτη θαμπάδα.

Όταν απαιτούνται πυκνότερα προσχήματα(για τις φιάλες αναπλήρωσης),πρέπει να χρησιμοποιούνται ειδικές συνταγές PET χαμηλής κρυσταλλοποίησης.

B. Πραγματικό ιξώδες (IV) των προφορμών

Οι αρχικές ιδιότητες του υλικού, συγκεκριμένα το IV, δεν πρέπει να φθίνουν υπερβολικά, ώστε να συμβιβαστούν με το επιθυμητό επίπεδο του διπλο-προσανατολισμού. Κατά τη διάρκεια πλαστικοποίησης στο καλούπι έκχυσης άλλωστε, διαδικασίες όπως υδρόλυση ή θερμική υποβάθμιση (Παρ. 4.1.1.3) μπορεί να συμβούν. Μπορούν να διασπάσουν τις αλυσίδες και να παράγουν ακεταλδεύδη (κάτι που καθιστά το εμφιαλωμένο νερό ακατάλληλο για κατανάλωση).

Προκειμένου να διατηρηθεί το αρχικό IV,τα προσχήματα ξηραίνονται προ της έκχυσης ώστε να μειωθεί το υγροποιημένο περιεχόμενο του υλικού. Πρακτικά, αυτό περιλαμβάνει θέρμανση στους 170°C για 5 ώρες (Draining). Το υλικό, δεν πρέπει να υποστεί θερμική υποβάθμιση, είτε από υπερβολικές θερμοκρασίες είτε από εκτεταμένη παραμονή στο καλούπι εκχύσεως.

Γ. Αρχικές διαστάσεις της προφόρμας

Οι αρχικές διαστάσεις της προφόρμας θα εξαρτηθούν από το βαθμό προσανατολισμού που χρειάζεται για την απόκτηση των επιθυμητών ιδιοτήτων της φιάλης. Ο βαθμός προσανατολισμού, χαρακτηρίζεται από το ρυθμό διπλο-προσανατολισμού, ο οποίος αντανάκλα την ομοιόμορφη εξάπλωση του προσχήματος και συνεπώς, τον επιλεκτικό προσανατολισμό του υλικού (Παρ 4.1.5).

5. Αυτοματοποιημένη βιομηχανική διαδικασία εμφιάλωσης

5.1 Γενικά

Για πολλά χρόνια ακόμα, μετά την ανακάλυψη του PET, ως βιομηχανικού υλικού κατάλληλου για τρόφιμα, η βιομηχανία εμφιάλωσης ποσίμου νερού χρησιμοποιούσε φιάλες από PVC ή γυαλί. Αυτό συνέβαινε για οικονομικούς κυρίως λόγους, που οφείλονταν στην υψηλή τιμή του PET σε σχέση με το PVC και στο ότι δεν ήταν πλήρως ανακυκλώσιμο όπως το γυαλί. Η χρήση του PET στην εμφιάλωση νερού έγινε βιώσιμη πριν μόλις μερικά χρόνια, με τη βοήθεια υψηλής τεχνολογίας που πολλαπλασίασε τις δυναμικότητες των βιομηχανικών μονάδων. Οι καλές μηχανικές ιδιότητες του υλικού οδήγησαν στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, που είχε ως αποτέλεσμα τη κατασκευή πλήρως αυτοματοποιημένων και ταχύτατων γραμμών παραγωγής. Με τη βοήθεια ενός πλήθους αισθητήρων, που ελέγχουν όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας ταχύτατα και με ακρίβεια, έγινε δυνατή η παραγωγή δεκάδων χιλιάδων φιαλών την ώρα. Ενδεικτικά, η μηχανή εμφύσησης, που παρουσιάστηκε από τη γαλλική εταιρία Sidel το 2003, είχε τη δυνατότητα παραγωγής 40.000 φιαλών ανά ώρα.

Κατά τη παραγωγική διαδικασία αφού η φιάλη σχηματιστεί στη μηχανή εμφύσησης (blowing machine) οδηγείται με ασηπτικές συνθήκες στο γεμιστικό (filler), όπου πληρώνεται με πόσιμο νερό προερχόμενο από τη μονάδα επεξεργασίας. Στη συνέχεια τοποθετείται το πώμα και η ετικέτα. Το προϊόν πλήρως διαμορφωμένο συσκευάζεται σε χαρτοκιβώτιο ή θερμοσυρρικνούμενο φιλμ και αφού παλλετοποιηθεί αποθηκεύεται και διανέμεται.

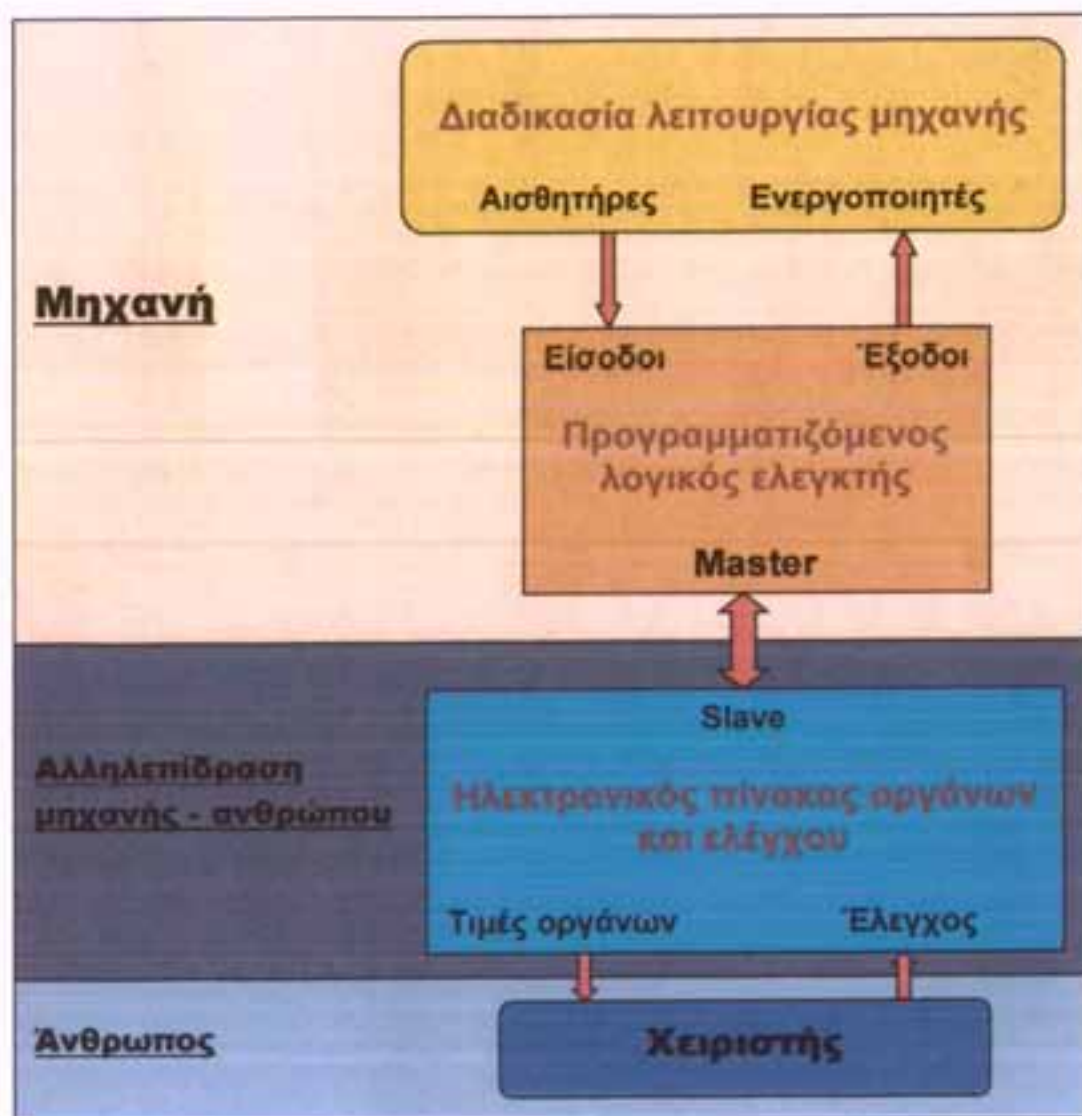
5.2 Στοιχεία αυτομάτου ελέγχου

Η ανάγκη για σύγχρονη και αποτελεσματική παρακολούθηση της παραγωγής σε μία βιομηχανία επιβάλλει σήμερα τη σαφή και κατανοητή παρουσίαση των παραμέτρων της στον υπεύθυνο κάθε γραμμής. Τα στοιχεία είναι ανάγκη να εμφανίζονται στην οθόνη Η/Υ σε μορφή εκμεταλλεύσιμη από τα υπολογιστικά εργαλεία που ο ίδιος κατέχει και χρησιμοποιεί (Windows, Excel, Lotus, Word, κ.λπ.). Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο πρέπει το αντίστοιχο λογισμικό απεικόνισης στοιχείων να είναι ευέλικτο, να συνεργάζεται με μονάδες αυτοματοποίησης (PLC, ρομπότ, μηχανές CNC, κ.λ.π.), να υποστηρίζει δίκτυα για την μεταφορά της πληροφορίας στους χώρους των υπευθύνων και να προσφέρεται σε χαμηλό κόστος. Η εγκατάστασή του θα μπορεί έτσι να γίνει απρόσκοπτα και ταχύτατα σ' όλα τα σημεία που χρειάζεται εποπτικός έλεγχος. Λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω απαιτήσεις, η βιομηχανία ανέπτυξε λογισμικό σε περιβάλλον Windows, που συνεργάζεται με προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC), ανταλλάσσει πληροφορία με αυτά, παρουσιάζει τα συλλεγόμενα δεδομένα υπό τη μορφή κατανοητών διαγραμμάτων σε Windows και τα μεταβιβάζει με τη βοήθεια DDE (Dynamic Data Exchange) ή OLE2 πρωτοκόλλων σε άλλες εφαρμογές των Windows (Excel, Lotus, Power Point, Word) για περαιτέρω επεξεργασία.⁽⁴⁾

Το σύστημα υλοποίησης πολύπλοκων αυτοματοποιήσεων βασισμένων σε PLC, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως εργαλείο ανεύρεσης και διόρθωσης λαθών (debugging tool).

Ο συνδυασμός προγραμματισμένου λογικού ελεγκτή (PLC : Programmable Logic Computer) και διαδραστικών λογισμικών που εκτελούνται μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, χρησιμοποιείται σε πολύπλοκες μηχανές για να μειώσει δραστικά το χρόνο της παραγωγικής τους ενσωμάτωσης και να αυξήσει την αξιοπιστία τους. Τα λογισμικά αυτά επιτρέπουν παράλληλα τη συλλογή στοιχείων για την απόδοση των μηχανών, την παραγωγικότητά τους, τις βλάβες και τους νεκρούς χρόνους, και την παρουσίαση όλων αυτών σε αναφορές και διαγράμματα.

Ένα πλήθος διαφόρων τύπων αισθητήρων που ελέγχουν κίνηση, παρουσία, ταχύτητα, πίεση και θερμοκρασία, μεταφέρουν την πληροφορία στις αντίστοιχες εισόδους του λογικού ελεγκτή με τη μορφή ανοικτής – κλειστής επαφής ($I = 1$ ή $I = 0$), ή με αναλογικό σήμα (ρεύμα κάποιας τάσης).



Διάγραμμα ροής διαδραστικού περιβάλλοντος χειριστή - μηχανής Σχ. 5.2.1

Ο λογικός ελεγκτής στη συνέχεια, σύμφωνα με τις πληροφορίες των αισθητήρων και βάση του λογισμικού ελέγχου που φέρει, ενεργοποιεί κάποια προσημασμένη διαδικασία (π.χ. αποβολή ελαττωματικού προϊόντος) και ενημερώνει τον χειριστή για τις συνθήκες λειτουργίας της μηχανής (ταχύτητα, πίεση, θερμοκρασία κ.λ.π.). Ο χειριστής μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή και κατ' επέκταση μέσω του PLC, μπορεί να παρέμβει στη λειτουργία της μηχανής, αλλάζοντας τις τρέχουσες συνθήκες λειτουργίας, καθώς και τις κρίσιμες τιμές και προϋποθέσεις των αυτοματοποιημένων διαδικασιών.⁽⁴⁾

Οι βασικοί τύποι **αισθητήρων (Sensors)** που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία είναι οι εξής :

Φωτοηλεκτρικοί αισθητήρες

Ονομάζονται και φωτοκύτταρα και η λειτουργία τους βασίζεται στην εκπομπή δέσμης φωτός. Ένας πομπός εκπέμπει μια δέσμη φωτός, η οποία ανακλάται από έναν ανακλαστήρα τοποθετημένο ακριβώς απέναντι και επιστρέφει στον δέκτη που βρίσκεται ακριβώς κάτω από τον πομπό. Σε ορισμένες εφαρμογές ο δέκτης είναι ξεχωριστός από τον πομπό. Όταν το προς παρακολούθηση αντικείμενο διακόψει την δέσμη περνώντας μπροστά από τον αισθητήρα, κλείνει ή ανοίγει μια επαφή (ανάλογα με τον τύπο του φωτοκύτταρου) ενεργοποιώντας την είσοδο του PLC που είναι συνδεδεμένο. Για τον έλεγχο μεγάλων αποστάσεων ο πομπός εκπέμπει δέσμη laser.



Φωτοκύτταρο ανακλαστήρα⁽⁵⁾ Σχ. 5.2.2

Επαγωγικοί αισθητήρες προσέγγισης

Οι αισθητήρες αυτοί δημιουργούν ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και ενεργοποιούνται μόλις κάποιο μεταλλικό αντικείμενο, που περνά σε κοντινή απόσταση από τον αισθητήρα, διαταράξει το πεδίο αυτό. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανίχνευση θέσεως των κινουμένων μερών μιας μηχανής.



Επαγωγικοί αισθητήρες⁽⁵⁾ Σχ. 5.2.3

Τερματικοί διακόπτες

Αποτελούν μηχανικούς διακόπτες που ενεργοποιούνται, με απ' ευθείας επαφή, από κινούμενα μέρη μηχανών.



Τερματικοί διακόπτες⁽⁵⁾ Σχ. 5.2.4

Αισθητήρες πίεσης

Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες : α) στους ηλεκτρομηχανικούς πρεσοστατικούς διακόπτες (πιεζοστάτες ή κενοστάτες), που ρυθμίζονται να ενεργοποιούνται σε κάποια μέγιστη τιμή πίεσης και να απενεργοποιούνται σε κάποια ελάχιστη και β) στους αναλογικούς μετρητές πίεσης, που με τη βοήθεια ενός πιεζοηλεκτρικού στοιχείου, μετατρέπουν το ποσό της πίεσης σε τάση που μεταφέρεται σε αναλογική είσοδο του λογικού ελεγκτή (PLC) και ο οποίος με τη χρήση κατάλληλης κλίμακας την επαναμεταφράζει σε μονάδες πίεσης.



Αισθητήρες πίεσης⁽⁵⁾ Σχ. 5.2.4

Αισθητήρες θερμοκρασίας

Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες : α) στους θερμοστάτες, που ρυθμίζονται να ενεργοποιούνται σε κάποια μέγιστη τιμή θερμοκρασίας και να απενεργοποιούνται σε κάποια ελάχιστη και β) στα θερμοζεύγη που μετατρέπουν με τη βοήθεια μιας διάταξης ημιαγωγικών υλικών, το ποσό της θερμότητας σε τάση και συνδέονται αντίστοιχα με τους μετρητές πίεσης.

Αποκωδικοποιητές

Οι οπτο-ηλεκτρονικοί αποκωδικοποιητές (encoder) χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση της θέσεως περιστρεφόμενων τμημάτων των μηχανών. Συνδέονται μέσω οδοντωτών τροχών, ελαστικού ιμάντα ή και απευθείας μέσω εύκαμπτου συνδέσμου με το προς παρατήρηση περιστρεφόμενο μέρος της μηχανής. Η κυκλική κίνηση μεταφέρεται σε έναν ημιδιαφανή δίσκο στο εσωτερικό του αποκωδικοποιητή, ο οποίος τέμνει μία δέσμη φωτός ενός ζεύγους πομπού – δέκτη φωτοηλεκτρικού αισθητήρα. Μια ηλεκτρονική διάταξη μεταφράζει τα σήματα του δέκτη σε ταχύτητα ή θέση (ανάλογα με τον τύπο του αποκωδικοποιητή) του περιστρεφόμενου δίσκου και κατ' επέκταση του περιστρεφόμενου τμήματος της μηχανής. Οι αποκωδικοποιητές διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: α) στους αυξανόμενους αποκωδικοποιητές, οι οποίοι μετρούν την ταχύτητα της περιστροφής και β) στους απόλυτους αποκωδικοποιητές, οι οποίοι αναγνωρίζουν ανά πάσα στιγμή την ακριβή θέση του περιστρεφόμενου δίσκου σε σχέση με μια αρχική θέση.



Απόλυτος αποκωδικοποιητής

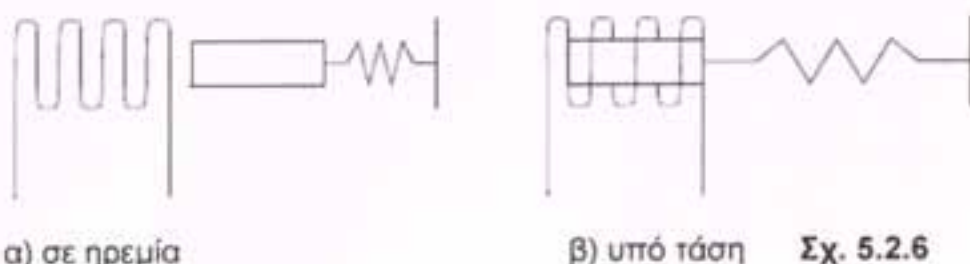


Αυξανόμενος αποκωδικοποιητής⁽⁵⁾ Σχ. 5.2.4

Στις εξόδους του λογικού ελεγκτή συνδέονται οι **ενεργοποιητές (actuators)** που αναλαμβάνουν την ελεγχόμενη κίνηση των τμημάτων της μηχανής. Οι εξοδοί μπορεί να είναι είτε αναλογικοί (τάση κάποιας συγκεκριμένης τιμής) είτε επαφής (1/0). Οι κυριότεροι τύποι ενεργοποιητών που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής :

Μαγνητικές βαλβίδες (solenoid valves)

Οι μαγνητικές βαλβίδες είναι τα πιο κοινά στοιχεία ενεργοποιητών. Η βασική αρχή λειτουργίας τους, έγκειται σε ένα σιδηρούχο πείρο (έμβολο) που κινείται μέσα σε ένα πηνίο όπως δείχνεται στο σχήμα 5.2.6. Σε ηρεμία το έμβολο συγκρατείται έξω από το πηνίο από ένα ελατήριο. Όταν εφαρμοστεί μια τάση στα άκρα του πηνίου, δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο το οποίο έλκει το έμβολο και το τραβά στο εσωτερικό του. ⁽⁶⁾

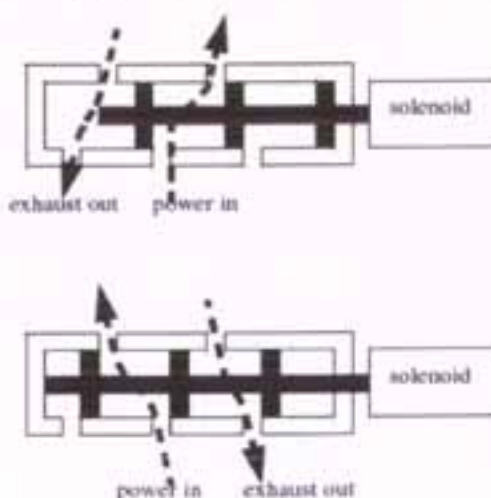


Στις συνήθεις βιομηχανικές εφαρμογές, όπου χρειάζονται ρεύματα μικρών τάσεων για τροφοδοσία, οι μαγνητικές βαλβίδες συνδέονται κατευθείαν στις εξόδους του λογικού ελεγκτή. Επί το πλείστον οι μαγνητικές βαλβίδες τροφοδοτούνται με 24V dc και καταναλώνουν μερικές εκατοντάδες mA.

Βαλβίδες

Η ροή υγρών και αερίων μπορεί να ελεγχθεί από μαγνητικά ελεγχόμενες βαλβίδες. Ένα παράδειγμα δίνεται στο σχήμα 5.2.7. Το πηνίο που βρίσκεται στην πλευρά της βαλβίδας, μόλις ενεργοποιηθεί θα οδηγήσει τον κεντρικό σύρτη αριστερά. Στο πάνω μέρος της βαλβίδας υπάρχουν δύο θύρες, στις οποίες συνδέεται η συσκευή (π.χ. υδραυλικός κύλινδρος). Στο κάτω μέρος βρίσκεται η θύρα παροχής πίεσης (στο κέντρο) και δύο θύρες εκτόνωσης εκατέρωθεν αυτής.

Όταν η βαλβίδα βρίσκεται σε ηρεμία το υπό πίεση ρευστό ρέει προς την δεξιά άνω θύρα, ενώ η αριστερή αφήνεται να εκτονωθεί. Μόλις ενεργοποιηθεί, η δεξιά άνω θύρα αφήνεται να εκτονωθεί, ενώ συνδέεται με τη γραμμή πίεσης η αριστερή. ⁽⁶⁾

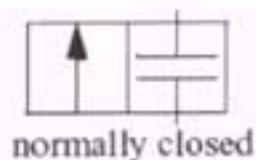


Μαγνητικά ελεγχόμενη βαλβίδα Σχ. 5.2.7

Στην επικρατούσα ορολογία, οι βαλβίδες ονομάζονται από τον αριθμό των «δρόμων» (n-way), που δίνει τον αριθμό των διατιθέμενων συνδέσεων για εισόδους ή εξόδους και από την κατάσταση (ανοικτή ή κλειστή) της βαλβίδας όταν βρίσκεται σε ηρεμία. Όλοι οι τύποι που παρουσιάζονται παρακάτω είναι δύο θέσεων, αλλά υπάρχουν και βαλβίδες (για ειδικές χρήσεις) τριών θέσεων, που οδηγούνται από δύο πηνία τοποθετημένα εκατέρωθεν του σώματος της βαλβίδας.⁽⁶⁾

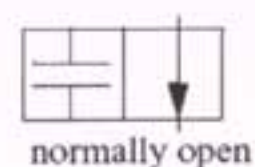
2 - δρόμων *normal* κλειστή .

Οι βαλβίδες αυτές έχουν μια είσοδο και μια έξοδο. Όταν είναι ανενεργές είναι κλειστές. Μόλις ενεργοποιηθεί η βαλβίδα ανοίγει επιτρέποντας τη ροή.



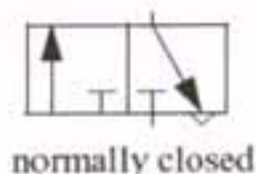
2 - δρόμων *normal* ανοικτή .

Οι βαλβίδες αυτές έχουν μια είσοδο και μια έξοδο. Όταν είναι ανενεργές είναι ανοικτές. Μόλις ενεργοποιηθεί η βαλβίδα κλείνει στραγγαλίζοντας τη ροή. Οι βαλβίδες 2 – δρόμων χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ροής σε δίκτυα.



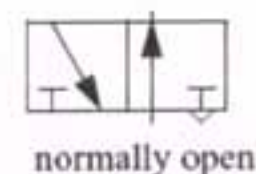
3 - δρόμων *normal* κλειστή .

Έχουν μια είσοδο, μια έξοδο και θύρες εκτόνωσης. Σε ηρεμία η έξοδος είναι συνδεδεμένη με την εκτόνωση. Όταν ενεργοποιηθεί η έξοδος συνδέεται με την είσοδο.



3 - δρόμων *normal* ανοικτή .

Έχουν μια είσοδο, μια έξοδο και θύρες εκτόνωσης. Σε ηρεμία η έξοδος είναι συνδεδεμένη με την είσοδο. Όταν ενεργοποιηθεί η έξοδος συνδέεται με την εκτόνωση. Οι βαλβίδες 3 – δρόμων χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο κυλίνδρων απλής ενεργείας.

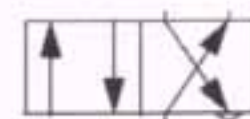


3 - δρόμων *universal* .

Έχουν τρεις θύρες. Η μια θύρα ενεργεί ως είσοδος ή έξοδος και συνδέεται με την μια ή την άλλη θύρα, όταν είναι ενεργοποιημένη ή απενεργοποιημένη αντίστοιχα. Οι βαλβίδες *universal* χρησιμοποιούνται για την αντιστροφή της ροής ή για την χρησιμοποίηση εναλλακτικών πηγών.

4 - δρόμων .

