

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΑΣ

**ΤΜΗΜΑ: ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ
ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ: ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ
& ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ**

ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ



ΜΕΡΟΣ Α΄

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΘΕΩΡΙΑΣ



**ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΣΕ ΘΕΜΑΤΑ ΥΛΙΚΩΝ
ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ**



ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΚΑΝΑΒΟΥΡΑΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

ΑΘΗΝΑ, 2015

ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΜΕΡΟΣ Α

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ
 - a. Ο ρόλος της συσκευασίας
 - b. Συσκευασία και καταναλωτής
 - c. Θέματα βιομηχανικών εφαρμογών
 - d. Θέματα ανάλυσης συσκευασίας
 - e. Οικονομία της συσκευασίας

2. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
 - a. Αλλοίωση των τροφίμων
 - b. Ποιότητα τροφίμων
 - c. Χρόνος ζωής των προϊόντων

3. ΥΛΙΚΑ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ
 - A) ΧΑΡΤΙ
 - i. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΧΑΡΤΙΟΥ
 - i. ΤΥΠΟΙ ΧΑΡΤΙΝΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ
 - i. ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ

 - B) ΠΟΛΥΜΕΡΗ
 - i. ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΜΟΡΙΑΚΟ ΒΑΡΟΣ
 - i. ΣΗΜΕΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ

 - Γ) ΓΥΑΛΙ

4. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΕ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ
 - A) ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ
 - B) ΘΕΡΜΙΚΕΣ
 - Γ) ΟΠΤΙΚΕΣ
 - Δ) ΡΟΗ
 - E) ΤΡΙΒΗ
 - ΣΤ) ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΑΖΑΣ
 - Z) ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ

ΜΕΡΟΣ Β

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ

5. ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

6. ΑΣΚΗΣΕΙΣ

ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΜΕΡΟΣ Α

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαχείριση των θεμάτων σε μια εφοδιαστική αλυσίδα έχει γίνει τα τελευταία χρόνια αντικείμενο εκτενών μελετών στον διεθνή αλλά και στον Ελλαδικό χώρο. Εφαρμογές και μέθοδοι αποτελεσματικού σχεδιασμού, αντιμετώπισης των προβλημάτων, υπολογισμού του ρίσκου και διαχείρισης των βέλτιστων πρακτικών για την επίτευξη των αναμενόμενων υψηλών αποδόσεων έχουν προταθεί και ενσωματωθεί στις διεργασίες μικρών και μεγάλων επιχειρήσεων.

Η παραγωγή, αποθήκευση και διακίνηση των προϊόντων στις σύγχρονες απαιτητικές συνθήκες, εμπλέκει σε κάποιο σημείο και σε διαφορετικό βαθμό, την συσκευασία, τόσο ως μέσο όσο και ως μέθοδο. Αποτελεί δηλαδή η συσκευασία αναπόσπαστο κομμάτι του τελικού αποτελέσματος, το οποίο τελικά καθορίζεται από το περιεχόμενο προϊόν, την συσκευασία και το περιβάλλον διακίνησης του.

Η διαχείριση λοιπόν μιας εφοδιαστικής αλυσίδας δεν μπορεί παρά να συνδυάζεται και να εξαρτάται και από την διαχείριση των μέσων, των τεχνικών και των επακόλουθων επιπτώσεων της συσκευασίας στην ποιότητα, στο κόστος και στην αποδοχή από τον καταναλωτή, των τελικών αγαθών.

Η συνδυασμένη γνώση της συσκευασίας και της διαχείρισης των εφοδιαστικών αλυσίδων είναι ο σκοπός αυτού του εγχειριδίου. Παρουσιάζονται τόσο ο ρόλος της συσκευασίας όσο και η σχέση της με την εφοδιαστική αλυσίδα και τις σύγχρονες αντιλήψεις που την επηρεάζουν και την καθοδηγούν στην παροχή των αγαθών στις αγορές.