Έχουν δύο εισόδους και δύο εξόδους. Η ενεργοποίηση της βαλβίδας προκαλεί αντιστροφή στις συνδέσεις εισόδων και εξόδων. Χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο κυλίνδρων διπλής ενεργείας.⁽⁶⁾



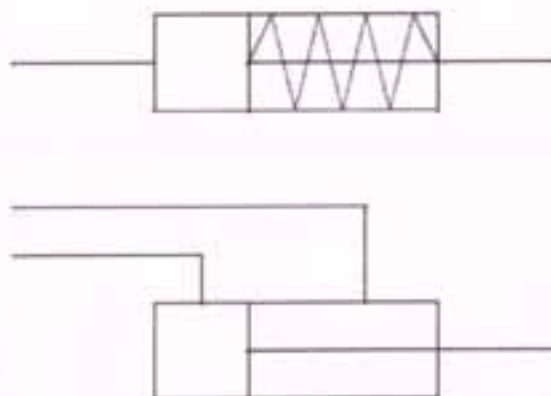
* Τα παραπάνω σχέδια αποτελούν τα κατά ISO σύμβολα για τους αντίστοιχους τύπους βαλβίδων. Τα βέλη δείχνουν τη διαδρομή της ροής σε κάθε θέση (στο δεξιό μέρος φαίνεται η ροή όταν η βαλβίδα είναι απενεργοποιημένη). Τα μικρά τρίγωνα αντιστοιχούν σε θύρες εκτόνωσης.

Στην επιλογή της κατάλληλης βαλβίδας για κάθε εφαρμογή, πρέπει να ληφθούν υπόψη τα εξής τεχνικά χαρακτηριστικά⁽⁶⁾ :

- Μέγεθος σπειρώματος – Οι θύρες των βαλβίδων έχουν σχηματισμένα μετρικά ή Withworth σπειρώματα.
- Παροχή – Η μέγιστη παροχή αφορά κυρίως υδραυλικές βαλβίδες.
- Πίεση λειτουργίας – Η μέγιστη πίεση λειτουργίας του δικτύου όπου θα συνδεθεί η βαλβίδα. Ορισμένες βαλβίδες απαιτούν κάποια ελάχιστη πίεση για να λειτουργήσουν.
- Τάση λειτουργίας – Δίνει την τάση λειτουργίας του πηνίου (AC ή DC).
- Ταχύτητα ανταπόκρισης – Είναι ο χρόνος που απαιτείται για να ανοίξει/κλείσει πλήρως η βαλβίδα. Συνήθως κυμαίνεται από 5 ms έως 150 ms.
- Προστασία – Αφορά τη μόνωση της βαλβίδας από το περιβάλλον λειτουργίας, και διακρίνονται σε :
 - ο Τύπος 1 ή 2 : για εσωτερική χρήση, ευπαθείς στην υγρασία
 - ο Τύπος 3 : για εξωτερική χρήση, αντέχουν σχετικά τη βρωμιά και τις καιρικές συνθήκες.
 - ο Τύπος 3R, 3S ή 4 : ανθεκτικές στο νερό και στη βρωμιά.
 - ο Τύπος 4 X : ανθεκτικές στο νερό, στη βρωμιά και τη διάβρωση.

Κύλινδροι

Οι κύλινδροι χρησιμοποιούν κάποιο υπό πίεση ρευστό για να προκαλέσουν μια γραμμική κίνηση / ώση. Χωρίζονται σε κυλίνδρους απλής και διπλής ενεργείας. Οι κύλινδροι απλής ενεργείας (Σχ.5.2.8 επάνω) έχουν μια είσοδο-έξοδο από το ένα μέρος του εμβόλου. Όταν η πίεση αυξάνεται, η δύναμη που δημιουργείται ωθεί το έμβολο μπροστά. Μόλις η πίεση ελαττωθεί ένα ελατήριο αναλαμβάνει να επαναφέρει το έμβολο στην αρχική του θέση. Στους κυλίνδρους διπλής ενεργείας(Σχ.5.2.8 κάτω), το υπό πίεση ρευστό ωθεί το έμβολο, ενώ το ρευστό στην άλλη μεριά του εμβόλου ρέει ελεύθερα μέσω της θύρας εκτόνωσης. Το αντίθετο συμβαίνει όταν αντιστραφεί η ροή.



Αρχή λειτουργίας κυλίνδρων Σχ. 5.2.8

Οι κύλινδροι διακρίνονται σε πνευματικούς και σε υδραυλικούς, όταν χρησιμοποιούν αέρα ή κάποιο υγρό (συνήθως λάδι) αντίστοιχα. Οι πνευματικοί χαρακτηρίζονται από τη μεγάλη ταχύτητα απόκρισης, ενώ οι υδραυλικοί από τις μεγάλες δυνάμεις που μπορούν να αναπτύξουν.⁽⁶⁾

Οδήγηση ηλεκτρικών κινητήρων

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες που κατά κύριο λόγο αναλαμβάνουν να θέσουν σε κίνηση τα διάφορα τμήματα των μηχανών, μπορούν να οδηγηθούν με διάφορους τρόπους από τον προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή (PLC). Για μια απλή εφαρμογή εκκίνησης – παύσης, η οδήγηση μπορεί να γίνει από ένα ρελέ ισχύος, του οποίου το ρεύμα εντολής δίνεται κατευθείαν από την έξοδο του λογικού ελεγκτή. Σε εφαρμογές μεγαλύτερης ισχύος, ο λογικός ελεγκτής συνδέεται με διατάξεις εκκινήτων (soft starters), που ξεκινούν τους τριφασικούς κινητήρες σε διάταξη αστέρα, όπου η ροπή εκκίνησης είναι μεγαλύτερη και αυτόματα αλλάζουν την διάταξη σε τρίγωνο. Σε άλλες εφαρμογές που απαιτείται αναστροφή της λειτουργίας του ηλεκτροκινητήρα, χρησιμοποιούνται κατάλληλες διατάξεις αναστροφένων ή για απλές περιπτώσεις αναστροφής συζευγμένα ρελέ ισχύος.

Στις σύγχρονες υψηλής τεχνολογίας εφαρμογές, η ταχύτητα και η φορά περιστροφής των τριφασικών ηλεκτροκινητήρων ελέγχεται με ακρίβεια από ηλεκτρονικές διατάξεις (inverter – variable speed controller), που επικοινωνούν με τον λογικό ελεγκτή μέσω αναλογικών εισόδων και εξόδων. Έχουν την δυνατότητα να επιτυγχάνουν οποιαδήποτε επιθυμητή ταχύτητα αλλάζοντας τη συχνότητα του ρεύματος τροφοδοσίας του κινητήρα.

Στη σχέση $n = 60 f / p$, όπου f η συχνότητα του ρεύματος και p ο αριθμός των ζευγών των μαγνητικών πόλων, που δίνει τον αριθμό των στροφών ανά λεπτό ενός σύγχρονου ηλεκτροκινητήρα, φαίνεται η αναλογία στροφών-συχνότητας στην οποία στηρίζεται η λειτουργία των inverters.



Inverter της Telemecanique Σχ. 5.2.9

5.3 Μηχανή εμφύσησης

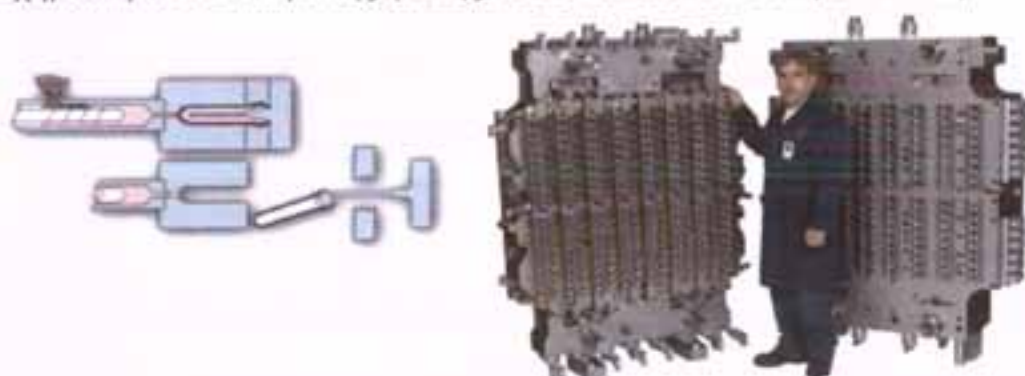
Στο παρόν κεφάλαιο θα αναπτυχθεί η λειτουργία μιας *περιστρεφόμενης* μηχανής εμφύσησης *δύο σταδίων* (βλ. κεφάλαιο 3). Τα στοιχεία της μηχανής που θα αναπτύξουμε ανήκουν στο μοντέλο SBO 14 της γαλλικής εταιρίας Sidel. Η Sidel αποτελεί εταιρία αναφοράς στο χώρο της τεχνολογίας εμφιάλωσης.

Ενδεικτικά αναφέρεται πως πάνω από το 60% της παγκόσμιας παραγωγής φιαλών από PET, κατασκευάζονται από μηχανές της εταιρίας αυτής. Η μηχανή SBO 14 αποτελεί ένα αντιπροσωπευτικό μοντέλο της διαδικασίας εμφύσησης, με τεχνολογία που εφαρμόζεται (με παραλλαγές) σε όλες τις μηχανές αυτού του τύπου.



Σχ. 5.3.1 Η SBO 14 της Sidel⁽⁷⁾

Η μηχανές εμφύσησης δύο σταδίων χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη προπλάσματα από PET που ονομάζονται προφόρμες (performs). Οι προφόρμες κατασκευάζονται από μηχανές εκχύσεως (injection) και έχουν ήδη σχηματισμένο το λαιμό της φιάλης, όπου και θα τοποθετηθεί το πώμα.

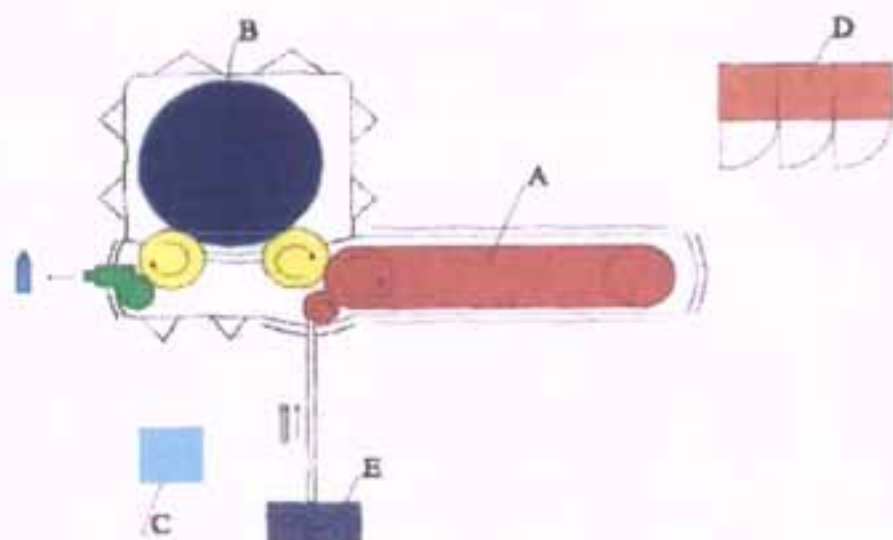


Σχ. 5.3.2 Αρχή λειτουργίας injection προφορμών και καλούπτι 128 αποτυπωμάτων της Husky s.a.

Ο λαιμοί που φέρουν οι προφόρμες είναι τυποποιημένοι κατά DIN και διατίθενται σε ποικίλες διαμέτρους και τύπους σπειρωμάτων. Βασικό χαρακτηριστικό σε μια προφόρμα είναι το βάρος της, που εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος της φιάλης για την οποία προορίζεται. Για παράδειγμα για να κατασκευαστεί μια φιάλη 1,5 lt χρησιμοποιείται προφόρμα 28-33 gr. Οι προφόρμες μετά την παραγωγή τους αποθηκεύονται για 36-48 ώρες, ώστε να κρυσταλλοποιηθούν πλήρως.



Σχ. 5.3.3 Διάφοροι τύποι προφορμών



Σχ. 5.3.4 Τμήματα της SBO 14⁽⁷⁾

Η μηχανή εμφύσησης αποτελείται από τα έξης τμήματα :

- A) Μονάδα θέρμανσης (φούρνος)
- B) Τροχός εμφύσησης
- C) Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου PCC (Power Control Computer)
- D) Ηλεκτρικός πίνακας
- E) Αποθήκη τροφοδοσίας προφορμών

Οι προφόρμες από την αποθήκη τροφοδοσίας, μέσω μιας ανορθωτικής διάταξης, εισέρχονται στη μηχανή και διαχωρίζονται από έναν βηματικό τροχό (Σχ. 5.3.5). Στη συνέχεια φορτώνονται στην αλυσίδα των περιστρεφόμενων φορέων (Σχ. 5.3.6), για να οδηγηθούν στον φούρνο. Η αλυσίδα των φορέων εκτελεί μια γραμμική κίνηση εντός του φούρνου ενώ ταυτόχρονα περιστρέφει την προφόρμα στον διαμήκη άξονά της.

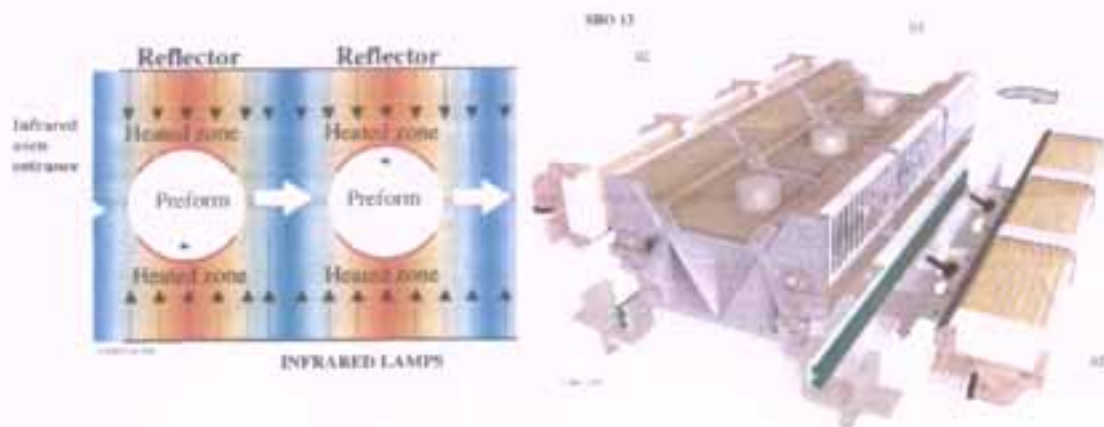


Σχ. 5.3.5 Βηματικός τροχός⁽⁷⁾



Σχ. 5.3.6 Αλυσίδα φορέων προφορμών⁽⁷⁾

Η περιστροφική κίνηση των προφορμών εντός του φούρνου απαιτείται για ομοιόμορφη θέρμανση, η οποία επιτυγχάνεται με τη χρήση συστοιχιών λαμπτήρων υπέρυθρης ακτινοβολίας. Ο κάθε λαμπτήρας έχει ισχύ 2,5 KW και ελέγχεται ξεχωριστά από το PLC. Ο χειριστής έχει τη δυνατότητα μέσω μιας οθόνης αφής να ανάψει όποιο λαμπτήρα και σε όποιο ποσοστό επιθυμεί, θερμαίνοντας έτσι περισσότερο ή λιγότερο κάποια περιοχή της προφόρμας (λαιμό, σώμα, πυθμένα) ανάλογα με το σχήμα της φιάλης. Συνιστάται οι λαμπτήρες να ανάβονται από το 70% και πάνω της δυναμικότητάς τους, ώστε η υπέρυθρη ακτινοβολία να διαπερνά το πάχος της προφόρμας και να θερμαίνει εξίσου και το εσωτερικό της.



Σχ. 5.3.7 Μονάδα θέρμανσης με ανοιχτό φορέα τριών συστοιχιών λαμπτήρων

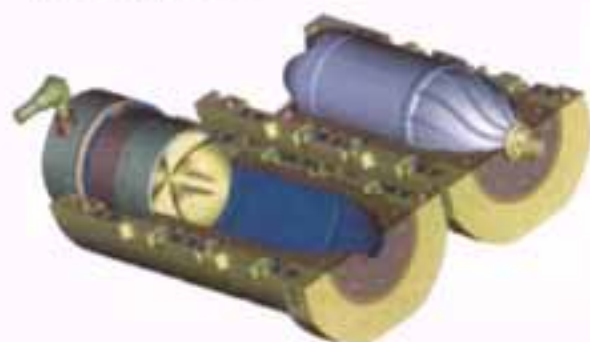
Απέναντι από τους λαμπτήρες υπάρχουν διάτρητοι μεταλλικοί ανακλαστήρες, μέσω των οποίων διέρχεται ρεύμα αέρα προερχόμενο από ανεμιστήρες και έχει σκοπό την πιο ομοιόμορφη θέρμανση των προφορμών και την αποφυγή υπερθερμάνσεων στο εσωτερικό του φούρνου. Ο λαιμός της προφόρμας, στο εσωτερικό του φούρνου, προστατεύεται από δύο ράμπες ψύξεως που κυκλοφορεί ψυχρό νερό, αποφεύγοντας την αλλοίωση του σχήματος του σπειρώματος. Στην έξοδο του φούρνου μια θερμοανιχνευτική κάμερα μετρά την θερμοκρασία της κάθε εξερχόμενης προφόρμας και δίνει εντολή αποβολής, αν είναι κάτω από κάποιο ελάχιστο όριο. Η επιθυμητή θερμοκρασία κυμαίνεται από 105-120°C, όπου η μοριακή δομή του PET επέρχεται σε άμορφη κατάσταση.



Σχ. 5.3.8 Μεταφορά της προφόρμας με μηχανικό βραχίονα, από την αλυσίδα των φορέων του φούρνου, στο καλούπι.⁽⁷⁾

Η προφόρμα μεταφέρεται από τσιμπίδες (grippers), που φέρονται σε περιστρεφόμενους μηχανικούς βραχίονες, από την αλυσίδα του φούρνου στα καλούπια (Σχ. 5.3.8). Το καλούπι είναι χωρισμένο σε τρία ξεχωριστά μέρη : τα δύο πλαϊνά και τον πυθμένα (Σχ. 5.3.9).

Ο σχεδιασμός αυτός εξυπηρετεί το γρήγορο άνοιγμα του καλούπιού κατά την φόρτωση και την εκφόρτωσή του. Το καλούπι κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εμφύσησης παραμένει κλειστό, με τη βοήθεια ενός μηχανισμού αξόνων κλειδώματος (Σχ. 5.3.9 C). Στα πλαϊνά μέρη του καλούπιού κυκλοφορεί νερό σταθερής θερμοκρασίας, 30-40°C ανάλογα με το σχήμα της φιάλης, με σκοπό την γρήγορη και καλύτερη μόρφωση του αποτυπώματος.



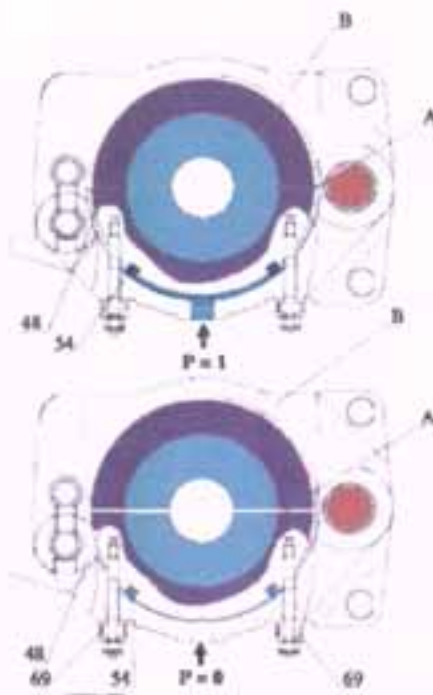
Σχ. 5.3.9 Μέρη καλούπιού και τρόπος στήριξης στον σταθμό εμφύσησης. ⁽⁷⁾

Κατά τον σχεδιασμό του σχήματος της φιάλης, οι πτυχώσεις που δίνονται δεν έχουν μόνο διακοσμητικό σκοπό, αλλά αποτελούν και αποτέλεσμα μελέτης της αύξησης της μηχανικής αντοχής του προϊόντος. Ειδική μέριμνα δίνεται στον πυθμένα που αποτελεί και το πιο κρίσιμο, από πλευράς αντοχής, μέρος της φιάλης. Η μελέτη του σχήματος της φιάλης γίνεται πλέον πριν την κατασκευή των καλούπιων, με εύλογα οικονομικά οφέλη, με τη βοήθεια CAD λογισμικών που έχουν αναπτυχθεί για την εργασία αυτή. Με τον τρόπο αυτό ο σχεδιαστής μπορεί εκ των προτέρων να προσδιορίσει τις κρίσιμες περιοχές (Σχ. 5.3.10) και να βελτιστοποιήσει την μηχανική αντοχή του προϊόντος σε εντατικές καταστάσεις.



Σχ. 5.3.10 Έλεγχος εντατικής κατάστασης

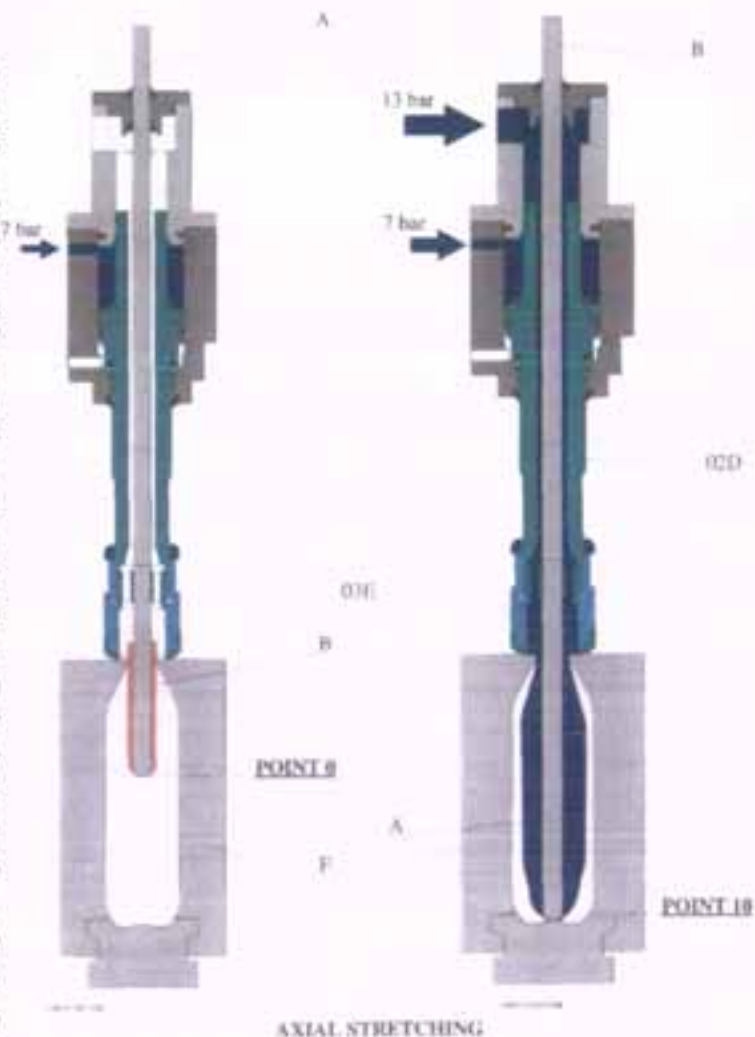
Η πιο κρίσιμη εντατική κατάσταση που υποβάλλεται το προϊόν συμβαίνει κατά την αποθήκευσή του, όπου οι παλέτες στοιβάζονται για εξοικονόμηση χώρου. Για το λόγο αυτό η πιο βασική δοκιμή που υποβάλλεται η φιάλη είναι η αντοχή σε κάθετο φορτίο.



Σχ. 5.3.11 Πίεση αντιστάθμισης⁽⁷⁾

Αφού η ζεστή προφόρμα τοποθετηθεί στο καλούπι, το καλούπι κλείνει και κλειδώνει και είναι έτοιμο για να αρχίσει η διαδικασία εμφύσησης. Τα εξαρτημένα κινούμενα μέρη των σταθμών εμφύσησης (π.χ. μοχλός ανοίγματος-κλεισίματος καλουπιού) ελέγχονται από την ολίσθηση τριβέων πάνω σε έκκεντρα (κάμες) με προκαθορισμένες κλίσεις, που είναι τοποθετημένα σε σταθερά σημεία της μηχανής. Η διαδικασία της εμφύσησης διαρκεί περίπου 0,3 δευτερόλεπτα. Επειδή στο καλούπι πρόκειται να εφαρμοστεί αέρας πίεσης 40bar που τείνει να το ανοίξει, εφαρμόζεται στο ένα πλαινό μέρος του καλουπιού, που είναι κινητό κατά τον εγκάρσιο άξονά του, μια αντισταθμιστική πίεση ίδιου μεγέθους (Σχ.5.3.11).

Το πρώτο στάδιο της διαδικασίας εμφύσησης είναι η αξονική επιμήκυνση της προφόρμας (Σχ.5.3.12). Η αξονική επιμήκυνση προκαλεί τον βίαιο προσανατολισμό των μακρομορίων του PET, βελτιώνοντας τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού (βλ. κεφ. 4). Ένα ακροφύσιο που ελέγχεται πνευματικά από μια ηλεκτροβαλβίδα κατεβαίνει και εφαρμόζει στο στόμιο του καλουπιού. Στο μέσο του ακροφυσίου διέρχεται η ράβδος επιμήκυνσης που οδηγείται από έναν πνευματικό κύλινδρο. Ταυτόχρονα διοχετεύεται μέσω του ακροφυσίου αέρας 13 bar διογκώνοντας πλευρικά την προφόρμα (προφύσηση). Η διάρκεια και η πίεση της προφύσησης παίζουν σημαντικό ρόλο στην κατανομή του υλικού. Μειώνοντας για παράδειγμα την πίεση προφύσησης, μεταφέρεται περισσότερο υλικό προς τα κάτω ενισχύοντας τον πυθμένα της φιάλης.



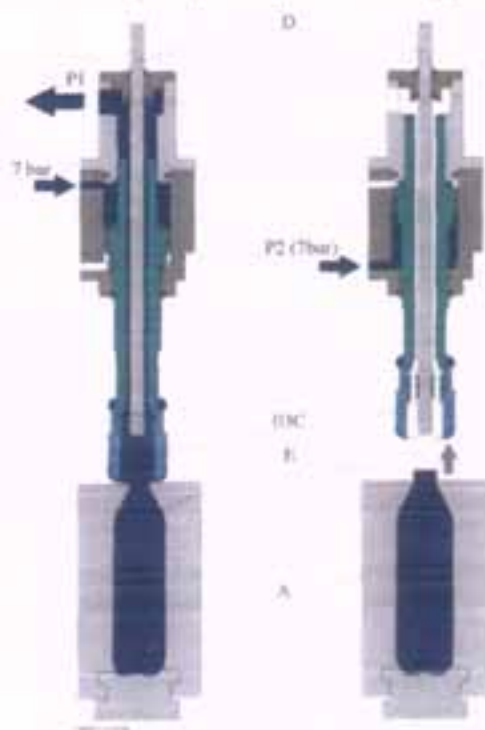
Σχ. 5.3.12 Αξονική επιμήκυνση⁽⁷⁾

Το επόμενο στάδιο είναι αυτό της εμφύσησης όπου εφαρμόζεται στη φιάλη αέρας πίεσης 40bar (Σχ. 5.3.13). Στο στάδιο αυτό η φιάλη παίρνει το τελικό της σχήμα, καθώς το υλικό πιέζεται στα τοιχώματα του καλουπιού. Η φάση αυτή είναι καθοριστική στην απόδοση του υλικού, καθώς το παραμικρό ελάττωμα στο σώμα της προφόρμας (π.χ. φυσαλίδα, γρατζουνιά), μπορεί να προκαλέσει ρήξη και αστοχία στο σχηματισμό φιάλης. Ένας ηλεκτρονικός μετρητής πίεσεως τοποθετημένος στην παροχή του αέρα εμφύσησης, μετρά την πίεση εντός του καλουπιού και μεταφέρει την μέτρηση αυτή στο PLC σε πραγματικό χρόνο. Σε περίπτωση αστοχίας, οπότε και θα υπάρξει σημαντική πτώση πίεσης καθώς ο αέρας θα διαφεύγει από τις ενώσεις των δύο πλαισίων του καλουπιού, το PLC θα δώσει εντολή αποβολής της φιάλης ως φθαρμένης, αποκλείοντας έτσι το ενδεχόμενο να περάσει στη γραμμή παραγωγής.



Σχ. 5.3.13 Εμφύσηση⁽⁷⁾

Το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας ονομάζεται εκτόνωση. Η παροχή αέρα διακόπτεται και μια ανακουφιστική ηλεκτροβαλβίδα αφήνει τον αέρα που βρίσκεται στο καλούπι να εκτονωθεί μέσω ενός σιγαστήρα. Ταυτόχρονα σηκώνεται η ράβδος επιμήκυνσης στην αρχική της θέση και παύει να εφαρμόζεται η πίεση αντιστάθμισης (Σχ. 5.3.15). Μόλις ολοκληρωθεί η φάση της εκτόνωσης σηκώνεται και το ακροφύσιο ενώ αρχίζει το ξεκλείδωμα του καλουπιού.



Σχ. 5.3.15 Εκτόνωση & επαναφορά



Σχ. 5.3.14 Απομάκρυνση προϊόντος⁽⁷⁾

Αμέσως μετά την απομάκρυνση του έτοιμου πλέον προϊόντος, ο σταθμός εμφύσησης είναι έτοιμος να δεχτεί μια καινούργια ζεστή προφόρμα και να επαναλάβει τον επόμενο κύκλο της διαδικασίας. Έχοντας υπόψη ότι ο χρόνος της διαδικασίας δεν μπορεί να μειωθεί σημαντικά κάτω από τα 2,3 sec, ο μόνος τρόπος να αυξηθεί η παραγωγική δυναμικότητα των μηχανών εμφύσησης είναι να προστεθούν επιπλέον σταθμοί. Έτσι παρουσιάστηκαν μοντέλα μέχρι και 20 σταθμών εμφύσησης δυναμικότητας 28.000 φιαλών ανά ώρα, ενώ ανακοινώθηκε από την γαλλική εταιρία Sidel η κατασκευή μιας περιστρεφόμενης μηχανής δύο σταδίων με 20 διπλά καλούπια δυναμικότητας 56.000 φιαλών την ώρα. Βασικό ρόλο στο βιομηχανικό σχεδιασμό των επαναληπτικών αυτών μηχανών, έχει η μείωση των νεκρών χρόνων καθώς και η ταυτόχρονη εκτέλεση διαφορετικών κατεργασιών όπου αυτό είναι δυνατό.

Ο χειριστής έχει τη δυνατότητα, μέσω ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή που αλληλεπιδρά με τον προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή (PLC), να ενημερώνεται για την τρέχουσα κατάσταση της παραγωγικής διαδικασίας από ηλεκτρονικής μορφής όργανα ελέγχου. Έχει επίσης τη δυνατότητα να αλλάζει τις παραμέτρους της διαδικασίας (χρόνους, θερμοκρασίες, πιέσεις) βελτιώνοντας την απόδοση της μηχανής και την ποιότητα του προϊόντος. Έτσι για κάθε διαφορετική προφόρμα χρησιμοποιείται ένα διαφορετικό σύνολο παραμέτρων που ονομάζεται «συνταγή».



Σχ. 5.3.16 Σταθμός εμφύσησης

Μεγάλη σημασία έχει δοθεί από τις κατασκευάστριες εταιρίες μηχανών εμφύσησης στην ταχύτερη εναλλαγή των παραγόμενων προϊόντων. Τα μέρη της μηχανής που πρέπει να αλλαχθούν για να παραχθεί ένα διαφορετικό προϊόν (π.χ. καλούπι, ράβδος επιμήκυνσης, αποστάτες) συγκρατούνται με ταχυσυνδέσμους, έτσι ώστε η αλλαγή από την παραγωγή ενός προϊόντος σε ένα άλλο να γίνεται από δύο τεχνικούς σε 15 – 20 λεπτά.

5.4 Γεμιστική μηχανή

Αφού σχηματιστεί η φιάλη στη μηχανή εμφύσησης μεταφέρεται στη γεμιστική μηχανή όπου και θα πληρωθεί από το προϊόν. Η μεταφορά της κενής φιάλης μπορεί να γίνει απευθείας από τη μια μηχανή στην άλλη, με τη βοήθεια χρονισμένων τροχών (αστέρια) (Σχ. 5.4.1), που φέρουν κατάλληλα διαμορφωμένη εξωτερική διάμετρο ώστε να συγκρατούν τη φιάλη από το λαιμό. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σε διατάξεις όπου οι δύο μηχανές είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους (*compr*). Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της διάταξης είναι ότι η κενή φιάλη αμέσως μετά το σχηματισμό της και χωρίς να εκτεθεί καθόλου στον αέρα του περιβάλλοντος, γεμίζεται και σφραγίζεται στις ελεγχόμενες μικροβιολογικά συνθήκες του εσωτερικού της μηχανής.



Σχ. 5.4.1 Τροχοί μεταφοράς φιαλών

Στις περιπτώσεις που οι δύο μηχανές είναι σε διαφορετικά τμήματα του εργοστασίου, χρησιμοποιούνται επί το πλείστον γραμμές αερομεταφοράς (Σχ. 5.4.2). Στις γραμμές αυτές η κενή φιάλη συγκρατείται από το στόμιο με τη βοήθεια οδηγών και ωθείται από ρεύμα αέρα. Το ρεύμα αέρα φτάνει μέσω των πλευρικών αγωγών στις θυρίδες κατεύθυνσης που βρίσκονται εκατέρωθεν της φιάλης λίγο κάτω από το στόμιο. Τον αέρα παρέχουν ανεμιστήρες τοποθετημένοι ανά διαστήματα, ανάλογα με την κλίση της γραμμής.



Σχ. 5.4.2 Αερομεταφορά φιαλών

Οι γεμιστικές μηχανές που προορίζονται για τη βιομηχανία τροφίμων πρέπει να λειτουργούν σε ελεγχόμενο περιβάλλον. Ο έλεγχος αυτός αποσκοπεί στην αποτροπή της μόλυνσης του προϊόντος από το μικροβιακό φορτίο του περιβάλλοντος της μονάδας παραγωγής. Η απομόνωση από το περιβάλλον γίνεται εφικτή με υαλοπίνακες που περιστοιχίζουν την γεμιστική μηχανή, ενώ μια υπερπίεση από αποστειρωμένο αέρα αποτρέπει την είσοδο αέρα από το περιβάλλον στο εσωτερικό του κλωβού της μηχανής. Η υπερπίεση αυτή δημιουργείται από ανεμιστήρες, τοποθετημένους συνήθως στην κορυφή της μηχανής, που παρέχουν αέρα πίεσης 0,4-0,6 bar μεγαλύτερης από την ατμοσφαιρική. Ο αέρας αυτός διέρχεται από μικρονικά φίλτρα (1 μm) ενεργού άνθρακα και είναι απαλλαγμένος από μικρόβια και οσμές.

Ο βαθμός απομόνωσης των γεμιστικών μηχανών ποικίλει ανάλογα με την ευπάθεια του προϊόντος και κυμαίνεται από σχετικά ελεγχόμενο μέχρι πλήρως ελεγχόμενο περιβάλλον (ασηπτικό). Συνήθως στις σύγχρονες βιομηχανικές εφαρμογές, στο εσωτερικό των γεμιστικών μηχανών φιλοξενείται και η ταππωτική μηχανή (Σχ. 5.4.3.). Έτσι, αφού η φιάλη σφραγιστεί με το πώμα, μπορεί να συνεχιστεί η επεξεργασία της σε μη ελεγχόμενο περιβάλλον, καθώς είναι πλέον αδύνατη η μόλυνση του περιεχομένου.



Σχ. 5.4.3 Γεμιστική μηχανή με ενσωματωμένο ταππωτικό πύργο⁽⁷⁾

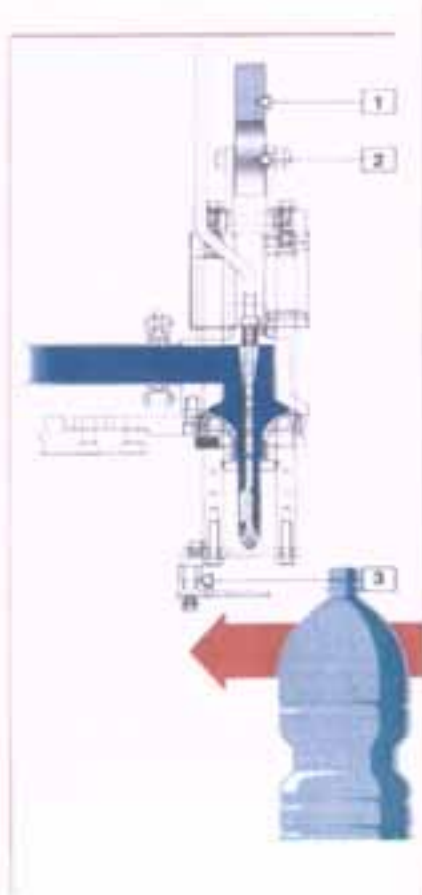
Το βασικό μέρος μιας γεμιστικής μηχανής είναι ο γεμιστικός τροχός (Σχ. 5.4.4), που αποτελείται από τη δεξαμενή που φέρει το προϊόν και είναι τοποθετημένη στο κέντρο και τις βαλβίδες πληρώσεως που συνδέονται με δεξαμενή και βρίσκονται στην περιφέρεια του τροχού. Η δυναμικότητα των μηχανών αυτών καθορίζεται από τον αριθμό των βαλβίδων, την μέγιστη παροχή της κάθε βαλβίδας, καθώς και το μέγεθος του προς πλήρωση δοχείου.



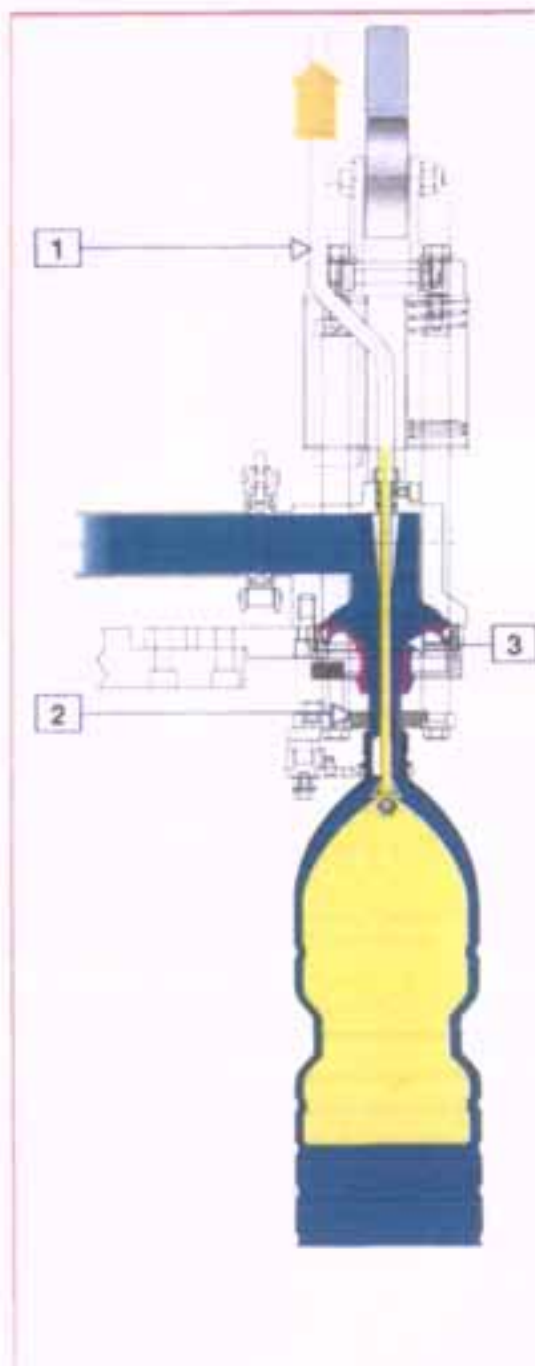
Σχ. 5.4.4 Γεμιστικός τροχός⁽⁹⁾

Τα γεμιστικά μηχανήματα που προορίζονται για τη βιομηχανία εμφιάλωσης νερού κατασκευάζονται εξ' ολοκλήρου από ανοξείδωτο χάλυβα 316L. Λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα, κατά το σχεδιασμό τους, ώστε να μην έχουν κοιλότητες όπου να συσσωρεύεται βρωμιά ή νερό, ενώ όλες οι συναρμογές που χρειάζονται λίπανση καλύπτονται και αδιαβροχοποιούνται από καπάκια ανοξείδωτου χάλυβα. Επειδή η πρόσβαση στα σημεία αυτά είναι δύσκολη, η λίπανση γίνεται από ένα κεντρικό σύστημα και μεταφέρεται στα σημεία που χρειάζεται από ένα δίκτυο πλαστικών σωλήνων πίεσεως. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται είναι επίσης αδιάβροχοι (IP5), όπως και ο πίνακας των συνδέσεων τους. Η αδιαβροχοποίηση της μηχανής σκοπεύει στην δυνατότητα να πλένεται εξ' ολοκλήρου απρόσκοπτα, έτσι ώστε να διατηρείται η υγιεινή της σε υψηλά επίπεδα.

Κατά τη διαδικασία πλήρωσης το ρουλεμάν (2 Σχ. 5.4.5) κυλιόμενο πάνω σε έκκεντρη κάμα (1 Σχ. 5.4.5) συγκρατεί το μηχανισμό της τσιμπίδας χαμηλά. Η κενή φιάλη οδηγούμενη από χρονισμένους τροχούς μεταφοράς, τοποθετείται στη τσιμπίδα (3 Σχ. 5.4.5). Η τσιμπίδα συγκρατεί την φιάλη από το στόμιο, ακριβώς κάτω από τη βαλβίδα πλήρωσης. Σε αυτή τη φάση η βαλβίδα παραμένει κλειστή.

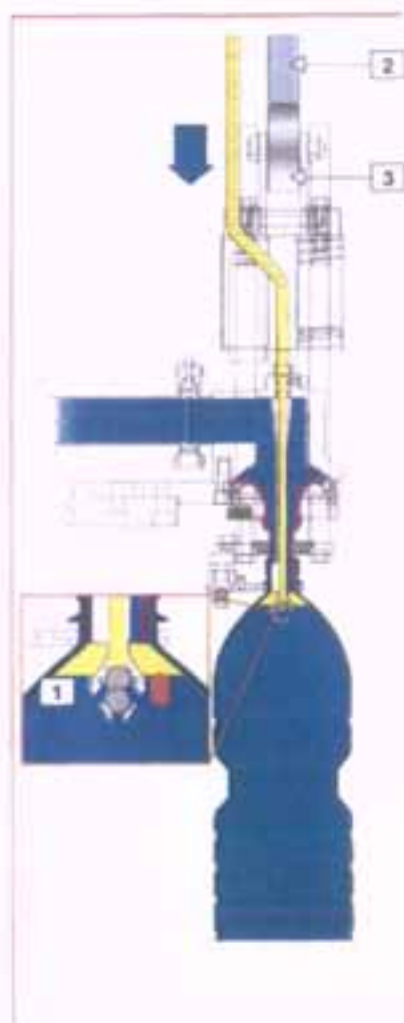


Σχ. 5.4.5 Είσοδος φιάλης⁽⁹⁾



Σχ. 5.4.6 Πλήρωση φιάλης⁽⁹⁾

Η βαλβίδα παραμένει κλειστή με τη βοήθεια μιας ελαστικής μεμβράνης επαναφοράς (3 Σχ. 5.4.6). Καθώς ο γεμιστικός τροχός περιστρέφεται, η έκκεντρη κάμα επιτρέπει στον μηχανισμό της τσιμπίδας να ανέλθει, ανοίγοντας την βαλβίδα. Το προϊόν πέφτει μέσα στη φιάλη λόγω βαρύτητας. Λόγω του σχήματος της εκροής σπρώχνεται προς το τοίχωμα της φιάλης, επιτρέποντας στον αέρα να διαφύγει από τον κεντρικό αγωγό εξαέρωσης(1 Σχ. 5.4.6). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται γρήγορη και ομαλή πλήρωση. Η στάθμη του νερού μέσα στην δεξαμενή της μηχανής παραμένει σταθερή με τη βοήθεια ενός αισθητήρα στάθμης υπερήχων, που ελέγχει την βαλβίδα τροφοδοσίας.



Όταν η στάθμη του νερού μέσα στη φιάλη φτάσει στον κεντρικό αγωγό εξαέρωσης, μια επιπλέουσα πλαστική μπίλια φράζει τον αγωγό (1 Σχ. 5.4.7) αποτρέποντας την περαιτέρω διαφυγή αέρα και κατά συνέπεια την εισροή επιπλέον νερού. Για τον λόγο αυτό ο αγωγός αυτός ονομάζεται και αγωγός στάθμης. Μετά την πλήρωση της φιάλης η έκκεντρη κάμα (2 Σχ. 5.4.7) πιέζει προς τα κάτω, μέσω ενός ρουλεμάν (3 Σχ. 5.4.7), τον μηχανισμό συγκράτησης. Το εξωτερικό τοίχωμα της βαλβίδας κατεβαίνει, πιεζόμενο από την ελαστική μεμβράνη επαναφοράς, κλείνοντας την εκροή του προϊόντος. Τη γεμάτη πλέον φιάλη παραλαμβάνουν κατάλληλα διαμορφωμένοι χρονισμένοι τροχοί μεταφοράς, που θα την οδηγήσουν στην ταπνωτική μηχανή όπου και θα τοποθετηθεί το πώμα.

Η πλήρωση με έλεγχο στάθμης λόγω βαρύτητας (Gravity level) χρησιμοποιείται για μη ανθρακούχα υγρά χαμηλής πυκνότητας. Ο όγκος του προϊόντος που εμφιαλώνεται καθορίζεται από το μέγεθος της φιάλης. Η μέθοδος αυτή αποτελεί την πιο απλή, από τεχνολογική άποψη, μέθοδο εμφιάλωσης. Πιο πολύπλοκες τεχνικές χρησιμοποιούνται για την εμφιάλωση άλλων προϊόντων, όπως ανθρακούχα ποτά και τρόφιμα με υψηλή πυκνότητα.

Σχ. 5.4.7 Έλεγχος στάθμης⁽⁹⁾

Επιγραμματικά αναφέρονται οι τεχνικές εμφιάλωσης⁽¹⁰⁾ και ελέγχου στάθμης που χρησιμοποιούνται για διάφορα προϊόντα :



Έλεγχος βάρους (Gravimetric weight)

Το προϊόν εισέρχεται λόγω βαρύτητας στη φιάλη. Μια ηλεκτρονική πλάστιγκα που συγκρατεί τη φιάλη, ελέγχει τη βαλβίδα τροφοδοσίας. Χρησιμοποιείται για υγρά χαμηλής πυκνότητας.



Μηχανικής ογκομέτρησης (Mechanical volumetric)

Ο όγκος του προϊόντος καθορίζεται από ένα κύλινδρο και ένα κινούμενο έμβολο στο εσωτερικό του. Το έμβολο κινείται, από έναν έκκεντρο οδηγό σταθερά τοποθετημένο, καθώς η μηχανή περιστρέφεται. Το έμβολο αναρροφά το προϊόν από τη δεξαμενή και το μεταφέρει στη φιάλη. Χρησιμοποιείται για υγρά υψηλής πυκνότητας ή με μικρά κομμάτια.



Ηλεκτρονικής ογκομέτρησης (Electronic volumetric)

Ο όγκος του προϊόντος καθορίζεται από ένα κύλινδρο και ένα κινούμενο έμβολο στο εσωτερικό του. Το έμβολο κινείται από έναν ηλεκτρικό κινητήρα που ελέγχεται από έναν προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή. Το έμβολο αναρροφά το προϊόν από τη δεξαμενή και το μεταφέρει στη φιάλη. Χρησιμοποιείται για υγρά υψηλής πυκνότητας ή με μικρά κομμάτια.



Έλεγχος ροής (Flow meter)

Το προϊόν ρέει λόγω βαρύτητας από τη δεξαμενή στη φιάλη. Ο όγκος μετρείται με τη βοήθεια ενός μετρητή ροής που ελέγχει και τη βαλβίδα τροφοδοσίας. Χρησιμοποιείται για υγρά χαμηλής πυκνότητας.



Έλεγχος στάθμης (Gravity level)

Το προϊόν ρέει λόγω βαρύτητας από τη δεξαμενή στη φιάλη. Η ροή σταματάει όταν η στάθμη του υγρού φτάσει τον αγωγό εξαέρωσης. Ο όγκος καθορίζεται από το μέγεθος της φιάλης. Χρησιμοποιείται για υγρά χαμηλής πυκνότητας.



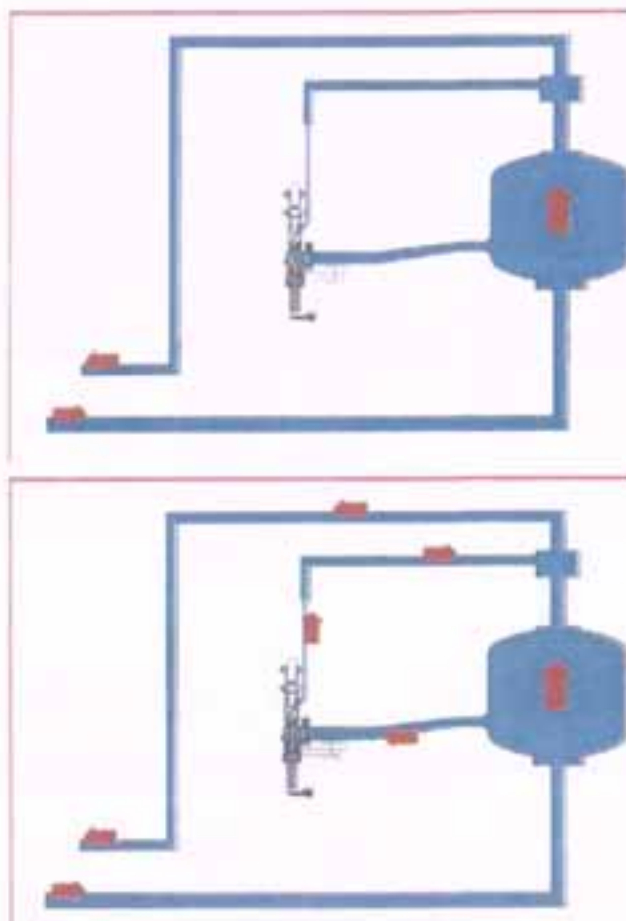
Έλεγχος στάθμης σε ισοβαρικές συνθήκες (Isobarometric level)

Η πίεση στο μπουκάλι εξισορροπείται με την πίεση στη δεξαμενή τροφοδοσίας. Το προϊόν ρέει στη φιάλη λόγω βαρύτητας. Η ροή σταματάει όταν η στάθμη του υγρού φτάσει τον αγωγό εξαέρωσης. Ο όγκος καθορίζεται από το μέγεθος της φιάλης. Χρησιμοποιείται για ανθρακούχα υγρά χαμηλής πυκνότητας.⁽¹⁰⁾

Για να διατηρείται η υγιεινή της μηχανής και κατ' επέκταση του προϊόντος σε άριστη κατάσταση, χρειάζονται καθημερινοί καθαρισμοί με ειδικά διαλύματα. Ο χώρος που φιλοξενεί τη γεμιστική μηχανή πλένεται σχολαστικά καθημερινά και τροφοδοτείται με φιλτραρισμένο αέρα ώστε να μειωθεί το μικροβιακό του φορτίο. Η μηχανή αποστειρώνεται εξωτερικά με αφρισμό πριν την έναρξη της παραγωγής, ενώ η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται αν η μηχανή μολυνθεί από ανθρώπινη παρέμβαση (π.χ. παρέμβαση λόγω βλάβης). Στο εσωτερικό του χώρου που βρίσκεται η γεμιστική μηχανή επιτρέπεται η πρόσβαση μόνο στον χειρίστη, ο οποίος και λαμβάνει όλα τα προστατευτικά μέτρα (γάντια, φόρμα, μάσκα, σκούφο). Στις σύγχρονες μονάδες εμφιάλωσης, η αυτοματοποίηση των γεμιστικών μηχανών, επιτρέπει να γίνεται ο έλεγχος της μηχανής από άλλο χώρο, ενώ και οι καθαρισμοί γίνονται αυτόματα από προκαταχωρημένα προγράμματα αποστείρωσης.