Η εξοικείωση με εμπλεκόμενων με τους όρους και τις έννοιες της συσκευασίας είναι τελικά μέρος της κατανόησης των όρων και των εννοιών της ίδιας της εφοδιαστικής αλυσίδας και αναπόσπαστο κομμάτι των δεξιοτήτων των σύγχρονων εμπλεκόμενων στην παραγωγή, αποθήκευση και διακίνηση των αγαθών.

Γνωρίζοντας ότι το αντικείμενο είναι μεγάλο και συνεχώς εξελισσόμενο, το εγχειρίδιο αυτό διατηρεί την ελπίδα μιας ελάχιστης συνδρομής στην γνώση και κατανόηση των περιεχόμενων αντικειμένων που πραγματεύεται.

ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ - MARKETING ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗΣ

Για να καταλάβουμε τον συσχετισμό και το ρόλο του marketing με την συσκευασία θα προχωρήσουμε πρώτα σε μια περιγραφή δύο βασικών θεμάτων, της έννοιας του marketing και του πως το marketing αντιμετωπίζει την κοινωνία, μέσα από την τμηματοποίηση της. Και τα δύο καθορίζουν την μορφή των προϊόντων που παρουσιάζονται καθημερινά στην αγορά και φυσικά της συσκευασίας τους σαν βασικό μέσο προσέλευσης του καταναλωτή. Έχει λεχθεί πως πολλές φορές η συσκευασία επικοινωνεί πολύ περισσότερο στον καταναλωτή από ότι η ίδια η μάρκα του προϊόντος.

Το Marketing έχει καταλήξει να είναι η πιο σημαντική ιδέα στον κόσμο των επιχειρήσεων και η πλέον ισχυρή δύναμη πίσω από την κουλτούρα. Συχνά παρεξηγείται ως ένας επιτηδευμένος όρος για την διαφήμιση. Αλλά είναι περισσότερο από αυτό. Είναι η συστηματική προσπάθεια να καλυφθούν ανθρώπινες επιθυμίες μέσα από την παραγωγή προϊόντων και υπηρεσιών που οι άνθρωποι θα αγοράσουν. Είναι το σημείο που τα όρια και τα σύνορα της ανθρώπινης φύσης συναντούν τα όρια και τα σύνορα της τεχνολογίας. Σαν υποτιμωμένοι εραστές, οι marketing-oriented εταιρείες μας βοηθούν να ανακαλύψουμε επιθυμίες που ποτέ δεν ξέραμε ότι είχαμε, και τρόπους για να τις πραγματώσουμε που ποτέ δεν φανταστήκαμε ότι μπορούμε να εφεύρουμε.

Σχεδόν τα πάντα από αυτά που μπορούμε να αγοράσουμε είναι το αποτέλεσμα της δουλειάς κάποιων ανθρώπων του marketing σε κάποια εταιρεία, ανθρώπων που έριξαν πολύ σκέψη πάνω στο πως μπορούν να μας κάνουν ευτυχισμένους. Δεν τους βγαίνει πάντα σωστά. Αλλά προσπαθούν.

Οι αγορές είναι αρχαίες, αλλά η σύλληψη του marketing ξεπήδησε μόλις στο μέσο του 20^{ου} αιώνα. Στις αγροτικές και εμποριο-κεντρικές κοινωνίες υπήρχαν παραγωγοί, σινάφια, έμποροι, τραπεζίτες και λιανέμποροι, αλλά η οικονομική συνείδηση ήταν επικεντρωμένη στην δημιουργία χρημάτων, όχι στην πραγμάτωση των ανθρώπινων επιθυμιών. Με την Βιομηχανική Επανάσταση, η μαζική παραγωγή οδήγησε σε μία έμφαση στον έλεγχο του κόστους της παραγωγής παρά στην ικανοποίηση του πελάτη. Καθώς οι αγορές ωρίμαζαν στα πρώτα χρόνια του 20^{ου} αιώνα, οι εταιρείες έπρεπε να ανταγωνιστούν η μία την άλλη πιο έντονα για μερίδιο αγοράς, αλλά αυτό τυπικά το έκαναν μέσω διαφημίσεων και προωθητικών ενεργειών που σκοπό είχαν να ξεφορτώσουν αγαθά πάνω σε πελάτες που προέβαλαν αντίσταση.