Το εσωτερικό της μηχανής, καθώς και ολόκληρο το δίκτυο των σωληνώσεων που χρησιμοποιούνται για τη τροφοδοσία, αποστειρώνεται καθημερινά πριν από την έναρξη της παραγωγής. Για την αποστείρωση χρησιμοποιείται είτε διάλυμα οξωνίων (υπεροξειδίου του υδρογόνου) είτε διάλυμα καυστικής ποτάσας είτε καυτό νερό 95°C . Το εσωτερικό της μηχανής αποστειρώνεται με εξαναγκασμένη κυκλοφορία του αποστειρωτικού διαλύματος.⁽⁹⁾

Η κυκλοφορία του διαλύματος εντός της μηχανής οδηγείται από ηλεκτροβαλβίδες που ελέγχονται από τον προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή και εκτελούν ένα προκαθορισμένο πρόγραμμα. Συνήθως η διαδικασία της αποστείρωσης του εσωτερικού χωρίζεται σε δύο βήματα. Στο πρώτο βήμα το διάλυμα διαρρέει μόνο τη δεξαμενή του προϊόντος και στο δεύτερο τη δεξαμενή, τους αγωγούς τροφοδοσίας των βαλβίδων, καθώς και τους αγωγούς εξαέρωσης. Το ίδιο πρόγραμμα χρησιμοποιείται και για το ξέπλυμα του κυκλώματος με καθαρό νερό προερχόμενο από τα φίλτρα της μονάδας επεξεργασίας νερού.



Σχ. 5.4.8 Κυκλοφορία διαλύματος αποστείρωσης

5.5 Ταπωτική μηχανή

Αφού η φιάλη έχει πληρωθεί με το προϊόν, οδηγείται με τη βοήθεια χρονισμένων μεταφορικών τροχών στην ταπωτική μηχανή, όπου και θα τοποθετηθεί το πώμα. Στις σύγχρονες εγκαταστάσεις εμφιάλωσης, έχει επικρατήσει η ταπωτική μηχανή να τοποθετείται στο εσωτερικό της γεμιστικής μηχανής, με σκοπό η φιάλη να σφραγίζεται αμέσως μετά την πλήρωση. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται, ώστε να αποφεύγεται η επαφή του προϊόντος με το μικροβιακό φορτίο του ατμοσφαιρικού αέρα. Οι ταπωτικές μηχανές ονομάζονται και ταπωτικοί πύργοι (Σχ. 5.5.1), καθώς τα διάφορα μέρη τους είναι αναπτυγμένα κατακόρυφα, με σκοπό τη μείωση του χώρου που απαιτείται για την εγκατάστασή τους. Οι ταπωτικοί πύργοι δεν διαθέτουν δικό τους κινητήρα, αλλά παίρνουν κίνηση από τη γεμιστική μηχανή μέσω οδοντωτών τροχών. Έτσι παραμένουν πάντα συγχρονισμένοι, ανεξαρτήτως της ταχύτητας λειτουργίας της γεμιστικής μηχανής.



Σχ. 5.5.1 Ταπωτικός πύργος⁽¹¹⁾



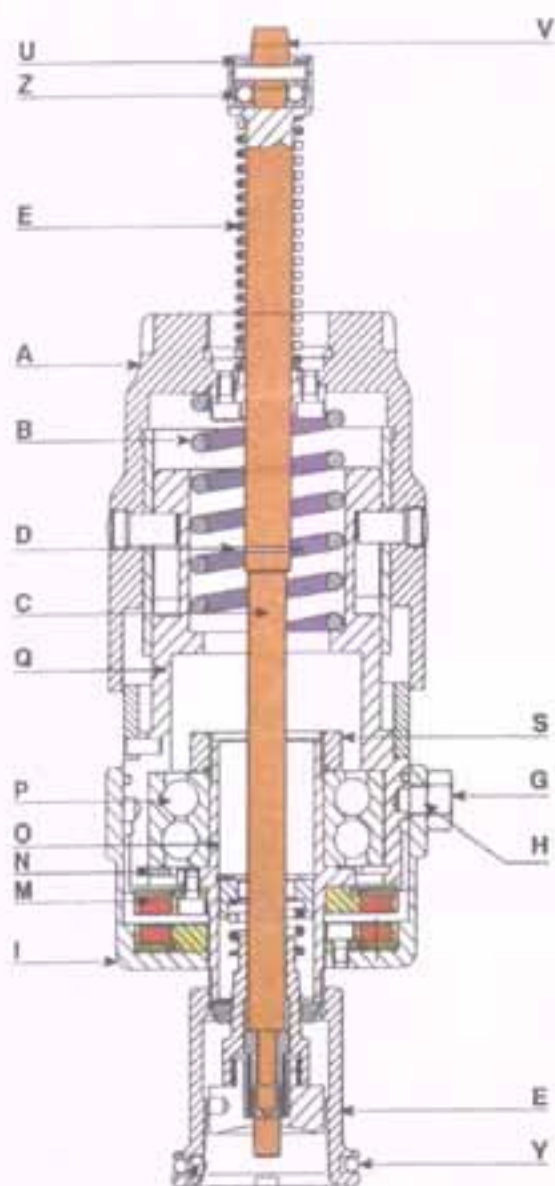
Ο πιο διαδεδομένος τύπος πώματος που χρησιμοποιείται στην βιομηχανία εμφιάλωσης νερού είναι το πλαστικό βιδωτό πώμα. Τα πώματα αυτά έχουν προσχηματισμένο σπείρωμα, αντίστοιχο με το σπείρωμα που είναι σχηματισμένο στο στόμιο της φιάλης. Για να τοποθετηθεί το πώμα στη φιάλη, απαιτείται κάθετη πίεση με ταυτόχρονη περιστροφή (Σχ.5.5.2). Τον συνδυασμό των δύο αυτών κινήσεων αναλαμβάνουν να εκτελέσουν οι βιδωτικές κεφαλές (Σχ.5.5.3). Οι βιδωτική κεφαλή τροφοδοτείται με πώμα από έναν ανορθωτή, τοποθετημένο στην κορυφή της μηχανής, μέσω ενός καταρράκτη. Οι κεφαλές εκτός από την «δορυφορική» περιστροφή που εκτελούν κατά την περιστροφή του τροχού της μηχανής, εκτελούν και μια περιστροφική «πλανητική» κίνηση γύρω από τον άξονά τους.

Σχ. 5.5.2

Μια έκκεντρη κάμα σταθερά τοποθετημένη πιέζει την κεφαλή προς τα κάτω, καθώς αυτή περιστρέφεται. Η κεφαλή πλησιάζει τη φιάλη και εκτελώντας τον συνδυασμό των δύο κινήσεων, τοποθετεί το πώμα.



Σχ. 5.5.3 Βιδωτική κεφαλή της AroI⁽¹¹⁾



Σχ. 5.5.4 Βιδωτική κεφαλή⁽¹¹⁾

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν κάποιες κατασκευαστικές λεπτομέρειες των βιδωτικών κεφαλών. Με σκοπό να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για οποιοδήποτε πώμα, δίνουν τη δυνατότητα να ελεγχθεί με ακρίβεια η κάθετη δύναμη που εξασκείται, καθώς και η μέγιστη ροπή που θα εφαρμοστεί κατά το βίδωμα του πώματος στη φιάλη. Η κάθετη δύναμη μπορεί εύκολα να ελεγχθεί, αλλάζοντας το ελατήριο Β (Σχ. 5.5.4) αφού η κάθετη μετατόπιση της κεφαλής σε σχέση με τη φιάλη παραμένει σταθερή. Η μέγιστη ροπή ρυθμίζεται από την απόσταση των δίσκων Μ (Σχ. 5.5.4). Ο ένας δίσκος είναι σταθερά τοποθετημένος στο σώμα της κεφαλής, ενώ ο άλλος είναι στηριγμένος στο ελεύθερα περιστρεφόμενο τμήμα που συγκρατεί το πώμα Ε (Σχ. 5.5.4). Οι δύο δίσκοι φέρουν περιφερειακά φυσικούς κυλινδρικούς μαγνήτες. Οι μαγνήτες σε κάθε δίσκο είναι τοποθετημένοι με τους πόλους κατακόρυφα και εναλλάξ (S-N-S-N). Λόγω της ελκτικής δύναμης που αναπτύσσεται μεταξύ των ετερόνυμων πόλων των δύο δίσκων, καθώς η κεφαλή περιστρέφεται συμπαρασύρει το περιστρεφόμενο τμήμα που συγκρατεί το πώμα. Όταν η ροπή που αναπτύσσεται ξεπεράσει κάποιο προκαθορισμένο ποσό, η ελκτική δύναμη μεταξύ των δίσκων αδυνατεί να την μεταφέρει και η περιστροφή σταματάει.⁽¹¹⁾

5.6 Ετικετοποίηση

Κατά την παραγωγική διαδικασία, η μεταφορά του προϊόντος από την μια μηχανή στην επόμενη, για περαιτέρω κατεργασία, γίνεται με μεταφορικούς ταινιόδρους. Οι ταινιόδροι αποτελούνται από τις μεταφορικές ταινίες και το σώμα που φέρει τους οδηγούς των ταινιών και των προϊόντων. Οι μεταφορικές ταινίες διατίθενται σε πλήθος τύπων και μεγεθών. Για μικρά και ελαφριά προϊόντα (π.χ. φιάλες 1,5lt), που πρέπει να μεταφέρονται γρήγορα και χωρίς αναταράξεις (καθώς έχουν υψηλό κέντρο βάρους και ανατρέπονται εύκολα), χρησιμοποιούνται υδρολίπαντες αρθρωτές πλαστικές ταινίες. Η κινητήρια ισχύς παρέχεται από ζεύγη ηλεκτροκινητήρων – μειωτήρων, των οποίων η ταχύτητα ρυθμίζεται από ελεγκτές στροφών (inverters). Κατά τον σχεδιασμό των ταινιόδρων προβλέπεται η ομαλή ροή των προϊόντων, ενώ αποφεύγονται συσσωρεύσεις που μπορούν να παραμορφώσουν το προϊόν. Επίσης, ταινιόδροι μεγάλων αποστάσεων χωρίζονται σε μικρότερα κομμάτια, για να αποφεύγεται η ανάπτυξη μεγάλων δυνάμεων λόγω τριβής στις αρθρώσεις της ταινίας. Οι μεγαλύτερες δυνάμεις αναπτύσσονται όταν η ροή του προϊόντος σταματάει, ενώ ο ταινιόδρος συνεχίζει να κινείται. Με κατάλληλες διατάξεις είναι εφικτή η εύκολη αλλαγή της ροής του προϊόντος, ώστε οι διάφορες μηχανές της μονάδας να συνδέονται μεταξύ τους ποικιλοτρόπως, ανάλογα με την επιθυμητή κατεργασία.



Σχ. 5.6.1 Σύμπλεγμα ταινιόδρων μεταφοράς

Η γεμάτη και σφραγισμένη φιάλη, μέσω μεταφορικών ταινιόδρων, μεταφέρεται στη μηχανή ετικετοποίησης (Σχ. 5.6.2) όπου και τοποθετείται η ετικέτα. Η ετικέτα αποτελεί την ταυτότητα του προϊόντος, αλλά και μέσο αυτοπροβολής. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές ετικετοποίησης ανάλογα με το σχήμα και το υλικό του δοχείου συσκευασίας. Για γυάλινα δοχεία και φιάλες χρησιμοποιείται η τεχνική της υδατοδιάλυτης «κρύας κόλλας», ώστε η ετικέτα να απομακρύνεται εύκολα με ζεστό νερό και η φιάλη να μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί. Σε δοχεία πολύπλοκου σχήματος και δοχεία μεγάλου στομίου συνηθίζεται να χρησιμοποιείται αυτοκόλλητη ετικέτα.



Σχ. 5.6.2 Μηχανή ετικετοποίησης Kosme⁽¹²⁾

Στην περίπτωση κυλινδρικών φιαλών από PET ή PVC, όπου συνήθως εμφιαλώνονται νερό και αναψυκτικά, χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο η τεχνική της «θερμόρευσης κόλλας» (Hot melt labelling). Οι μηχανές ετικετοποίησης θερμόρευσης κόλλας είναι περιστροφικές μηχανές με δυναμικότητα που φτάνει και τις 180.000 φιάλες / ώρα. Η κόλλα θερμαίνεται με αντιστάσεις στους 130-150° C, οπότε και αποκτά παχύρρευστη μορφή. Με την βοήθεια μιας γραναζωτής αντλίας η κόλλα περιβρέχει έναν κύλινδρο σιλικόνης με πλάτος όσο το πλάτος της επιθυμητής εναπόθεσης. Μια ξύστρα αναλαμβάνει να απομακρύνει την πλεονάζουσα κόλλα και να διατηρεί ένα φιλμ σταθερού πάχους στον κύλινδρο σιλικόνης.



Σχ. 5.6.3 Εσωτερικό μηχανής ετικετοποίησης Kosme⁽¹²⁾

Ο κύλινδρος σιλικόνης (Σχ. 5.6.3 με κόκκινο χρώμα) εναποθέτει ένα λεπτό στρώμα κόλλας στη πλευρά της φιάλης, με ύψος όσο το ύψος της ετικέτας, πλάτος μερικών εκατοστών (2-3 cm) και πάχος μερικών μμ. Οι φιάλες μεταφέρονται επάνω σε περιστρεφόμενες πλατφόρμες, εκτελώντας μια πλανητική και μια δορυφορική περιστροφή. Καθώς η φιάλη περνά μπροστά από την αποθήκη ετικετών, λόγω της εναπόθεσης κόλλας, αποσπά την πρώτη ετικέτα η οποία κατά την περιστροφή της φιάλης τυλίγεται γύρω από αυτή. Οι ετικέτες μπορεί να είναι χάρτινες, πλαστικές ή και μεταλλικές, χωρίς αυτό να αλλάζει ριζικά τη γενική φιλοσοφία της ετικετοποίησης. Τα τελευταία χρόνια μεγάλη εφαρμογή έχουν βρει οι εναλλάξιμες (modular) μηχανές ετικετοποίησης, οι οποίες διαθέτουν σταθμούς κρύας και θερμής κόλλας και μπορούν με απλές παρεμβάσεις να εφαρμόσουν οποιαδήποτε μέθοδο επιθυμεί ο χειριστής.

5.7 Συσκευασία ετοιμού προϊόντος

Σε μια βιομηχανική μονάδα εμφιάλωσης, μόνο μια γεμιστική μηχανή υψηλής ταχύτητας μπορεί να παράγει αρκετές χιλιάδες φιαλών ανά ώρα. Το προϊόν αυτό θα πρέπει να συσκευαστεί και να παλετοποιηθεί πριν φτάσει στον καταναλωτή. Την διαδικασία της συσκευασίας και παλετοποίησης αναλαμβάνουν να φέρουν σε πέρας εξειδικευμένες πλήρως αυτοματοποιημένες μηχανές.

Οι επικρατέστερες τεχνικές συσκευασίας είναι :

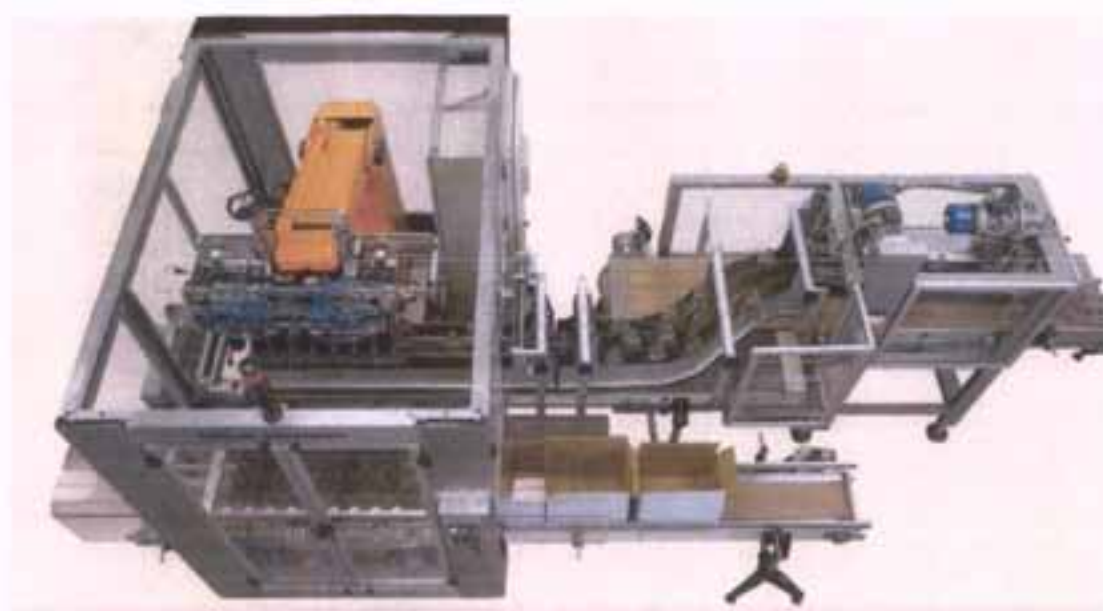
- Σε χάρτινο κιβώτιο
- Σε θερμοσυρρικνούμενο film

Η συσκευασία σε χάρτινο κιβώτιο είναι περισσότερο διαδεδομένη στην διαδικασία εμφιάλωσης γυάλινων φιαλών, καθώς το χαρτόνι έχει την ιδιότητα απόσβεσης ανεπιθύμητων κραδασμών κατά τη μεταφορά. Στην εμφιάλωση PET φιαλών υφίσταται ακόμη μόνο από το πλεονέκτημα, έναντι της τεχνικής συσκευασίας με θερμοσυρρικνούμενο film, της προστασίας του προϊόντος από τον ήλιο. Πολύ πρόσφατα όμως, παρουσιάστηκε ένας καινούργιος τύπος film με αντηλιακή «μάσκα», που εκτοπίζει ακόμη περισσότερο την χρήση χάρτινης συσκευασίας. Η συσκευασία σε χάρτινο κιβώτιο διακρίνεται σε τρία στάδια.



Σχ. 5.7.1 Μηχανή σχηματισμού κιβωτίου Keber ⁽¹⁵⁾

Στο πρώτο στάδιο, το επίπεδο πρόπλασμα ανοίγεται και με εκτόξευση ρευστής κόλλας σταθεροποιείται ο πυθμένας του κιβωτίου. Οι μηχανές πρώτου σταδίου, ουσιαστικά παράγουν ανοικτά στο επάνω μέρος κιβώτια.



Σχ. 5.7.2 Μηχανή εγκιβωτισμού Keber ⁽¹⁵⁾

Τα ανοικτά κιβώτια οδηγούνται από μεταφορικές ταινίες στο δεύτερο στάδιο που ονομάζεται εγκιβωτισμός (Σχ. 5.7.2). Κατά τον εγκιβωτισμό ρομπωτικοί βραχίονες αναλαμβάνουν την τοποθέτηση των φιαλών στα ήδη σχηματισμένα κιβώτια. Διατίθενται πολλοί μηχανισμοί συγκράτησης των φιαλών ανάλογα με το σχήμα και το βάρος του προϊόντος.

Τέλος μετά τον εγκιβωτισμό η «κλειστική» μηχανή αναλαμβάνει να σφραγίσει το γεμάτο πλέον κιβώτιο, που θα οδηγηθεί πλέον προς τον παλετοποιητή.



Σχ. 5.7.3 Μηχανή θερμοσυρρίκνωσης Kettner ⁽¹⁶⁾

Η τεχνική της συσκευασίας σε θερμοσυρρικνούμενο film τείνει να εκτοπίσει εντελώς τη συσκευασία PET φιαλών σε χάρτινο κιβώτιο. Αυτό οφείλεται κυρίως στο αισθητά χαμηλότερο κόστος, αλλά και σε ορισμένα χρηστικά πλεονεκτήματα. Για παράδειγμα το film σε αντίθεση με το χαρτόνι δεν επηρεάζεται από την υγρασία, είναι πιο ανθεκτικό και πιο εμφανίσιμο.

Η χρήση θερμοσυρρικνούμενου film επέτρεψε να φτάνουν στη λιανική πώληση εύχρηστες συσκευασίες τεσσάρων ή έξι φιαλών με ενσωματωμένη ανάρτηση (χεράκι), μέσω των οποίων πλέον διακινείται το μεγαλύτερο μέρος των PET φιαλών νερού ή αναψυκτικών. Κατά τη διαδικασία της συσκευασίας με film (Σχ. 5.7.3) οι φιάλες διαχωρίζονται σε ομάδες των 4, 6, 12 ή 24, ανάλογα με το επιθυμητό δέμα. Στη συνέχεια το δέμα τυλίγεται με film πάχους 60 – 120 μm, αναλόγως με το βάρος του δέματος και οδηγείται στο φούρνο θερμοσυρρίκνωσης. Κατά το πέρασμα από τον φούρνο που βρίσκεται σε θερμοκρασία 160 - 200 °C, το film συρρικνώνεται σφίγγοντας το δέμα. Το πέρασμα από τον φούρνο θερμοσυρρίκνωσης διαρκεί από 7 – 12 sec. Στη συνέχεια το δέμα κατευθύνεται προς τον παλετοποιητή.



Σχ. 5.7.4 Παλετοποιητής Acmi⁽¹⁷⁾

Ο παλετοποιητής αναλαμβάνει να τοποθετήσει το έτοιμο προϊόν σε ξύλινες ή πλαστικές παλέτες, οπότε και να μπορεί πλέον να διακινηθεί εύκολα και μαζικά. Στους παλετοποιητές διακρίνονται οι σταθμοί διαμόρφωσης (ακίνητο μέρος), όπου και σχηματίζεται η κάθε στρώση και το φορείο μεταφοράς (κινητό μέρος) που τοποθετεί την στρώση επάνω στην παλέτα. Μόλις ολοκληρωθεί ο σχηματισμός της παλέτας, τυλίγεται με εκτατό film (stretch film) που σταθεροποιεί και προστατεύει τα προϊόντα και απομακρύνεται από τον χώρο παραγωγής με την βοήθεια περονοφόρων οχημάτων.

6.1 Κύκλωμα τροφοδοσίας αέρα υψηλής πίεσης

6.1.1 Γενικά

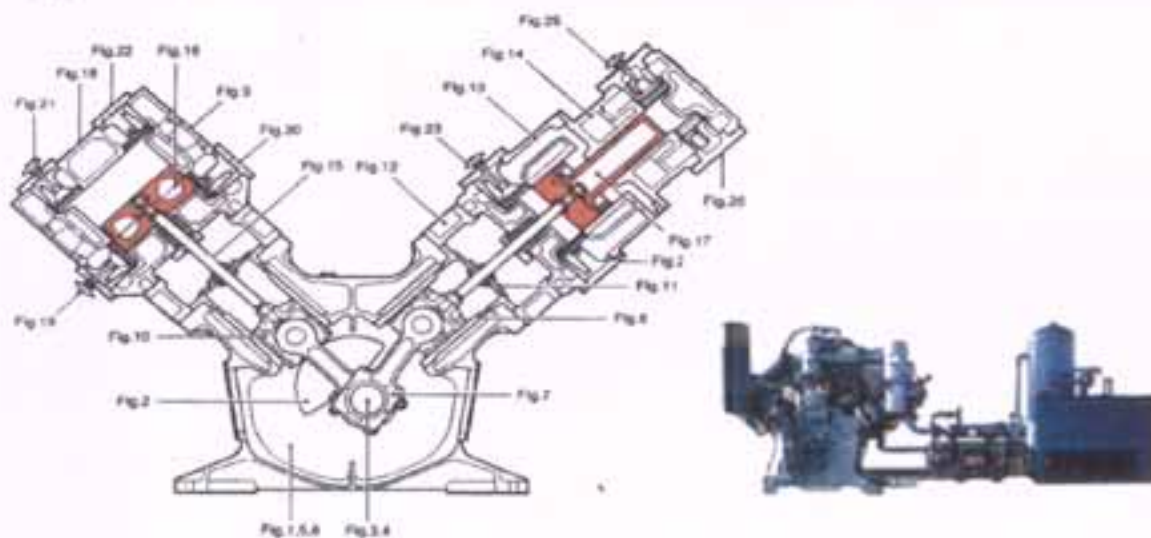
Οι βιομηχανίες τροφίμων και φαρμάκων, όταν σε κάποια στάδια της παραγωγής χρησιμοποιούν πεπιεσμένο αέρα ο οποίος έρχεται σε άμεση επαφή με το προϊόν, πρέπει να εξασφαλίσουν ότι ο αέρας αυτός δεν περιέχει υγρασία, ξένα σωματίδια και μικρόβια προερχόμενα από τον ατμοσφαιρικό αέρα, καθώς και σταγονίδια λαδιού από τη λειτουργία του αεροσυμπιεστή.

Για μικρές καταναλώσεις χρησιμοποιούνται κλασικοί εμβολοφόροι ή κοχλιοφόροι αεροσυμπιεστές οι οποίοι παράγουν αέρα, απαλλαγμένο από ανεπιθύμητα σωματίδια, μετά από την επεξεργασία του σε μια διάταξη διαχωριστή υγρασίας, ξηραντήρα και φίλτρων.

Σε περιπτώσεις όμως μεγάλων απαιτήσεων, κυρίως για οικονομικούς λόγους, χρησιμοποιούνται κατά κανόνα εμβολοφόροι αεροσυμπιεστές που λειτουργούν με oil-free τεχνολογία, κατά την οποία το σύστημα εμβόλου-κυλίνδρου λειτουργεί χωρίς λίπανση. Η λειτουργία ενός τέτοιου αεροσυμπιεστή και η τυπική διάταξη επεξεργασίας πεπιεσμένου αέρα θα αναπτυχθεί παρακάτω.

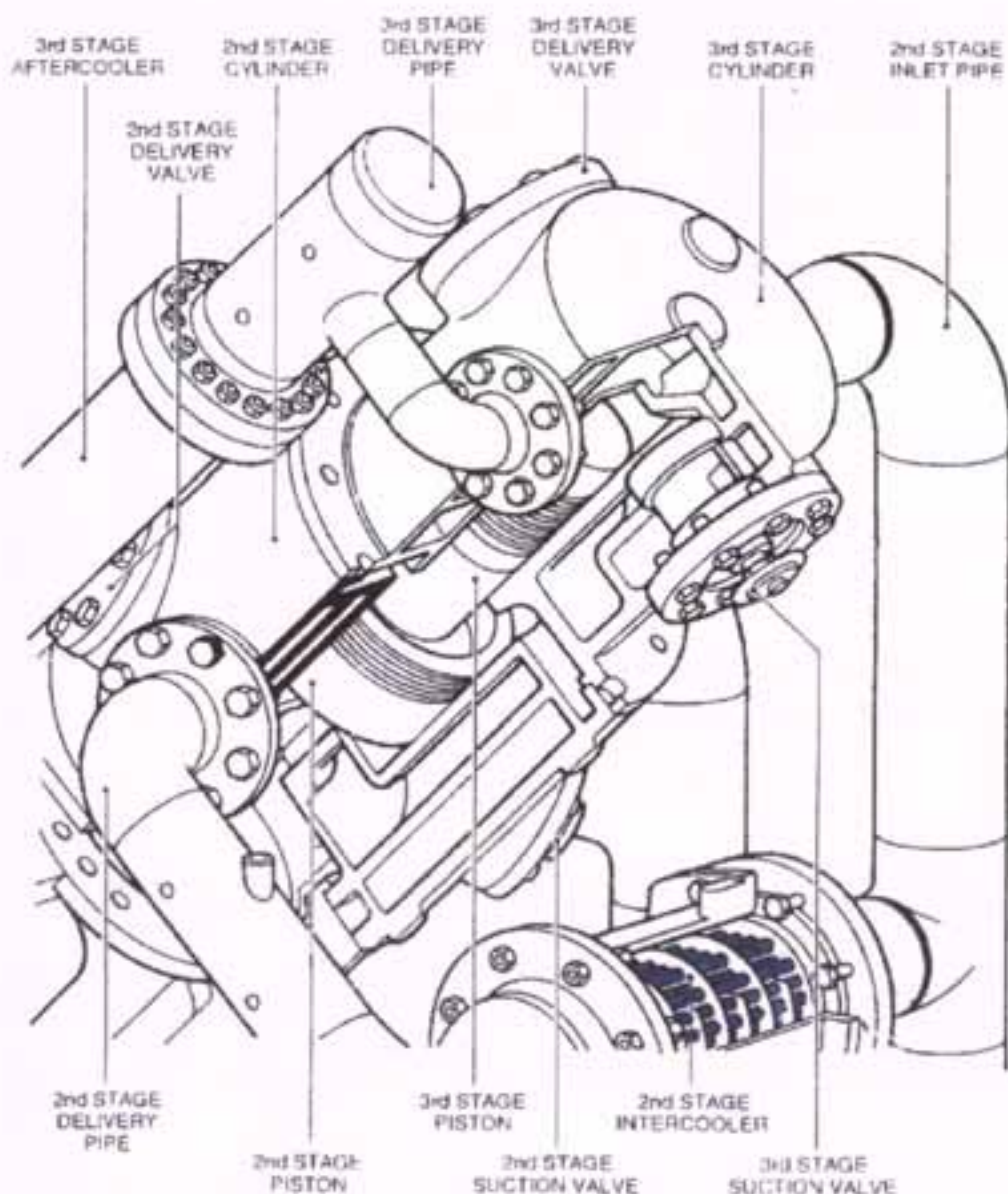
6.1.2 Στοιχεία και λειτουργία αεροσυμπιεστή

Οι βιομηχανίες εμφιάλωσης σε PET επί το πλείστον χρησιμοποιούν εμβολοφόρους oil-free αεροσυμπιεστές τριών σταδίων, σχήματος V, για να καλύψουν τις υψηλές απαιτήσεις σε «καθαρό» πεπιεσμένο αέρα των μηχανών εμφύσησης. Ενδεικτικά, μια μηχανή εμφύσησης δυναμικότητας 19.000 φιαλών 1,5lt ανά ώρα, καταναλώνει 260 m³/h αέρα σε πίεση 7 bar και 1500 m³/h αέρα σε πίεση 35 bar. Ένα κλασικό και αξιόπιστο μοντέλο αυτού του τύπου είναι ο αεροσυμπιεστής VH18H3N της Belliss&Morcom (Σχ.6.1.2.1).⁽¹⁾



Σχ. 6.1.2.1 Ο αεροσυμπιεστής VH18H3N

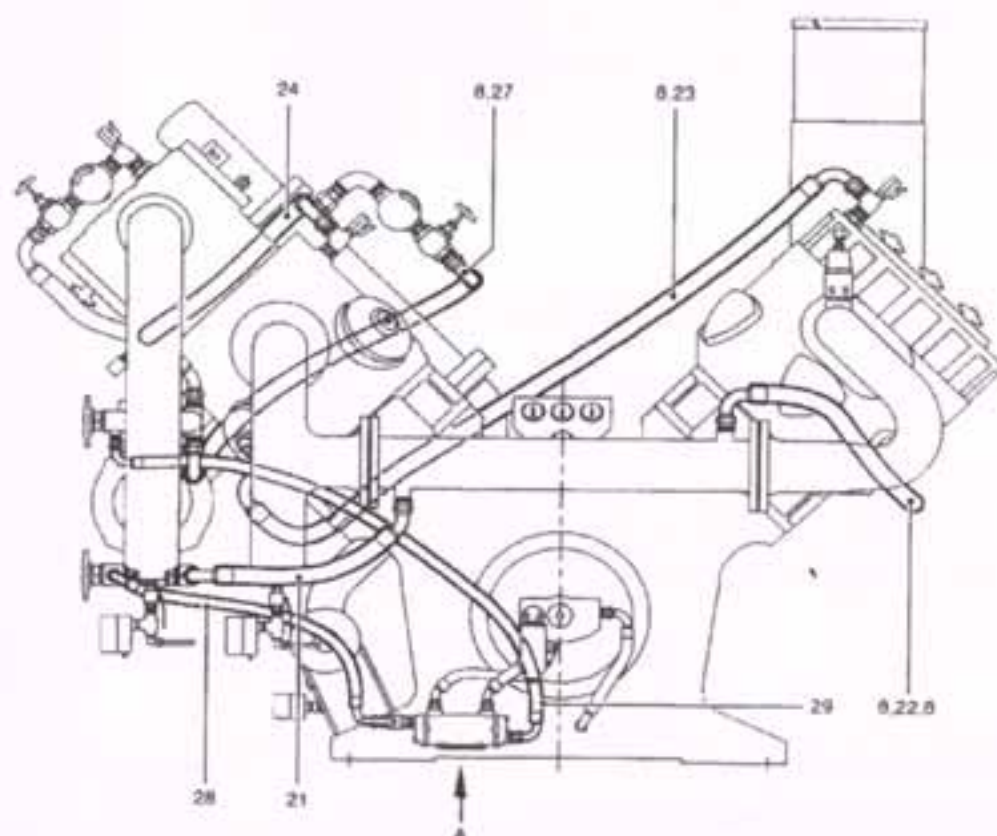
Η περιστροφική κίνηση που λαμβάνεται από ένα ασύγχρονο ηλεκτροκινητήρα ισχύος 260 KW, μεταβάλλεται μέσω ενός στροφαλοφόρου άξονα (Fig 3,4 Σχ. 6.1.2.1) και των διωστήρων (Fig 7) σε παλινδρομική. Οι διωστήρες οδηγούν τα ζυγώματα (Fig 10) στις ευθυντηρίες (γλίστρες) (Fig 8) που είναι διαμορφωμένες στο σώμα του συμπιεστή. Τα ζυγώματα μέσω των συνδετικών ράβδων (Fig 15 Σχ. 6.1.2.1) μεταδίδουν την παλινδρομική κίνηση στα έμβολα. Το έμβολο του πρώτου σταδίου (Fig 16) έχει και τη μεγαλύτερη διάμετρο, ενώ αυτή μικραίνει βαθμιαία για τα έμβολα του δευτέρου και του τρίτου σταδίου (Fig 17) που είναι μάλιστα ενωμένα μεταξύ τους. Το περίβλημα (Fig 11 Σχ. 6.1.2.1) φέρει αποξεστήρες που εμποδίζουν την εισροή του λαδιού που περιβρέχει τον στροφαλοθάλαμο του συμπιεστή στον χώρο των κυλίνδρων.⁽¹⁾



Σχ 6.1.2.2 Τομή των κυλίνδρων 2^{ου} και 3^{ου} σταδίου

Ο αέρας εισέρχεται δι' αναρροφήσεως από την ατμόσφαιρα, μέσω της βαλβίδας αναρροφήσεως, στον κύλινδρο του 1^{ου} σταδίου και συμπιέζεται περίπου στα 3,5 bar. Η θερμότητα που παράγεται από τη συμπίεση απομακρύνεται εν μέρει από έναν υδρόψυκτο διαψυκτήρα (intercooler) που βρίσκεται στον αγωγό εξόδου. Ο ψυχρός αέρας ρέει προς την είσοδο του κυλίνδρου του 2^{ου} σταδίου, αφού προηγουμένως έχει απομακρυνθεί οποιαδήποτε υγρασία, που υγροποιήθηκε κατά την ψύξη από έναν αυτόματο διαχωριστή τοποθετημένο στο χαμηλότερο σημείο του αγωγού εξόδου. Στον κύλινδρο του 2^{ου} σταδίου ο αέρας συμπιέζεται στα 15 bar περίπου και αφού περάσει από τον διαψυκτήρα (2nd stage intercooler, Σχ 6.1.2.2) εισέρχεται στον κύλινδρο του 3^{ου} σταδίου, όπου και αποκτά την τελική πίεση των 35 bar.

Η θερμοκρασία του αέρα στην έξοδο του κυλίνδρου του 3^{ου} σταδίου φτάνει τους 110°C. Ένας μεταψύκτης (3rd stage aftercooler, Σχ 6.1.2.2) αναλαμβάνει να κατεβάσει τη θερμοκρασία στους 45°C.



Σχ. 6.1.2.3 Εξωτερικό δίκτυο τροφοδοσίας ψυχρού ύδατος

Ένα κλειστό κύκλωμα σωληνώσεων (Σχ. 6.1.2.3) στο εξωτερικό του αεροσυμπιεστή αναλαμβάνει, μέσω μίας φυγοκεντρικής αντλίας, τη μεταφορά νερού ως ψυκτικού μέσου στους εναλλάκτες (intercooler) που βρίσκονται στους αγωγούς εξόδου των κυλίνδρων, σε έναν εναλλάκτη (A Σχ. 6.1.2.3) που ψύχει το λάδι που λιπαίνει τον στροφαλοθάλαμο και στα σώματα των κυλίνδρων.

Το σώμα των κυλίνδρων του αεροσυμπιεστή είναι κατασκευασμένο από χυτοσίδηρο με κατεργασμένες μόνο τις επιφάνειες συναρμογής. Έχουν διπλά τοιχώματα εκ των οποίων το εσωτερικό διαρρέεται από το ψυκτικό μέσο, ενώ το εξωτερικό διαιρείται σε θαλάμους που συνδέονται μέσω αυλών με τους θαλάμους συμπίεσης των κυλίνδρων και φιλοξενούν τις βαλβίδες αναρρόφησης και διανομής.

Το νερό του κυκλώματος ψύχεται σε πύργους ψύξεως που λειτουργούν με καταιονισμό και φτάνει τους 18-25°C ανάλογα με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Στα κλειστά κυκλώματα ψύξεως για να αποφευχθούν φαινόμενα διάβρωσης, λόγω κυρίως του ενεργού οξυγόνου και επικαθίσεις αλάτων, ενίοτε χρησιμοποιείται «μαλακό» νερό. Επειδή όμως αποτελεί μια δαπανηρή εφαρμογή, συνήθως από τη βιομηχανία, χρησιμοποιείται νερό δικτύου με κάποιο αδρανοποιητικό πρόσθετο σε ορισμένη αναλογία.

Τα έμβολα των oil-free αεροσυμπιεστών κατασκευάζονται από αλουμίνιο και φέρουν δαχτυλίδια συμπίεσης από μείγμα 15% ανθρακονήματα, 5% γυαλί και PTFE (τεφλόν). Το υλικό αυτό χαρακτηρίζεται από υψηλή μηχανική αντοχή, αντοχή σε χημικά και θερμοκρασία και χαμηλό συντελεστή τριβής.



Σχ. 6.1.2.4 Δαχτυλίδια εμβόλων

6.1.3 Τυπική διάταξη επεξεργασίας πεπιεσμένου αέρα

Ο ατμοσφαιρικός αέρας που συμπιέζεται με οποιοδήποτε τύπο αεροσυμπιεστή περιέχει υδατμούς, μικρόβια και ρύπους. Για παράδειγμα ένας αεροσυμπιεστής 50 hp με παροχή 5.500 lt/h, σε πίεση 7 bar, θερμοκρασία περιβάλλοντος 25°C και υγρασία 70%, απορροφά 6 lt/h νερό με τη μορφή υδατμών. Μετά τη συμπίεση οι υδατμοί αυτοί σχηματίζουν σταγονίδια νερού που αν δεν απομακρυνθούν με τη βοήθεια ειδικών συσκευών, με τη γενική ονομασία «ξηραντές», καταλήγουν στο δίκτυο.

Η υγρασία αυτή, γενικά για τη βιομηχανική χρήση, είναι αιτία για :

- Φθορές και διάβρωση των μηχανημάτων που χρησιμοποιούν πεπιεσμένο αέρα
- Υψηλότερο κόστος συντήρησης, περισσότερες βλάβες και χαμένες ώρες παραγωγής
- Ελαττωματικά και χαμηλής ποιότητας προϊόντα

Στη βιομηχανία τροφίμων, στη περίπτωση που χρησιμοποιείται πεπιεσμένος αέρας σε άμεση επαφή με το προϊόν, εκτός των παραπάνω λόγων, απαιτείται να είναι και απαλλαγμένος και από μικρόβια, ρύπους και σκόνη που περιέχονται στην ατμόσφαιρα. Μία τυπική διάταξη επεξεργασίας που παράγει αποστειρωμένο και ξηρό αέρα φαίνεται στο σχήμα 6.1.3.1



1. Αεροσ/αστής 2. Μεταψύκτης 3. Διαχωριστής 4. Αεροφυλάκιο 5. Αυτόματη αφυδάτωση 6. Φίλτρο QF 7. Ξηραντής 8. Φίλτρο PF 9. Φίλτρο HF 10. Φίλτρο CF 11. Διαχωριστής νερού - λαδιού

Σχ. 6.1.3.1 Τυπική διάταξη επεξεργασίας

Αναλυτικά οι συσκευές είναι οι εξής :

1. Αεροσυμπιεστής

Όπως αναφέρεται στο παραπάνω κεφάλαιο 6.1.2, χρησιμοποιείται εμβολοφόρος αεροσυμπιεστής oil-free (μη λιπαινόμενων εμβόλων), ο οποίος τροφοδοτεί το κύκλωμα με αέρα απαλλαγμένο κατά 20-30 % από υδατμούς που υγροποιήθηκαν στους διαψυκτήρες των αγωγών εξόδων των κυλίνδρων.

2. Μεταψύκτης

Ο μεταψύκτης (Σχ. 6.1.3.2) χρησιμοποιείται για την πρόψυξη του πεπιεσμένου αέρα. Τοποθετείται μετά τον αεροσυμπιεστή και πριν τον διαχωριστή. Ψύχει τον πεπιεσμένο αέρα με ρεύμα αέρα του περιβάλλοντος και δημιουργεί συμπυκνώματα τα οποία συγκεντρώνονται και διαχωρίζονται στον διαχωριστή. Ο μεταψύκτης είναι χρήσιμο να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τους ξηραντές (τοποθετούνται πριν απ' αυτούς), επειδή τους τροφοδοτεί με αέρα χαμηλότερης θερμοκρασίας και περιεκτικότητας σε υγρασία, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται ομαλότερη λειτουργία, εξοικονόμηση εξόδων συντήρησης και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των ξηραντών.⁽²⁾



Σχ.6.1.3.2 Μεταψύκτης

3. Διαχωριστής

Ο διαχωριστής με ισχυρή φυγοκέντριση, που δημιουργείται από το ίδιο το ρεύμα του πεπιεσμένου αέρα, διαχωρίζει την υγρασία που έχει συμπυκνωθεί στον μεταψύκτη με ακρίβεια 99,5 %. Μια αυτόματη βαλβίδα αποστράγγισης τοποθετημένη στον πυθμένα του διαχωριστή αναλαμβάνει την απομάκρυνση των συμπυκνωμάτων. Ο συνδυασμός μεταψύκτη - διαχωριστή τοποθετούνται πριν το αεροφυλάκιο προστατεύοντάς το από τη διάβρωση καθώς απομακρύνουν 70 – 80 % της αρχικής υγρασίας.⁽²⁾

4. Αεροφυλάκιο

Κατασκευάζεται από χάλυβα απολύτων προδιαγραφών κατά DIN50049/31B, συνήθως κατακόρυφα, με την εισαγωγή του αέρα σε σημείο αντιδιαμετρικό και χαμηλότερο της εξαγωγής. Ο όγκος του επιλέγεται σύμφωνα με την απόδοση του αεροσυμπιεστή, με τον ρυθμό κατανάλωσης και τις ιδιαιτερότητες της εφαρμογής. Φέρει μανόμετρο πίεσεως, ασφαλιστική βαλβίδα εκτόνωσης και κρουνό αποστράγγισης.⁽²⁾

5. Βαλβίδες αυτόματης αφυδάτωσης

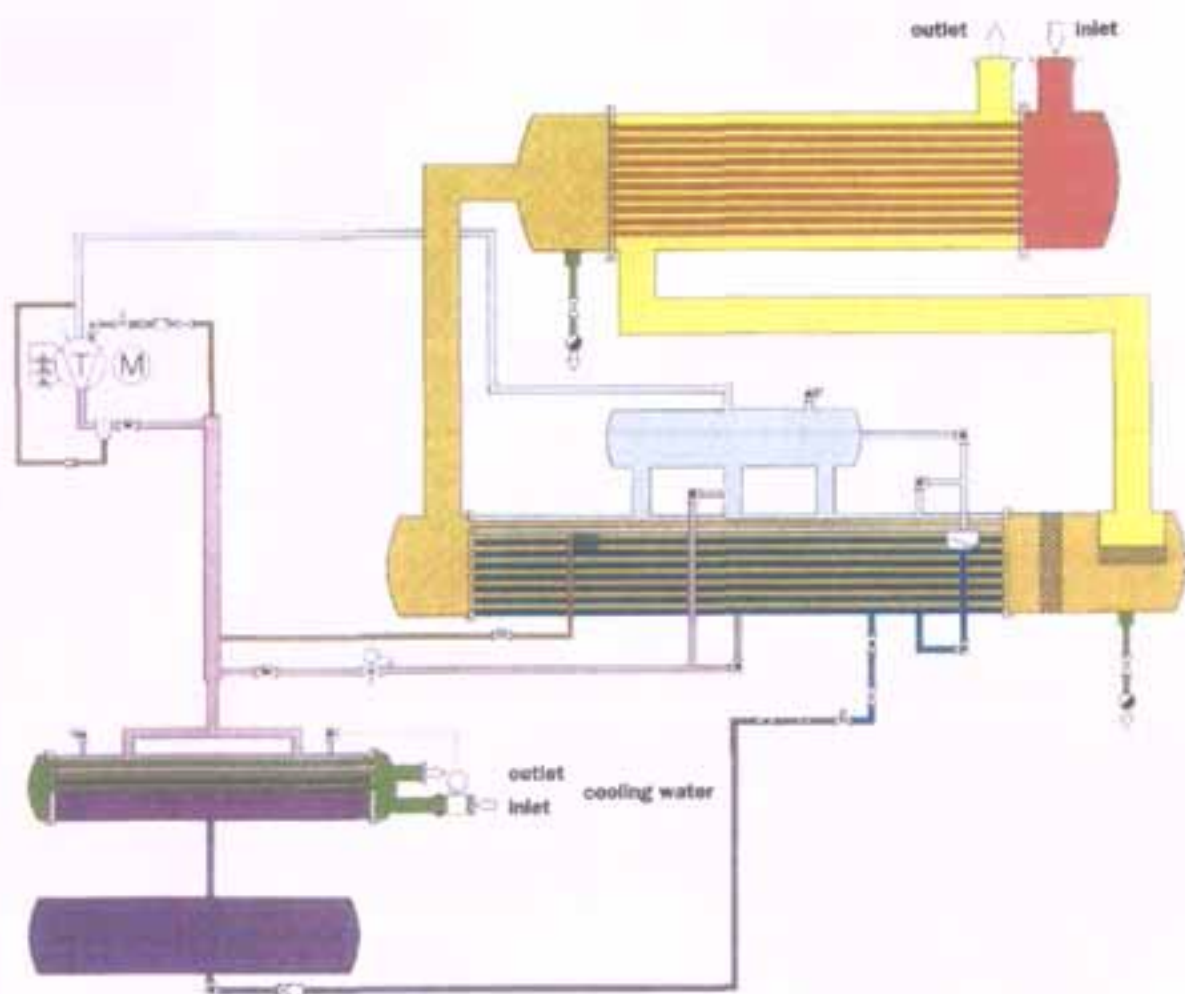
Οι βαλβίδες αυτόματης αφυδάτωσης τοποθετούνται όπου υπάρχει συσσώρευση συμπυκνωμάτων. Προτιμούνται κυρίως δύο τύποι : με χρονοδιακόπτη, όπου ρυθμίζεται η συχνότητα και η διάρκεια της αποστράγγισης ή με φλοτέρ, όπου η βαλβίδα ενεργοποιείται όταν η στάθμη των συμπυκνωμάτων φτάσει κάποιο προκαθορισμένο σημείο. Οι πρώτες είναι πιο οικονομικές, αλλά με τις δεύτερες αποφεύγουμε περιττές απώλειες πεπιεσμένου αέρα.⁽²⁾

6. Κεραμικό φίλτρο τύπου Q

Προστατευτικό φίλτρο για την παρακράτηση σωματιδίων και μείγματος λαδιού – νερού με διάμετρο έως 5 μm . Αποτελεί πρόφιλτρο του ξηραντή και αφαιρεί το 99 % των σωματιδίων με διάμετρο μεγαλύτερη από 5 μm . Αυτόματη βαλβίδα αποστράγγισης τοποθετημένη στον πυθμένα του φίλτρου αφαιρεί την συσσωρευμένη υγρασία. ⁽²⁾

7. Ξηραντής

Στις περιπτώσεις αυξημένων αναγκών σε παροχή ξηρού πεπιεσμένου αέρα χρησιμοποιούνται κατά κανόνα ξηραντές διπλού εναλλάκτη, αέρος – αέρος και αέρος – Freon. Με αυτοελεγχόμενο και οικονομικό ψυκτικό μηχανισμό ψύχουν τον αέρα στους $+2^{\circ}\text{C}$ έως $+3^{\circ}\text{C}$, δημιουργώντας έτσι συνθήκες γρήγορης συμπύκνωσης της υγρασίας την οποία οδηγεί σε διαχωριστή και αυτόματη βαλβίδα αποστράγγισης. Η εγκατάσταση πρέπει να λειτουργεί σε δροσερό χώρο. Ένα αντιπροσωπευτικό μοντέλο αυτού του τύπου ξηραντών είναι ο LW33 της Denco, του οποίου τα στοιχεία και η λειτουργία θα αναπτυχθεί παρακάτω. ⁽³⁾



Σχ. 6.1.3.3 Διάγραμμα ροής του ξηραντή LW33 της Denco. ⁽³⁾

Στους ξηραντές διπλού εναλλάκτη ο προς αφύγρανση αέρας εισέρχεται στο πρώτο κέλυφος του εναλλάκτη αέρος – αέρος, όπου ο «υγρός» εισερχόμενος αέρας (inlet Σχ. 6.1.3.3) ψύχεται από την ανταλλαγή θερμότητας με τον ήδη παγωμένο ξηρό εξερχόμενο αέρα (outlet Σχ.6.1.3.3) που διαρρέει τον εναλλάκτη πριν την έξοδό του.

Στη συνέχεια με μειωμένη την αρχική θερμοκρασία εισόδου, ο «υγρός» αέρας εισέρχεται στο δεύτερο κέλυφος του εναλλάκτη αέρος – Freon, όπου η θερμοκρασία του μειώνεται περαιτέρω στους $+2^{\circ}\text{C}$ έως $+3^{\circ}\text{C}$ λόγω της ανταλλαγής θερμότητας με το Freon που διαρρέει σε χαμηλή θερμοκρασία τη σερπαντίνα του εξατμιστή. Κατά τη διάρκεια της πτώσης της θερμοκρασίας η υγρασία που περιέχεται στον αέρα υγροποιείται και διαχωρίζεται απ' αυτόν. Στη συνέχεια απομακρύνεται από το σύστημα αποστράγγισης. Ο ψυχρός και ξηρός πλέον αέρας κατευθύνεται προς την έξοδο δια μέσου του πρώτου κελύφους του εναλλάκτη αέρος – αέρος, και ο κύκλος ξαναρχίζει.

Το κύκλωμα ψύξεως χρησιμοποιεί το Freon R22, το οποίο είναι φιλικό προς το περιβάλλον και λειτουργεί με τις αρχές της ψύξεως με συμπίεση των ατμών του ψυκτικού μέσου. Περιλαμβάνει έναν ερμητικά κλειστό συμπιεστή, έναν εξατμιστή αμέσου διαστολής, έναν υδρόψυκτο διαψυκτήρα και μια αυτόματη βαλβίδα πίεσης. Στο σύστημα συμπίεσης ατμού το ψυκτικό μέσο ζέει μέσα στον εξατμιστή (που βρίσκεται στο δεύτερο κέλυφος του εναλλάκτη αέρος – Freon) σε αρκετά χαμηλή θερμοκρασία, ώστε να απορροφά θερμότητα από το ψυχόμενο μέσο. Η θερμοκρασία ζέσης ρυθμίζεται μέσω της συντηρούμενης στο εσωτερικό του εξατμιστή πίεσης, καθώς όσο υψηλότερη είναι η πίεση τόσο υψηλότερο είναι και το σημείο ζέσης. Ο συμπιεστής (με σύμβολο M στο Σχ. 6.1.3.3) απάγει τον ατμό, καθώς αυτός σχηματίζεται, με αρκετά ταχύ ρυθμό για την διατήρηση της επιθυμητής πίεσης. Κατόπιν αυτός ο ατμός συμπιέζεται και διοχετεύεται στον συμπυκνωτή. Ο συμπυκνωτής διαχέει τη θερμότητα σε κύκλωμα κυκλοφορίας νερού (inlet-outlet cooling water Σχ. 6.1.3.3). Το συμπύκνωμα του ψυκτικού μέσου, έτοιμο πλέον προς χρήση στον εξατμιστή, υφίσταται κατόπιν απότομο υποβιβασμό πίεσης διερχόμενο μέσω βαλβίδας εκτόνωσης. Εδώ η πίεση και η θερμοκρασία του ψυκτικού ελαττώνονται μέχρι να φτάσουν την πίεση και τη θερμοκρασία του εξατμιστή, επιτρέποντας έτσι την επανάληψη του κύκλου.

Κατά την εκτόνωση, μέρος του ψυκτικού ατμοποιείται ακαριαία με συνέπεια να εισέρχεται στον εξατμιστή μίγμα υγρού και ατμού. Η υποπίεση στον εξατμιστή καθορίζεται από τη προς συντήρηση θερμοκρασία ψύξης. Η συντηρούμενη στον συμπυκνωτή υψηλή πίεση καθορίζεται τελικώς από την θερμοκρασία του κυκλοφορούντος στο κύκλωμα νερού. Η διεργασία συνίσταται σε απορρόφηση θερμότητας, εκ μέρους του ψυκτικού σε χαμηλή θερμοκρασία, ακολουθούμενη από συμπίεση του ψυκτικού, με κατανάλωση μηχανικού έργου μέσω του συμπιεστή και θέρμανση του σε θερμοκρασία επαρκώς υψηλή, ώστε να επιτρέπει αποβολή αυτής της θερμότητας. Ενδεικτικά ο ξηραντής LW33 της Denco με μέγιστη ροή $30\text{ m}^3/\text{min}$ σε πίεση 48 bar, με θερμοκρασία ψύξης $+2^{\circ}\text{C}$, θερμοκρασία εισόδου του αέρα $+48^{\circ}\text{C}$ και εξόδου $+23^{\circ}\text{C}$, απαιτεί συμπιεστή ισχύος 38 KW.

8. Μικρονικό φίλτρο τύπου P

Ονομάζεται και διαχωριστής λαδιού που παρακρατά στερεά σωματίδια έως 1 μm και σωματίδια λαδιού έως 0,1 μm. Μια βαλβίδα αυτόματης αποστράγγισης αναλαμβάνει την απομάκρυνση των συμπυκνωμάτων. ⁽²⁾

9. Τελικό φίλτρο τύπου H

Παρακρατά στερεά σωματίδια έως 1μm και σωματίδια λαδιού έως 0,01 μm. Ο αέρας που εξέρχεται από το φίλτρο αυτό είναι κατά 99,99 % απαλλαγμένος από λάδι. Πρέπει να χρησιμοποιείται πάντοτε σε συστοιχία με φίλτρο τύπου P. ⁽²⁾



Σχ. 6.1.3.4 Φίλτρα αέρος OMI

10. Φίλτρο ενεργού άνθρακα τύπου C

Το εσωτερικό στοιχείο ενεργού άνθρακα που περιέχει το φίλτρο, συγκρατεί στην επιφάνειά του οσμές, ατμούς λαδιού και μικρόβια που εμπεριέχονται στον ατμοσφαιρικό αέρα. Επειδή η παρουσία λαδιού το καταστρέφει τοποθετείται πάντοτε σε συστοιχία με το τελικό φίλτρο τύπου H και αντικαθίσταται πάντα σε συνδυασμό με το τελικό φίλτρο. Μειώνει την περιεκτικότητα του αέρα σε υδρογονάνθρακες σε 0,003mg/m³. Μετά το φίλτρο ενεργού άνθρακα ο επεξεργασμένος αέρας θεωρείται αναπνεύσιμος. ⁽²⁾

Τα φίλτρα συνήθως φέρουν διαφορικά μανόμετρα που ελέγχουν τις πιέσεις πριν και μετά το στοιχείο, ενημερώνοντας το χρήστη για την ανάγκη αντικατάστασής τους.

Ένα οπτικοακουστικό σύστημα συναγερμού ενεργοποιείται μόλις η πίεση πέσει κάτω από κάποιο κατώτατο όριο, ή ανέβει η θερμοκρασία του νερού του κυκλώματος ψύξης του αεροσυμπιεστή πάνω από κάποιο ανώτατο όριο. Δίνει οπτικό και ηχητικό σήμα alarm σε εμφανές σημείο του εργοστασίου και απενεργοποιείται μόνο μετά την παρέμβαση του υπεύθυνου συντηρητή.

6.2 Κύκλωμα τροφοδοσίας ποσίμου ύδατος

6.2.1 Επεξεργασία ποσίμου ύδατος

Παραδοσιακά, το νερό που χρησιμοποιούνταν για εμφιάλωση ή παραγωγή ποτών ή αναψυκτικών προερχόταν από κάποια κοντινή πηγή ή γεώτρηση. Σήμερα, με την αύξηση του μεγέθους των φιαλών και τις αυξημένες ταχύτητες παραγωγής, απαιτούνται ολοένα και μεγαλύτερες ποσότητες νερού. Αυτό σημαίνει ότι το νερό του αστικού δικτύου ύδρευσης χρησιμοποιείται όλο και συχνότερα.

Η πιο συνηθισμένη επεξεργασία του νερού του δικτύου από τους παρασκευαστές ποτών είναι η χημική επεξεργασία για την απολύμανση του δικτύου της μονάδας παραγωγής και την οξειδωση των μικροοργανισμών που αιωρούνται μέσα σ' αυτό. Επιπλέον επεξεργασίες μπορεί να περιλαμβάνουν την προσθήκη σιδηρούχων αλάτων, ως πυρήνων κροκίδωσης και άσβεστου, για ρύθμιση της αλκαλικότητας. Το επόμενο στάδιο περιλαμβάνει πέρασμα μέσα από φίλτρα άμμου ή σακκόφιλτρα, για τη συγκράτηση των αδιάλυτων στερεών και κατόπιν, μέσα από φίλτρα ενεργού άνθρακα, τα οποία απομακρύνουν το εναπομένον χλώριο καθώς και μερικές χλωριούχες οργανικές ενώσεις. Στην περίπτωση της επεξεργασίας ύδατος προς εμφιάλωση ακολουθούνται διάφορες μέθοδοι μείωσης του μικροβιακού φορτίου.

Το νερό που έχει υποστεί τις παραπάνω επεξεργασίες χρειάζεται περαιτέρω διήθηση για δύο λόγους:

- ✓ Για να απομακρυνθούν μικροσωματίδια (όπως ίνες άνθρακα από τα φίλτρα ενεργού άνθρακα).
- ✓ Για να απομακρυνθούν οι εναπομείναντες μικροοργανισμοί.

6.2.2 Απομάκρυνση μικροσωματιδίων

Υπάρχουν διάφοροι λόγοι που καθιστούν επιβεβλημένη τη διήθηση του νερού που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για εμφιάλωση ή παραγωγή ποτών ή αναψυκτικών:

- Πρώτον, για να επιτευχθεί ικανοποιητική διάλυση του ανθρακικού οξέος στα αεριούχα ποτά. (Όσο περισσότερα μικροσωματίδια απομακρυνθούν, τόσο υψηλότερο θα είναι το ποσοστό διάλυσης.)
- Δεύτερον, για να απομακρυνθούν σωματίδια που μπορεί να φράξουν τα στόμια των γεμιστικών μηχανών.
- Τρίτον, για να παραχθεί ένα διαυγές, "λαμπερό" τελικό προϊόν.

Το πρώτο φίλτρο άμμου ή σακκόφίλτρο θα απομακρύνει την μεγαλύτερη ποσότητα από τα μεγάλα σωματίδια, αλλά μερικά από τα μικρότερα σωματίδια θα περάσουν. Επιπλέον, τόσο τα φίλτρα άμμου όσο και τα φίλτρα ενεργού άνθρακα αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα διηθητικών μέσων μεγάλου βάρους με χαμηλή συνεκτικότητα διηθητικού υλικού.

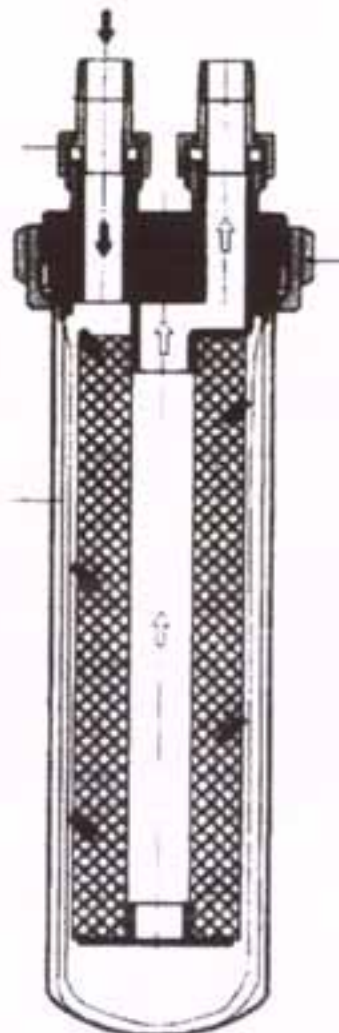


Τέτοια διηθητικά μέσα (που συνήθως αναφέρονται ως *μη απόλυτα*) είναι πολύ ευαίσθητα σε μεταβολές της ροής και της διαφορικής πίεσης. Έτσι, όταν ο ρυθμός ροής ή η διαφορική πίεση αυξηθεί, τότε και το μέγεθος των πόρων του διηθητικού υλικού μπορεί να αυξηθεί, με συνέπεια τα κατακρατηθέντα σωματίδια να απελευθερώνονται. Τέτοιου είδους προβλήματα αντιμετωπίζονται με την τοποθέτηση ενός επιπρόσθετου φίλτρου, μετά από το φίλτρο άμμου ή ενεργού άνθρακα, για την απομάκρυνση των ινών και των σωματιδίων που έχουν απελευθερωθεί.

Τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται σ αυτό το τρίτο στάδιο είναι κάπως διαφορετικά. Κατασκευάζονται από διηθητικά υλικά που όχι μόνο έχουν κάποιο ικανοποιητικό βάθος για αυξημένη ικανότητα συγκράτησης, αλλά και η δομή των πόρων τους είναι δεδομένη και σταθερή. (Συνήθως αναφέρονται ως φίλτρα *απόλυτης συγκράτησης*.)

Σχ. 6.2.2.1 Περίβλημα φίλτρου⁽¹⁸⁾

Αυτό σημαίνει ότι η λειτουργία του φίλτρου δεν επηρεάζεται από μεταβολές της ροής ή της διαφορικής πίεσης και παραμένει σταθερή έως ότου το φίλτρο βουλώσει εντελώς, οπότε και πρέπει να αντικατασταθεί. Τέτοια φίλτρα εξασφαλίζουν την απομάκρυνση μικροσωματιδίων ταυτόχρονα με μεγάλους ρυθμούς ροής (παροχές).⁽¹⁹⁾



Σχ 6.2.2.2 Αρχή λειτουργίας ηθμού⁽²⁰⁾

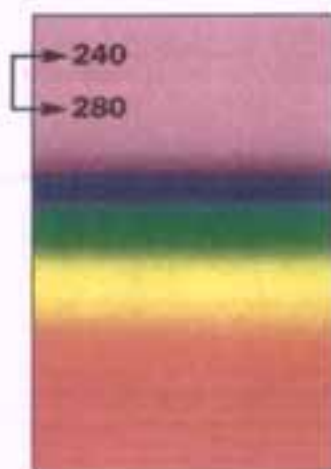
6.2.3 Περιορισμός μικροβιακού φορτίου

Οι ζύμες είναι, φυσικά, οι μικροοργανισμοί που αποτελούν τον μεγαλύτερο κίνδυνο για αλλοιώσεις των (μη αλκοολούχων) ποτών, αν και σε μερικές περιπτώσεις συγκεκριμένα βακτήρια μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά το χρόνο ζωής (shelf-life) των προϊόντων. Οι ίδιοι οι μικροοργανισμοί-δείκτες, όπως αποκαλούνται, (π.χ. *Escherichia coli*) δεν είναι γενικώς επικίνδυνοι, αλλά αποτελούν ένδειξη για την πιθανή ύπαρξη παθογόνων μικροοργανισμών. Ενδεικτικά, υπάρχουν τέσσερις μέθοδοι για τον περιορισμό του μικροβιακού φορτίου του νερού:

- ✓ Θερμική επεξεργασία (π. χ. παστερίωση).
- ✓ Προσθήκη χημικών (χλώριο, όζον κλπ.).
- ✓ Ακτινοβολήση UV.
- ✓ Απόλυτη μικροβιοκρατής διήθηση.

Από αυτές, η πρώτη χρησιμοποιείται σπανίως, λόγω του υψηλού ενεργειακού της κόστους. Η δεύτερη χρησιμοποιείται ευρέως, επειδή τα χημικά είναι εξαιρετικοί απολυμαντικοί και οξειδωτικοί παράγοντες. Δυστυχώς, το χλώριο αντιδρά με άλλες χημικές ουσίες που βρίσκονται στο νερό (όπως διάφορα οργανικά οξέα) σχηματίζοντας τρι-αλο-(μεθάνια (THMs - π. χ. χλωροφόρμιο ή δι-βρωμο-χλωρο-μεθάνιο). Έτσι είναι σημαντική η ύπαρξη ενός φίλτρου ενεργού άνθρακα για την κατακράτηση αυτών των ενώσεων. Η επεξεργασία με όζον (οζονισμός) είναι μία πολύ καλή εναλλακτική λύση, μια και δεν σχηματίζονται THMs (εκτός και αν υπάρχουν στο νερό ιόντα βρώμιου).

Η απολύμανση του νερού με ακτίνες UV είναι αποδεκτή μέθοδος για την παραγωγή προϊόντος της επιθυμητής μικροβιολογικής ποιότητας. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου στηρίζεται στην ακτινοβολήση των μικροοργανισμών με υπεριώδες φως (UV), με μήκος κύματος περίπου 260nm (Σχ 6.2.3.1). Η μέθοδος αυτή, όπως και η παστερίωση, εξαρτάται από μία σχέση δόσης/χρόνου και κάθε παράγοντας που επηρεάζει αυτή τη σχέση μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της αποτελεσματικότητας της.⁽¹⁹⁾ Τυπικά συστήματα UV επεξεργάζονται περίπου 25m³/h με κατανάλωση της τάξης του 1kW. Αυτό με την προϋπόθεση ότι το νερό εμφανίζει μετάδοση της ακτινοβολίας κατά περίπου 80%.



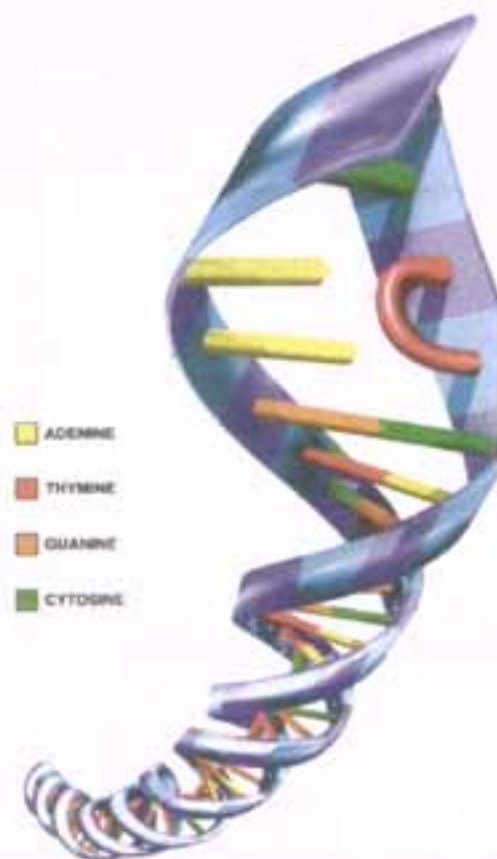
Σχ 6.2.3.1 Μήκος κύματος UV⁽²¹⁾

Αν παρ' όλα αυτά η μετάδοση μειωθεί στο 20% (πράγμα σύνηθες στα κοινά νερά), τότε πρέπει να μειωθεί η ροή (παροχή) ή να αυξηθεί η ισχύς. Οι προσπάθειες για να αντιμετωπιστεί αυτό συνίστανται στην εγκατάσταση ενός αυτόματου μηχανισμού παρακολούθησης, ο οποίος σταματάει τη λειτουργία του συστήματος όταν ανιχνεύσει διακύμανση του μήκους κύματος ή βλάβη της λυχνίας UV. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιο στάδιο προ-διήθησης χρησιμοποιώντας φίλτρα τα οποία μπορεί πολύ αποτελεσματικά να εξασφαλίζει τη διαύγεια του νερού πριν αυτό οδηγηθεί στον θάλαμο του UV.



Σχ 6.2.3.2 Συστήματα ακτινοβολίας UV⁽²¹⁾

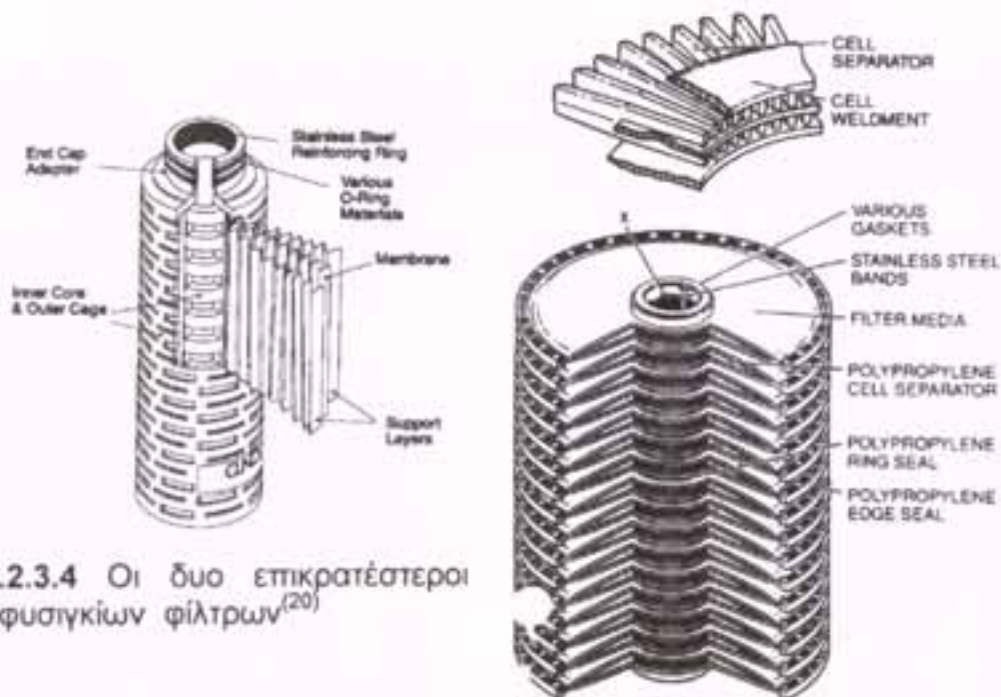
Η αποτελεσματικότητα ενός σωλήνα UV μειώνεται κατά περίπου 10% για κάθε 1000 ώρες λειτουργίας και συνήθως συνιστάται η αντικατάσταση του μετά από 3000 ώρες (δηλ. στο 70% της αρχικής του αποτελεσματικότητας). Ο ρυθμός θανάτωσης των μικροοργανισμών εξαρτάται από τους ίδιους τους μικροοργανισμούς και την έκλυση ενέργειας από την λάμπα. Έτσι, για παράδειγμα, τα κύτταρα μιας ζύμης χρειάζονται 2-3 φορές περισσότερη ενέργεια (για μία κατά 90% θανάτωση) από αυτά της E.Coli. Η αποτελεσματικότητα της ακτινοβολίας με υπεριώδη ακτινοβολία έγκειται στην αλλαγή του DNA των μικροοργανισμών. Η υπεριώδης ακτινοβολία έχει την ιδιότητα να διασπά τους δεσμούς θυμίνης - αδενίνης. (Σχ 6.2.3.3)⁽²¹⁾



Σχ 6.2.3.3 Επίπτωση της ακτινοβολίας UV στο DNA⁽²¹⁾

Η αποτελεσματικότητα της απόλυτης διήθησης στηρίζεται στην ολοκληρωτική απομάκρυνση των μικροοργανισμών, χωρίς την προσθήκη οποιασδήποτε ουσίας στο νερό και χωρίς την κατανάλωση μεγάλου ποσού ενέργειας. Ως τεχνική, η διήθηση είναι ευέλικτη, διότι από τη στιγμή που κατανοείται και σχεδιάζεται η λειτουργία μιας συγκεκριμένης εγκατάστασης, μπορεί εύκολα να επιλεγεί η σωστή τιμή συγκράτησης.

Η συνιστώμενη συγκράτηση, για τις περισσότερες απαιτήσεις στείρου νερού, είναι της τάξεως του 0,2 μm και η λειτουργία καθορίζεται επακριβώς ελέγχοντας τα αποτελέσματα με τον συγκεκριμένο τύπο μικροοργανισμού που πρόκειται να απομακρύνεται.⁽¹⁹⁾

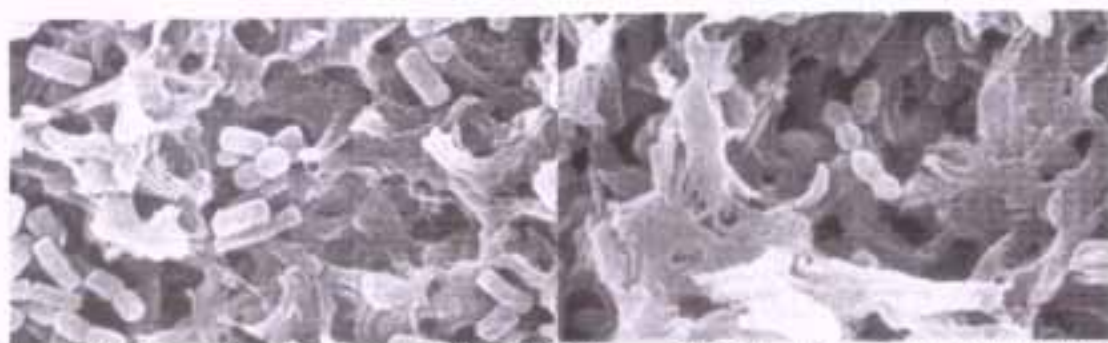


Σχ 6.2.3.4 Οι δυο επικρατέστεροι τύποι φυσικών φίλτρων⁽²⁰⁾

Τα φίλτρα βιομηχανικής χρήσης διατίθενται κυρίως με τη μορφή φυσικών που έχουν την δυνατότητα της μεταξύ τους σύνδεση σε σειρά. Έτσι η διαστασιολόγηση γίνεται εύκολα, προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή παροχή ρευστού. Για την αποτελεσματική λειτουργία του φιλτραρίσματος, σχεδιάζονται συστοιχίες φίλτρων από μεγαλύτερες συγκρατήσεις προς μικρότερες.



Σχ 6.2.3.5 Άποψη μικροβιοκρατούς ηθμού⁽²⁰⁾



Σχ 6.2.3.6 Άποψη μικροβιοκρατούς ηθμού με παγιδευμένους μικροοργανισμούς⁽²⁰⁾

Πάντως, αν ο παρασκευαστής επιθυμεί την απομάκρυνση μόνο των ζυμών και των μυκήτων από το νερό, τότε μια συγκράτηση της τάξεως του 1 μm μπορεί να είναι η πλέον ενδεδειγμένη. Από τη στιγμή που έχει επιλεγεί κάποιος βαθμός συγκράτησης, δεν χρειάζεται άλλο φίλτρο για να εξασφαλιστεί ο επιθυμητός βαθμός λειτουργίας. Αρκετά συχνά πάντως, εφαρμόζεται κάποιο στάδιο προ-διήθησης για να προστατεύεται το τελικό φίλτρο από υπερβολικά υψηλά φορτία μικροσωματιδίων ή για τη μείωση της περιεκτικότητας κολλοειδών στο νερό.

Ένα πεδίο στο οποίο η μικροβιοκρατής διήθηση νερού παρέχει πραγματικά πλεονεκτήματα σχετίζεται με την μετατροπή διάφορων χημικών ενώσεων, που υπάρχουν στο νερό, σε περισσότερο τοξικά προϊόντα. Οι μικροοργανισμοί-δείκτες (όπως η E.Coli που προαναφέρθηκε) έχουν την ικανότητα να ανάγουν τα νιτρικά άλατα που υπάρχουν στο νερό (συνήθως ως κατάλοιπα λιπασμάτων) σε νιτρώδη. Αυτά με τη σειρά τους μπορούν να αντιδράσουν με άλλες αζωτούχες ενώσεις, που επίσης υπάρχουν στο νερό, σχηματίζοντας τοξικές νιτροζαμίνες. Ένας απλός τρόπος για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού είναι η απομάκρυνση με μικροβιοκρατή διήθηση των βακτηρίων εκείνων που μπορούν να μεταβολίζουν τα νιτρικά άλατα κατ' αυτόν τον τρόπο. Η διήθηση παρέχει τον μεγαλύτερο βαθμό εξασφάλισης. Αυτά τα επικίνδυνα βακτήρια, αφού κατακρατηθούν πλήρως πάνω στο φίλτρο, μπορούν κατόπιν να καταστραφούν με "ζωντανό" ατμό ή με απολύμανση με ζεστό νερό. ⁽¹⁹⁾



Σχ 6.2.3.7 Εγκατάσταση βιομηχανικής επεξεργασίας νερού

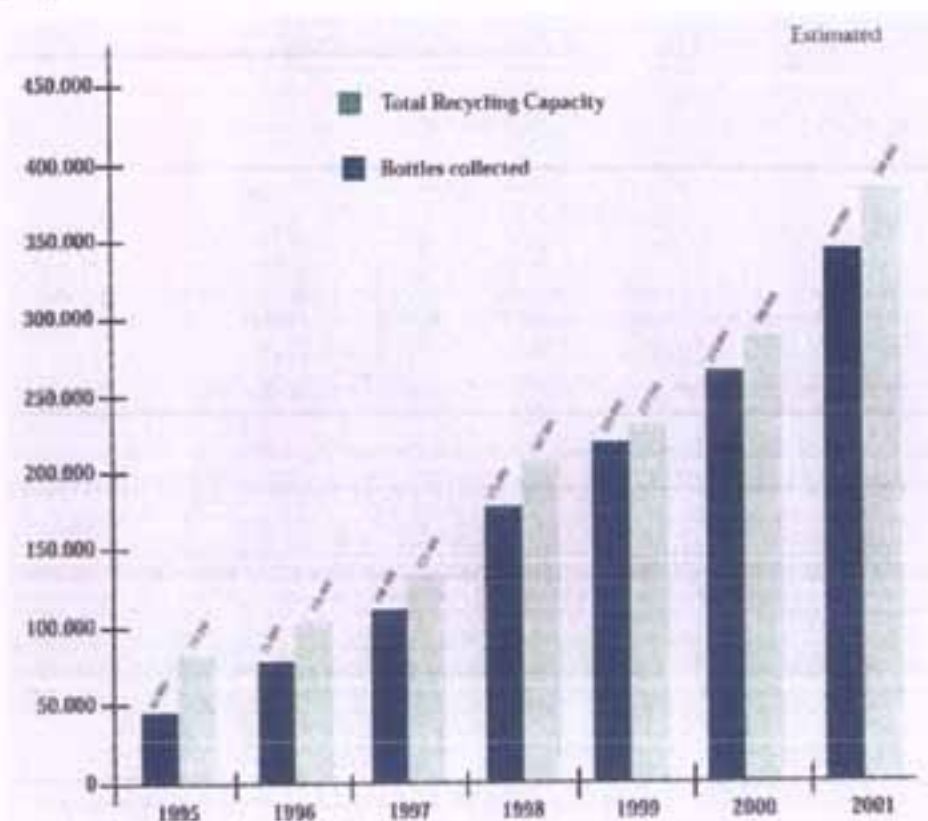
Η θερμική επεξεργασία, η προσθήκη χημικών και η ακτινοβολήση UV επιτρέπουν το πέρασμα των μικροσωματιδίων. Αντιθέτως, η απόλυτη διήθηση απομακρύνει τα σωματίδια αφήνοντας ένα προϊόν, το οποίο δεν βουλώνει τα στόμια των γεμιστικών μηχανών, είναι διαυγές και "λαμπερό" και ικανοποιεί τις απαιτούμενες μικροβιολογικές προδιαγραφές.

Η διήθηση είναι μία εύκολη μέθοδος για τη διαύγαση και τον μικροβιακό έλεγχο του νερού και, γενικώς, γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής διότι δεν προσθέτει τίποτα στο προϊόν και δεν προϋποθέτει υψηλές καταναλώσεις ενέργειας. ⁽¹⁹⁾

7. Ανάκτηση και ανακύκλωση του PET

7.1 Η ανάγκη για αποτελεσματική ανακύκλωση

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του PET ως υλικό συσκευασίας είναι η ανακυκλωσιμότητά του. Είναι μια συνεχής και προσεκτική σκέψη που μπορεί να ευνοήσει θετικά τις καταναλωτικές-αγοραστικές αποφάσεις σε πολλές χώρες. Επίσης θα γίνει ένας βασικός παράγοντας στο να ικανοποιήσει τις ανάγκες της αγοράς στην αντιμετώπιση των μεγάλων αυξήσεων στην ζήτηση του PET. Η απαίτηση για την ρητίνη PET για τη χρονιά 2000 είχε προβλεφθεί να είναι της τάξεως των 7,1 εκατομμυρίων τόνων, αυξανόμενη από μια πραγματική απαίτηση το 1998 των 5,4 εκατομμυρίων τόνων (μια αύξηση πάνω από 30% σε μόνο δυο χρόνια). Το PET μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί με πολλούς τρόπους και η πρόβλεψη της αύξησης της απαιτήσεως θα οδηγήσει στην αποτελεσματική και αποδοτική ανακύκλωση, η οποία είναι υποχρεωτική για την επιτυχία της PET βιομηχανίας. Ένας πρόσθετος και σημαντικός παράγοντας στην προώθηση της ανακύκλωσής PET είναι η επίδραση της νομοθεσίας. Στην Ευρώπη για παράδειγμα η κατευθυντήρια οδηγία του 1994 για την καταστροφή υλικών συσκευασίας πλέον απαιτεί ότι τουλάχιστον 25% των απορριμμάτων των υλικών συσκευασίας να ανακυκλώνεται και όχι απλώς να ανακτάται, αλλά και ένα ελάχιστο του 25% κάθε διαφορετικού τύπου υλικού (π.χ. πλαστικά) να ανακυκλώνεται. Το υψηλό ποσοστό της ανακύκλωσης PET θα γίνει μια βασική συνεισφορά στην επιτυχία αυτών των αναλογιών και θα εμπλουτίσει τα περιβαντολογικά διαπιστευτήρια του.⁽²²⁾



Σχ. 7.1.1 Σύνολο συγκομιδής φιαλών και δυναμικότητα ανακύκλωσης⁽²²⁾

Παρόλο ότι είναι πολύ πιθανόν να κάνουμε νέα μπουκάλια από PET τα οποία προέρχονται από παλαιότερα μπουκάλια καταναλωτών, η κοινή χρήση ανακυκλωμένου PET σήμερα είναι η παραγωγή ινών PET. Οι ίνες PET εκτός των άλλων χρησιμοποιούνται στην κατασκευή χαλιών, παιχνιδιών όπως και στο 'γέμισμα' των στρωμάτων. Ωστόσο με το 80% καινούργιας ρητίνης που χρησιμοποιείται στην κατασκευή μπουκαλιών στις σύγχρονες βιομηχανίες και η αγορά ινών που αντιμετωπίζει τον κίνδυνο κορεσμού από την ανακύκλωση παλαιών μπουκαλιών, οδηγεί στο γεγονός ότι η αυτοαποκαλούμενη ανακύκλωση «μπουκάλι με μπουκάλι» γίνεται μια τεχνική και εμπορική πραγματικότητα.



Σχ. 7.1.2 Παραγωγή ινών από ανακυκλωμένες φιάλες PET

7.2 Ποιότητα του ανακυκλωμένου PET

Όπως υποδηλώνεται παρακάτω υπάρχουν ήδη προκαθορισμένες εφαρμογές όπου προφόρμες γίνονται από 100% ανακυκλωμένο υλικό (γνωστό ως R-PET). Αυτό εφαρμόζεται ειδικότερα σε φιάλες για μη επικίνδυνες εφαρμογές όπως το πακετάρισμα σαμπουάν και άλλων μη φαγώσιμων προϊόντων και όπου δεν απαιτείται ιδιαίτερη επεξεργασία. Οι μηχανές αυτές έχουν εξελιχθεί και είναι εμπορικά διαθέσιμες και ικανές για την απευθείας αποδοχή μη επεξεργασμένων νιφάδων PET, τις οποίες μετατρέπουν με κατάλληλη επεξεργασία σε προφόρμες. Η ερευνά σήμερα επικεντρώνεται σε συστήματα ανακύκλωσης τα οποία μπορούν να παραδώσουν καλής ποιότητας PET, κατάλληλο για την επαναχρησιμοποίηση στην κατασκευή φιαλών για πόσιμα υγρά, σε τιμές οι οποίες να ανταγωνίζονται με επιτυχία την «παρθένα» ρητίνη (virgin). Στην πραγματικότητα η ανάπτυξη της ανακύκλωσης του PET είναι σε ένα αρκετά υψηλό επίπεδο και στην Ευρώπη το ποσό του PET το οποίο ανακυκλώθηκε έχει αυξηθεί σε παραπάνω από 220.000 τόνους ετησίως, από λιγότερο από 50.000 τόνους το 1995. Για την χρονιά 2000 υπολογίζεται ότι το τελικό ποσό για ανακυκλωμένο PET στην Ευρώπη θα είναι 300.000 τόνοι.



Σχ. 7.2.1 Συγκομιδή μεταχειρισμένων φιαλών PET

Στα προγράμματα ανακύκλωσης υλικών οποιουδήποτε είδους υπάρχουν 3 παράγοντες οι οποίοι περιορίζουν το ποσό της ανακύκλωσης του προερχόμενου από απορρίμματα υλικού, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή νέων προϊόντων :

- Η δυνατότητα να διαλέξεις και να ξεχωρίσεις το υλικό «στόχος» από άλλα υλικά.
- Η τεχνική ποιότητα και καταλληλότητα ανακυκλωμένου υλικού όπως τροφοδοτείται στον μετατροπέα.
- Το τελικό κόστος του ανακυκλωμένου υλικού συγκρινόμενο με το παρθένο υλικό (virgin).

Το PET δεν αποτελεί εξαίρεση και είναι αυτοί οι τρεις παράγοντες που μελετώνται και αναπτύσσονται από την βιομηχανία του PET.

7.2.1 Ανάκτηση από τα απορρίμματα

Στην αλυσίδα ανακύκλωσης του PET ο πρώτος από αυτούς τους παράγοντες καταπιάνεται με διάφορους τρόπους περισυλλογής. Αυτοί εμπεριέχουν την συλλογή από «kerbside» (κάδους αποκλειστικά για PET) και το σύστημα επιστροφής από τους καταναλωτές, όπου τους δίνεται η ευκαιρία να ξεχωρίσουν και να διαλέξουν τα δικά τους απορρίμματα από PET και να τα πουλάνε πίσω στους προμηθευτές.

Υπάρχει επίσης ένα σύστημα συλλογής το οποίο λειτουργεί σε διάφορες χώρες, όπου ο εμφιαλωτής δέχεται την επιστροφή των μιας χρήσεως μπουκαλιών. Ο καταναλωτής δίνει ένα πόσο ως εγγύηση για το μπουκάλι PET όταν αγοράζει το πόσιμο υγρό από τον πωλητή λιανικής. Η εγγύηση αυτή δίνεται πίσω από τον πωλητή λιανικής όταν το άδειο μπουκάλι επιστραφεί. Ο κεντρικός διανομέας θα συλλέξει τα άδεια μπουκάλια την ίδια στιγμή που κάνει την παράδοση νέου προϊόντος στον λιανικό πωλητή. Όταν τα άδεια μπουκάλια επιστρέψουν στο εργοστάσιο γεμίσματος, είτε συνθλίβονται, είτε θρυμματίζονται ώστε να είναι έτοιμα για την αποστολή τους σε ένα ειδικό ανακυκλωτή. ⁽²²⁾



Σχ. 7.2.1.1 Φιάλες PET σε εγκατάσταση ανακύκλωσης

Τα μπουκάλια PET μπερδεμένα με μη διαλεγμένα απορρίμματα παρουσιάζουν ένα διαφορετικό πρόβλημα, αλλά είναι ένα πρόβλημα που λύνεται γρήγορα. Υπάρχει ένας κώδικας αναγνώρισης SPI (PET=01) ο οποίος θα πρέπει να εμφανίζεται στο καλούπι της βάσης του μπουκαλιού για να βοηθήσει στην αναγνώριση κατά την διάρκεια της χειρονακτικής διαλογής. Οι διεργασίες αυτόματης διαλογής βασίζονται σε κάποια ιδιαίτερη ιδιότητα του υλικού όπως το μόριο χλωρίου στο PVC ή την σπεκτροσκοπική αντίδραση (ακτίνες X ή υπέρυθρες) μαζί με το χρώμα και αδιαφάνεια (συστήματα κάμερας). Ένας αισθητήρας θα εντοπίσει την ιδιότητα «στόχος» και θα ενεργοποιήσει ένα Jet πεπιεσμένου αέρα ώστε να βγάλει το ξένο μπουκάλι.

7.2.2 Ανακύκλωση

Η διεργασία με την οποία το επιστρεφόμενο υλικό PET θα επεξεργασθεί, διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του ανακυκλωμένου υλικού που απαιτείται. Δυο βασικοί μέθοδοι χρησιμοποιούνται για να παράγουν ανακυκλωμένο υλικό.

1. Μηχανική ανακύκλωση

Τα μεταχειρισμένα μπουκάλια θρυμματίζονται σε νιφάδες και περνάνε από μια σειρά διεργασιών διαχωρισμού, πλυσίματος και διαλογής με βάση την πυκνότητα, οι οποίες θα απομακρύνουν το μη PET περιεχόμενο. Ο διαχωρισμός του PET από άλλα πλαστικά υλικά επιτυγχάνεται κάνοντας χρήση των διαφορών πυκνότητας, οι οποίες κάνουν δυνατό να διαχωριστούν τα διαφορετικά υλικά από επίπλευση σε ένα ήρεμο μπάνιο. Οι χάρτινες ετικέτες ξεχωρίζονται εύκολα με πλύσιμο. Όταν οι νιφάδες PET έχουν ξεπλυθεί και στεγνώσει, μπορούν να περάσουν από μια οπτική συσκευή η οποία θα αποβάλλει το υποβαθμισμένο υλικό το οποίο περιέχει μαύρα στίγματα ή άλλο δυσχρωματισμό. Το αποτέλεσμα είναι υψηλής ποιότητας και καθαρή PET νιφάδα. Για την λήψη ακόμα πιο ποιοτικού αποτελέσματος, ακολουθείται μια διαδικασία ρευστοποίησης και φιλτραρίσματος του μίγματος.

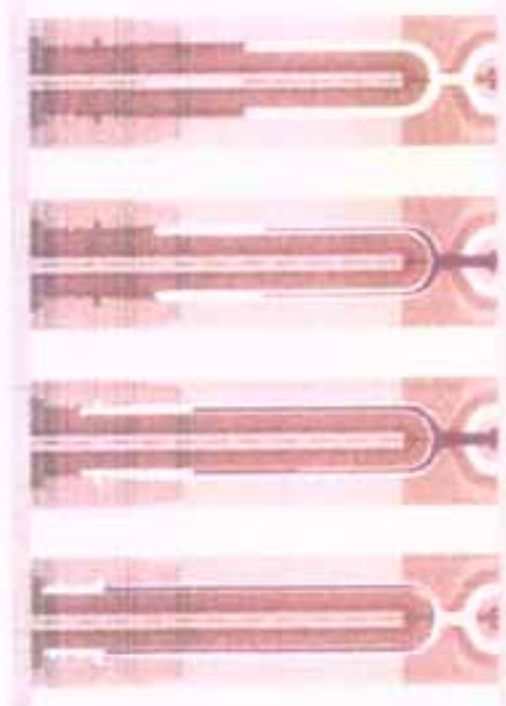


Σχ. 7.2.2.1 Εγκατάσταση μηχανικής ανακύκλωσης

2. Χημική ανακύκλωση (επαναπολυμερισμός)

Για την πιο απαιτητική εφαρμογή της κατασκευής καινούργιων φιαλών PET από ανακυκλωμένο υλικό είναι σημαντικό, η ποιότητα του ανακυκλωμένου υλικού να είναι ομοιογενής και να ανακτάται σε μια κατάσταση παρόμοια σ' αυτή του παρθένου PET, όσο αφορά τις χημικές του ιδιότητες και τους παραμέτρους των διαδικασιών. Η τεχνολογία της μοντέρνας διαδικασίας ανακύκλωσης έχει επιτύχει αυτούς τους σκοπούς με ένα τρόπο δραστηκής μείωσης του κόστους και έκανε τη χρήση του 50% ανακυκλωμένου PET σε προφόρμες μια ρεαλιστική επιλογή. Το PET επαναφέρεται στη βασική χημική του δομή, σε μια διαδικασία γνωστή ως «επαναπολυμερισμός».

Τα διαφορετικά χημικά συστατικά διασπώνται και επανενώνονται σε νέα ρητίνη PET. Σήμερα υπάρχουν εργοστάσια χημικής ανακύκλωσης σε λειτουργία τα οποία είναι ικανά να παράγουν ρητίνη PET η οποία καλύπτει τα στάνταρ FDA (για τη βιομηχανία τροφίμων), ανεξαρτήτως του γνήσιου χρώματος του επικαλυπτικού στρώματος η της διαπερατότητας υλικού. Οντως με την τεχνική αυτή το R-PET (Recycled PET) μπορεί να παραχθεί με μια υψηλότερη μοριακή μάζα από αυτή του γνήσιου ανακυκλωμένου υλικού και σε ένα ανταγωνιστικό κόστος.



Σχ. 7.2.2.2 Φάσεις παραγωγής προφορμών πολλών επιστρώσεων⁽²³⁾

1. Το «παρθένο» υλικό εκχύνεται πρώτο ώστε να οδηγηθεί στον λαιμό (Γέμισμα 57%)
2. Το ανακυκλωμένο PET εκχύνεται σε ποσοστό 20% (Γέμισμα 79%)
3. Μόνο ανακυκλωμένο PET (Γέμισμα 94%)
4. Μόνο «παρθένο» υλικό εκχύνεται πρώτο ώστε να οδηγηθεί στον πυθμένα (Γέμισμα 100%)

7.2.3 Ο ρόλος του σχεδιασμού του δοχείου

Οι εταιρείες εμφιάλωσης υγρών ποσίμων μπορούν να υποβοηθήσουν την θέση του PET σαν ένα φιλικό προς το περιβάλλον υλικό βεβαιώνοντας ότι τα μπουκάλια, τα καπάκια και οι ετικέτες σχεδιάζονται με ένα τρόπο ο οποίος κάνει την ανακύκλωση απλή και εφικτή. Όσο περισσότερο ομοιογενές και χωρίς μόλυνση είναι το παλιό υλικό, τόσο περισσότερο χρήσιμο και πολύτιμο είναι το καινούργιο ανακυκλώσιμο. Το Ευρωπαϊκό σώμα το οποίο PET-CORE το οποίο ιδρύθηκε από την βιομηχανία του PET για να προάγει την ανακύκλωση, έχει αναπτύξει ένα σετ κατευθυντήριων οδηγιών που αφορούν στον σχεδιασμό μιας συσκευασίας υγρού πόσιμου σε PET φιάλη και οι οποίες συνοψίζονται παρακάτω :

- ✓ Το LDPE (πολυαιθυλένιο) και το PP (πολυπροπυλένιο) είναι τα προτιμότερα υλικά για την κατασκευή πωμάτων. Η κατασκευή από PVC θα πρέπει να αποφεύγονται καθώς το PVC ακόμα και σε μικρές ποσότητες μπορεί να αχρηστέψει το PET. Προφανώς τα πώματα που αποκολλούνται μαζί με την ασφάλεια κάνουν γραμμές για να κλείνουν και είναι ένα κομμάτι προτιμούνται.
- ✓ Οι αλουμινένιες μεμβράνες σφραγίσματος, που χρησιμοποιούνται κυρίως σε φιάλες χυμών, πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να αποκολλώνται πλήρως και εύκολα.
- ✓ Το πιο χρήσιμο PET είναι το διάφανο και χωρίς προσμίξεις. Ο χρωματισμός με χρωματικές ύλες θα πρέπει να αποφεύγεται, όπου αυτό είναι δυνατό.
- ✓ Οι ετικέτες θα πρέπει να είναι εύκολο να αφαιρεθούν. Τα προτιμώμενα υλικά είναι το χαρτί, το PP, το OPP, ή το PE. Οι βαριά εκτυπωμένες ταμπέλες είναι περισσότερο πυκνές και δεν μπορούν επιτυχώς να χωριστούν απ' το πλύσιμο. Τα μελανιά δεν θα πρέπει να περιέχουν βαριά μέταλλα ή να ξεβάφουν όταν υγραίνονται προκαλώντας την χρωματισμό των νιφάδων του PET.
- ✓ Η απευθείας τύπωση και διακόσμηση του μπουκαλιού είναι ένα πρόβλημα στην ανακύκλωση.
- ✓ Τα μπουκάλια πολλαπλών επιστρώσεων είναι πρόσφατα το θέμα έντονης έρευνας για να κατοχυρωθεί ο καλύτερος τρόπος να τα χειριστείς στην αλυσίδα της ανακυκλώσεως.
- ✓ Άλλα συναπτόμενα όπως χερούλια είναι προτιμότερα για τους σκοπούς μεταφοράς να είναι από HDPE, PP ή καθαρό PET.

8. Μελλοντικές τεχνολογίες εμφιάλωσης σε PET

8.1 Οι νέες εφαρμογές

Πέρα από τα καθαρά οικονομικά, ο βαθμός στον οποίο τα μπουκάλια PET θα είναι ικανά για την περαιτέρω αντικατάσταση του γυαλιού ή του αλουμινίου, θα εξαρτηθεί από την τεχνολογική πρόοδο στην παραγωγή φιαλών. Η αυξημένη αποδοχή σε νέες εφαρμογές των φιαλών PET από τον καταναλωτή και τον εμφιαλωτή και η ικανότητα να ανακυκλωθούν φιάλες PET θα έχει επίσης ένα σημαντικό αντίκτυπο στην περαιτέρω ανάπτυξη. Οι προβλέψεις για την ανάπτυξη του κλάδου είναι βασισμένες όχι μόνο στην μέχρι σήμερα απόδοση, αλλά επίσης και στο εκτενές πρόγραμμα ανάπτυξης το οποίο προωθείται από την βιομηχανία PET σε όλη την υφήλιο, σε μια προσπάθεια να βρει μια σίγουρη λύση στα προβλήματα της αποδήμησης και της διαπερατότητας (migration).

8.1.1 Αποδημία

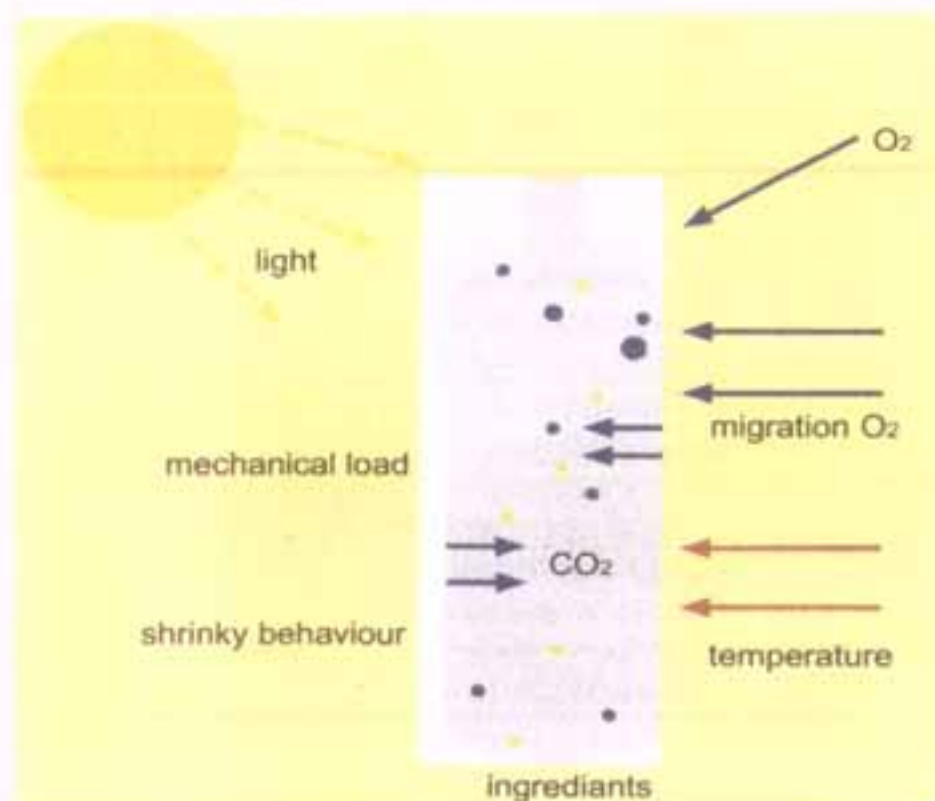
Με τον όρο αποδημία αναφερόμαστε ιδιαίτερα στην εισχώρηση ουσιών από τη φιάλη στο υγρό και στην διάτρηση των συστατικών των υγρών. Υπάρχει πιθανότητα για τις αρωματικές ενώσεις του περιεχομένου να διεισδύσουν στο υλικό της φιάλης και να επηρεάσουν την πιθανότητα να ξαναγεμισθούν ή να ανακυκλωθούν. Αλλά το αρχικό θέμα στη βιομηχανία εμφιάλωσης σε PET είναι η μείωση της αποδημίας της ακεταλδεΐδης από τη φιάλη μέσα στο πόσιμο υγρό. η ακεταλδεΐδη είναι ένα συστατικό της ειδικής επεξεργασίας, που χρησιμοποιείται για να παραχθούν σβόλοι PET και είναι πάντα παρών σε μικρές ποσότητες στο PET.

Σε αυτές τις λιγοστές ποσότητες ακεταλδεΐδης είναι τελείως ασφαλές, αλλά το χαρακτηριστικό άρωμα της μπορεί να επηρεάσει την γεύση των προϊόντων όπως το νερό, τα οποία δεν έχουν δυνατή γεύση από μόνα τους. Το όριο της διατήρησης της γεύσης στο μεταλλικό νερό είναι εξαιρετικά χαμηλό ενώ η εμπεριεχόμενη ακεταλδεΐδη σε φιάλες μπίρας πρέπει να είναι μεταξύ 5 η 10 mg/lit, έτσι ώστε να μην υπάρχει περίπτωση να επηρεάζει την γεύση της μπίρας . Ο βαθμός στον οποίο η ακεταλδεΐδη θα αποδημήσει από το μπουκάλι εξαρτάται βασικά από την αναλογία ακεταλδεΐδης της πρωτότυπης προφόρμας. Ο βαθμός αποδημίας μπορεί να μειωθεί από σωστούς χειρισμούς των παραμέτρων της παραγωγικής διαδικασίας εκχύσεως των προφορμών, καθώς και του στάδιο της διαδικασίας εμφύσησης. Υπάρχουν ακόμη κάποιες βελτιωτικές ουσίες που μειώνουν τον βαθμό αποδημίας, αλλά δίνουν μια κιτρινωπή όψη στη φιάλη και γι' αυτό δεν προτιμώνται στην εμφιάλωση νερού.

8.1.2 Διαπερατότητα (migration)

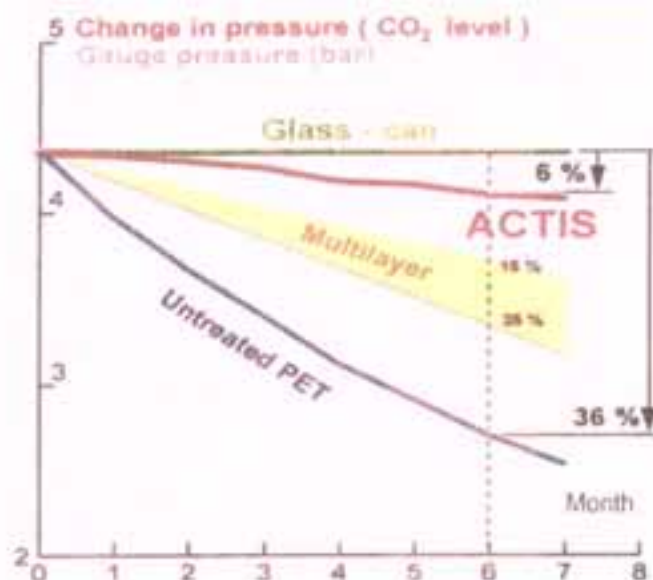
Η διαπερατότητα είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την διείσδυση των αέριων μέσα από το υλικό PET μέσα και έξω από τη φιάλη. Τα αέρια αυτά είναι βασικά το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα. Η διείσδυση κατά και των δυο κατευθύνσεων λύνεται βελτιώνοντας τις ιδιότητες φραγής της φιάλης. Με PET μόνης επίστρωσης αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δυο τρόπους :

- ❖ Αυξάνοντας την κρυσταλλική δομή του PET στο φουσημένο μπουκάλι .
- ❖ Προσθέτοντας ένα προστατευτικό επικαλυπτικό στρώμα.



Σχ. 8.1.2.1 Προβλήματα διαπερατότητας του PET

Ο βαθμός κρυσταλλοποίησης είναι αποτέλεσμα του διπλού προσανατολισμού κατά τη διαδικασία της επιμήκυνσης – εμφύσησης που λαμβάνει χώρα στην μηχανή εμφύσησης. Η επιμήκυνση για παράδειγμα μπορεί να βελτιώσει μέχρι και 15% τον βαθμό κρυσταλλοποίησης. Καθώς η κρυσταλλοποίηση αυξάνεται, αυξάνεται και η πυκνότητα του PET η οποία προκαλεί μια μείωση στην διείσδυση. Είναι επίσης πιθανόν να αυξηθεί η κρυσταλλική δομή από την αυξημένη θερμοκρασία κρυσταλλοποίησης κατά την διάρκεια του φουσήματος του μπουκαλιού. Η υψηλή θερμοκρασία κρυσταλλοποίησης επίσης βελτιώνει την αντίσταση των μπουκαλιών σε υψηλές θερμοκρασίες και τους επιτρέπει να ζεπλωθούν και να γεμιστούν μέχρι και στους 75°C . Η βελτιωμένη κρυσταλλική δομή είναι το θέμα της έρευνας που γίνεται από τους κατασκευαστές των μηχανών , αλλά σε αυτήν την στιγμή αυτή η επιλογή ,ενώ είναι τεχνολογικά δυνατή απαιτεί περαιτέρω ειδική επεξεργασία και φυσικά αύξηση του κόστους παραγωγής.



Σχ. 8.1.2.2 Ιδιότητες φραγής

Στο διάγραμμα απεικονίζεται η αλλαγή πίεσης στο εσωτερικό των φιαλών κατά το πέρασμα του χρόνου :

1. Γυαλί – Κουτί AI
2. Σύστημα ACTIS
3. Πολλαπλές επιστρώσεις
4. Κανονικό PET

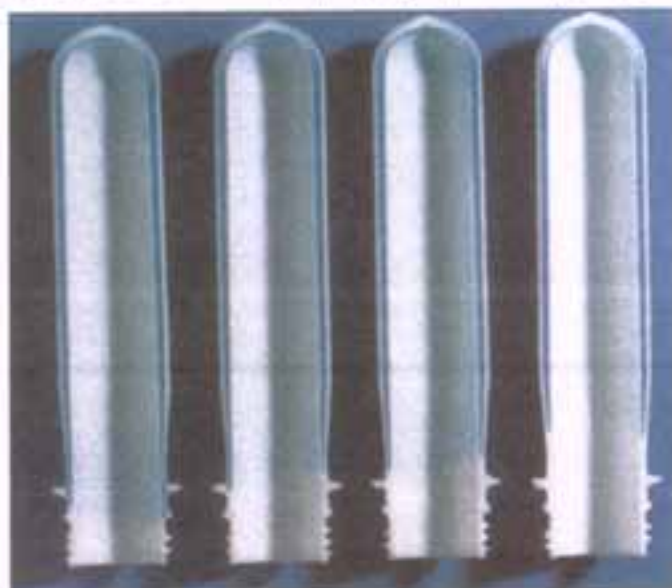
Η άλλη τεχνολογία ελέγχου του βαθμού διαπερατότητας είναι βασισμένη απλά στην προσθήκη ξεχωριστού φύλλου επίστρωσης ενός αδιαπέραστου υλικού στην εσωτερική ή εξωτερική πλευρά του μπουκαλιού αφού έχει φουσηθεί. Υπάρχει ήδη ένας αριθμός ειδικών επεξεργασιών που έχουν αναπτυχθεί εμπορικά, ενώ άλλες τεχνολογίες ήδη βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο. Στο μυαλό των περισσότερων παρατηρητών αυτό φαίνεται να είναι και η οικονομικότερη λύση στο πρόβλημα της διεύθυνσης. Τα διαθέσιμα εμπορικά συστήματα επίστρωσης βασίζονται σε ένα φύλλο είτε άνθρακα είτε οξειδικής σιλικόνης πάχους μερικών μόνο νανομέτρων. Υπάρχουν ακόμα ερωτήσεις για την ανακυκλωσιμότητα των υλικών που αφορούν αυτά τα συστήματα. Παρόλα ταύτα η αυτοπεποίθηση είναι υψηλή και οι ερευνητές έχουν πάντοτε συνείδηση της ανάγκης για ανακύκλωση όπως και για καθαρά τεχνικές λύσεις.

Ένα επιτυχημένο σύστημα επίστρωσης είναι το ACTIS το οποίο αναπτύχθηκε από την εταιρεία Sidel. Κατά τη διαδικασία, στη φιάλη εκχύνεται ακετυλένιο, το οποίο επέρχεται στην φάση πλάσματος με την εφαρμογή βομβαρδισμού μικροκυμάτων. Το ακετυλένιο με την μορφή άμορφου άνθρακα επικάθεται στο εσωτερικό της φιάλης, δημιουργώντας ένα στρώμα μερικών μόνο νανομέτρων.

Η υπόσχεση ενός νέου συστήματος επίστρωσης φέρεται από την χρησιμοποίηση εποξικής αμίνης. Αυτό το υλικό μπορεί να αποκολληθεί τελείως από το μπουκάλι κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της ανακύκλωσης προσθέτοντας ένα μέσο ενεργοποίησης στο καυστικό πλύσιμο. Σήμερα είναι πιθανά το μόνο σύστημα επίστρωσης το οποίο μπορεί να αποφέρει 100% καθαρό PET από την διαδικασία της ανακύκλωσης.

8.1.3 Φιάλες πολλαπλών στρώσεων

Παράλληλα με τις αναπτύξεις στις τεχνικές επίστρωσης, νέοι τρόποι συνεχώς δείχνονται για να βελτιώσουν την απόδοση των ιδιοτήτων φραγής, με κύρια την χρήση φιαλών που έχουν γίνει από προφορμες πολλαπλών επιστρώσεων. Αναρίθμητες παραλλαγές της τεχνικής αυτής εφαρμόζεται ήδη.



Τα περισσότερο συνηθισμένα υλικά που χρησιμοποιούνται στο μεσαίο φύλλο είναι τα R-PET, PEN, NAYLON και EVOH . Μια πρόσφατη εξέλιξη είναι η χρήση κρυσταλλικών πολυμερών (LCP) όπου το LCP αναμειγνύεται με PET και χρησιμοποιείται σαν το μεσαίο BARRIER φύλλο. Παρόλο που το LCP δεν είναι διαυγές σαν υλικό, ένα διαφανές LCP ήδη ερευνάται.

Σχ. 8.1.3 Προφόρμες πολλαπλών επιστρώσεων (με μπλε χρώμα φαίνεται το μεσαίο φύλλο)

8.1.4 Επιστρεφόμενες φιάλες

Επιστρεφόμενες, επαναγεμισμένες PET φιάλες βρίσκονται σε κυκλοφορία για μερικά χρόνια και κερδίζουν αυξημένη αποδοχή. Αυτό εξαρτάται παρά πολύ στην καταναλωτική σιγουριά ότι τα συστήματα πλυσίματος και καθαρισμού των φιαλών δίνουν εντελώς ασφαλές αποτέλεσμα. Η καταναλωτική αποδοχή ενισχύεται από την απόδοση των υψηλά αποτελεσματικών πλυντηρίων μπουκαλιών (Rinser) και την χρήση ειδικών ανιχνευτών που αποτρέπουν μολυσμένες φιάλες να περάσουν στην γραμμή παραγωγής. Βελτιώσεις σε συστήματα ανίχνευσης τα οποία επιθεωρούν τις φυσικές απόψεις του μπουκαλιού, συμπεριλαμβανομένου του σχήματος του σώματος και βλάβης στο τελείωμα του λαιμού, θα κάνουν την χρήση των επαναεμφιαλωμένων φιαλών πέρα από την ανακύκλωση μια πρακτική επιλογή για πολλούς εμφιαλωτές. Με το PET να χρησιμοποιείται ευρέως για την εμφιάλωση υγρών πόσιμων και μαζί με την συγκατάθεση των εμφιαλωτών και των κατασκευαστών μηχανών, τα πλεονεκτήματά του θα επεκτείνονται σε νέα πεδία και μπορούμε να είμαστε σίγουροι ότι το γρήγορο βήμα της τεχνολογικής ανάπτυξης θα συνεχίσει να το κάνει αυτό δυνατόν

8.1.5 Αποδοχή του καταναλωτή

Η ερώτηση της καταναλωτικής αποδοχής του PET δεν αμφισβητείται πλέον. Τα πλεονεκτήματα του απέναντι στο γυαλί περιέχουν το ελαφρύ βάρος και την αντίσταση του στο σπάσιμο. Επίσης είναι σημαντική η μείωση του όγκου των απορριμμάτων, καθώς και ότι σε αντίθεση με τα δοχεία κονσέρβας υγρών πόσιμων τα μπουκάλια PET μπορούν να ξανασφραγιστούν, ενώ τα περιεχόμενά τους είναι ορατά και γενικά θεωρούνται περισσότερο υγιεινά. Μερικά ερωτηματικά ακόμα κρέμονται πάνω από την καταναλωτική αποδοχή της μπίρας σε μπουκάλια PET και την γενική χρήση επαναγεμισμένων φιαλών. Η μπίρα μέσα σε PET θεωρείται από πολλούς ως το τελευταίο εμπόδιο στην εμφιάλωση υγρών πόσιμων. Σήμερα υπάρχουν αναρίθμητες μάρκες μπίρας σε PET μπουκάλια οι οποίες προωθούνται καθώς οι τεχνικές δυσκολίες έχουν λυθεί.



Σχ. 8.1.5 Διάφορες μπίρες που ήδη κυκλοφορούν σε PET φιάλες

Η ερώτηση της καταναλωτικής αποδοχής θα λυθεί με δυο τρόπους. Η πρώτη προσέγγιση βασίζεται στην εξασφάλιση ότι το PET μπουκάλι μπίρας είναι όσο γίνεται περισσότερο παρόμοιο με το παραδοσιακό γυάλινο μπουκάλι μπίρας, συμπεριλαμβάνοντας την χρήση ενός πώματος επισήμως αναγνωρισμένου. Η δεύτερη προσέγγιση είναι να βελτιωθεί εύκολα η προοπτική εμφιαλωμένης μπίρας χρησιμοποιώντας τα πλεονεκτήματα του PET. Αυτό περιλαμβάνει την ανάπτυξη των μπουκαλιών που έχουν ειδικό σκοπό την χρησιμοποίηση σε εκθέσεις και μεγάλα συμβάντα, όπου το ελαφρύ βάρος και η εύκολη διάθεση της φιάλης PET αποτελεί πραγματικό πλεονέκτημα. Η καμπάνια αυτή έχει ήδη ξεκινήσει σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες με υψηλή αποδοχή από τον καταναλωτή.

9. Συμπεράσματα και σκέψεις για μελλοντικές βελτιώσεις

Όπως αναπτύχθηκε λεπτομερώς στα προηγούμενα κεφάλαια, το PET ως υλικό συσκευασίας τείνει να αντικαταστήσει ολοκληρωτικά τα μέχρι σήμερα χρησιμοποιούμενα υλικά (γυαλί, αλουμίνιο, PVC). Το εμπορικό προφίλ του PET κρίνεται ήδη εξαιρετικά ανταγωνιστικό, ενώ με τις τεχνολογικές βελτιώσεις που έχουν δρομολογηθεί - όπως η κατασκευή προφορμών πολλαπλών στρώσεων ή ο έλεγχος της διαπερατότητας με προσθήκη επίστρωσης αδιαπέραστου υλικού - η επικράτησή του στην βιομηχανία εμφιάλωσης διαφαίνεται παραπάνω από σίγουρη. Καθώς πρόκειται για ένα αρκετά ακριβό υλικό, η ανταγωνιστικότητά του εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη μείωση του κόστους παραγωγής.

Η μείωση του κόστους παραγωγής επέρχεται με την αύξηση της παραγωγικής δυναμικότητας της μονάδας, τη μείωση του απαιτούμενου εργατικού δυναμικού και τη μείωση της φθοράς. Αυτοί ακριβώς, είναι και οι στόχοι των κατασκευαστών μηχανημάτων, οι οποίοι προσανατολίζονται στην κατασκευή πλήρως αυτοματοποιημένων, γρήγορων και αξιόπιστων μηχανημάτων. Η δυναμική που έχει εμφανίσει ο κλάδος την τελευταία πενταετία, προτρέπει όλο και περισσότερες εταιρίες να ασχοληθούν με τον σχεδιασμό υπερασύγχρονων μηχανημάτων εμφιάλωσης. Για παράδειγμα η γερμανική εταιρεία KRONES, παρουσίασε το 2004 μια ολοκληρωμένη γραμμή εμφιάλωσης, στην οποία τρεις μόνο χειριστές μπορούσαν να παράγουν 36.000 φιάλες / ώρα, ενώ μόλις το 1999 μια ομάδα δώδεκα ατόμων μπορούσε να εμφιαλώσει μέχρι 4.000 φιάλες / ώρα.



Οι γραμμές εμφιάλωσης και συσκευασίας αποτελούνται από 6 - 8 μηχανές διαφορετικών κατεργασιών τοποθετημένες σε σειρά, ενώ οι μηχανές αυτές συνεργάζονται και με ένα πλήθος βοηθητικών μηχανημάτων. Για να μπορέσουμε να εκμεταλλευτούμε τη μέγιστη απόδοση όλων αυτών των μηχανημάτων, πρέπει να υπολογίζονται και να επιλέγονται ως μέρη ενός ενιαίου αλληλεπιδραστικού συνόλου, και όχι ως ανεξάρτητες μονάδες κατεργασίας. Στον βιομηχανικό σχεδιασμό πρέπει να τηρηθούν κάποιες αρχές, ώστε να έχουμε τη μεγαλύτερη δυνατή απόδοση με το μικρότερο κόστος.

Μια βασική παράμετρος σχεδιασμού είναι η αξιοπιστία του κάθε μηχανήματος. Καθένα μηχανήμα σταματά να λειτουργεί ανά διαστήματα για διάφορους λόγους, λειτουργικούς ή τυχαίους. Για να υπολογίσουμε την αξιοπιστία ενός μηχανήματος μετράμε :

- $MX\Lambda$ = μέσος χρόνος λειτουργίας μεταξύ δύο σταματημάτων
- $MX\Sigma$ = μέσος χρόνος ενός συνήθους σταματήματος

Έτσι έχουμε :

$$\frac{MX\Lambda}{MX\Sigma + MX\Lambda} = (\%) \text{ αξιοπιστία μηχανής}$$

Κατά DIN 8782 στους χρόνους σταματημάτων προσμετρούνται μόνο χρόνοι μικρότεροι από τρία λεπτά. Έτσι π.χ. μια βλάβη, έλλειψη πρώτων υλών κ.λ.π. δεν επηρεάζουν την αξιοπιστία της μηχανής. Όταν έχουμε μια γραμμή παραγωγής που αποτελείται από 6 μηχανές με αξιοπιστία 95 %, η αξιοπιστία της γραμμής θα είναι :

$$0.95 \times 0.95 \times 0.95 \times 0.95 \times 0.95 \times 0.95 = 0.735 \text{ ή } 73.5 \%$$

Για να επιτύχουμε μια καλύτερη απόδοση της γραμμής από την αξιοπιστία που έχει, είναι απαραίτητο να καλύψουμε τους νεκρούς χρόνους των μικρών σταματημάτων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί, παρεμβάλλοντας «πνεύμονες» μεταξύ των μηχανών. Δηλαδή σχεδιάζοντας μεταφορικές ταινίες ή διατάξεις με μεγαλύτερη χωρητικότητα, οι οποίες να επιτρέπουν στη μηχανή να λειτουργεί για κάποιο χρόνο, ακόμα και αν η προηγούμενη ή η επόμενη μηχανή έχει σταματήσει. Επίσης η κάθε μηχανή θα πρέπει να είναι κάπως γρηγορότερη της προηγούμενης, ώστε να μπορεί να απορροφήσει το συσσωρευμένο προϊόν και να αδειάσει τους «πνεύμονες» όταν αποκατασταθεί η λειτουργία. Οι «πνεύμονες» σχεδιάζονται μόνο για να καλύπτουν τις μικρές στάσεις, καθώς ο σχεδιασμός μεγαλύτερων θα ήταν αντίθετος σε οποιαδήποτε οικονομοτεχνική λογική.



Για τον ορθολογιστικό σχεδιασμό μιας ολοκληρωμένης γραμμής παραγωγής θα πρέπει να λάβουμε υπόψη τα εξής :

- Να έχουμε τους σωστούς «πνεύμονες» μεταξύ των μηχανών
- Να καθορίσουμε τις σωστές ταχύτητες των μηχανών
- Να ξεκαθαρίσουμε την «κρίσιμη» μηχανή

Με τον όρο «κρίσιμη» μηχανή εννοούμε την μηχανή που ελέγχει την ταχύτητα της γραμμής, δηλαδή την πιο αργή. Είναι επόμενο πως ως «κρίσιμη» επιλέγεται η ακριβότερη μηχανή, που στην περίπτωση της βιομηχανίας εμφιάλωσης είναι η μηχανή εμφύσησης. Όλα τα υπόλοιπα μηχανήματα επιλέγονται με ονομαστική ταχύτητα μεγαλύτερη από 20-40% από την ταχύτητα της «κρίσιμης». Έτσι μια καλά σχεδιασμένη γραμμή μπορεί να αποδώσει ως και 95% της ονομαστικής της ταχύτητας.

Σημαντικότατο ρόλο βεβαίως παίζει η απρόσκοπτη λειτουργία των μηχανημάτων, που είναι αποτέλεσμα εμπειριστατωμένης συντήρησης και διαρκούς εκπαίδευσης του προσωπικού, καθώς και καλή επιλογή στον άξονα απόδοσης - κόστους πρώτων υλών. _

Βιβλιογραφία – Δείγματα δοκιμών

1. Operation & maintenance manual, Compressor type VH18H3N
Hamworthy Belliss & Morcom
2. Περί τυπικής διάταξης αεροσυμπιεστή (Αεροδυναμική α.ε.)
3. Denco Limited, Compressed air Dryer description of operation,
shematic flow diagram
4. www.users.cs.umn.edu
5. www.telemeccanique.com
6. www.engin.umich.edu
7. Sidel s.a. , Operation manual for Blowing machine SBO 14,
www.sidel.fr
8. Περιοδικό Pet planet insider Τεύχος : 1/99
9. Alsim filler machine description
10. All filling technologies, άρθρο 127. www.fillinengin.umn.edu
11. Arol closure systems , Operation and maintenance manual
www.arol.it
12. www.kosme.it
13. Sasib, Automatic Rotary Labelling Machines
14. Pet Guide by Sidel s.a. 1998. Revision 1.0 05/03/98
15. Keber srl. Keber formapack
16. Kronos & Kettner Production Portfolio
17. Acmi Prima Italy. General catalogue www.acmi.it
18. www.ultrafilter.dk



19. Άρθρο του C. R. Rosst από το περιοδικό 'Soft drinks management international '
20. Cuno fluid purification. Issued 15/11/92
21. Hanovia UV systems. Halma group
22. Ecological considerations by Tony O' Neill 2001
23. Pet co-injection technology, άρθρο του J.P. Stewart, Pet planet 04/02

Ευχαριστώ θερμά, τον Dr. Cris Καυίλορουλο για τις συμβουλές του σε θέματα δομής και παρουσίας, τους Γκώνη Σπύρο, Λευτέρη Μπούρα και Αποίτη Στεφανόπουλο για την συνδρομή τους στις μεταφράσεις των κειμένων, καθώς και τον Mike Παναγόπουλο για την τεχνική υποστήριξη.