Σε μετέπειτα εποχές εταιρείες καταναλωτικών αγαθών όπως η Procter & Gamble και η General Electric ανέπτυξαν μία νοοτροπία μεγαλύτερου σεβασμού του καταναλωτή, κάνοντας ταυτόχρονα περισσότερες ερωτήσεις πάνω στο τι είναι ο καταναλωτής στην πραγματικότητα. Η επανάσταση του marketing ήρθε με την

ίδια αίσθηση του αξιοθαύμαστου προφανούς που συνοδεύει όλες τις επιστημονικές επαναστάσεις: Οι επιχειρήσεις θα πρέπει να παράγουν αυτό που οι άνθρωποι θέλουν, αντί να προσπαθούν να πείσουν τους ανθρώπους να αγοράσουν αυτό που οι επιχειρήσεις τυγχάνει να παράγουν. Αυτές οι εταιρείες έστησαν τμήματα marketing αφιερωμένα στο να βρουν τι θέλει ο κόσμος από τις λάμπες του και τα απορρυπαντικά του. Η επιτυχία τους έκανε μιμητές να ξεπηδήσουν, και τώρα οι περισσότερες επιχειρήσεις έχουν στην δύναμή τους τμήματα marketing που συντονίζουν έρευνα και ανάπτυξη προϊόντων, διαφήμιση, προωθητικές ενέργειες και διανομή.

Η μετάβαση από την επικέντρωση στην παραγωγή στην επικέντρωση στο marketing είναι κάτι που ακόμη βρίσκεται σε εξέλιξη. Είναι η πιο σημαντική αλλά και η λιγότερο κατανοητή επανάσταση στην ανθρώπινη ιστορία, σηματοδοτώντας μία αποφασιστική μετακίνηση ισχύος από τους οργανισμούς στους μεμονωμένους καταναλωτές. Με την λογική του production-orientation, οι ανθρώπινες δραστηριότητες πρώτα 'ρωτούσαν' τι μπορούμε να φτιάξουμε, και μετά αν οποιοσδήποτε θα το ήθελε. Με την λογική του marketing-orientation πρώτα ρωτάμε τι θέλουμε και μετά πως μπορούμε να εφεύρουμε τα μέσα για να καλύψουμε αυτή την επιθυμία. Η παραγωγή έκανε τους ανθρώπους σκλάβους της τεχνολογίας – όχι πια. Τι μπορούν να σημαίνουν η αποξένωση και η εκμετάλλευση όταν ο επιχειρηματικός κόσμος ακούει με τεντωμένο αυτί τις επιθυμίες μας; Το πρόβλημα δεν είναι ότι το marketing προωθεί τον υλισμό. Μάλλον το αντίθετο. Προωθεί μία ναρκισσιδική ψευδο-πνευματικότητα, βασισμένη στην υποκειμενική απόλαυση, την κοινωνική θέση, τον ερωτισμό και το lifestyle. Οι νοητικές συνδέσεις που προκαλεί ένα προϊόν γίνονται πιο σημαντικές από τις φυσικές του ιδιότητες. Ένας κόσμος που ορίζεται από το marketing για να πραγματώνει ανθρώπινες επιθυμίες μπορεί εύκολα και γρήγορα να μεταλλαχτεί σε μία εικονική πραγματικότητα όπου ούτε τα προϊόντα, ούτε οι καταναλωτές απαιτούν κάποια φυσική βάση. Το marketing δεν είναι απλά η γαρνιτούρα στον υλικό κόσμο. Έχει γίνει η συνταγή, η κουζίνα και ο μάγειρας.

Πως συμπεριφέρεται ο καταναλωτής; Η απλή αυτή ερώτηση μπορεί να απαντηθεί από τον κάθε ένα μας τη στιγμή της αυτοκριτικής που απλώνουμε το χέρι στο ράφι του supermarket και επιλέγουμε το ένα προϊόν έναντι του άλλου. Μπορούμε όμως να κάνουμε μια αναδρομή στο πρόσφατο παρελθόν της καταναλωτικής συμπεριφοράς. Στο μακρινό παρελθόν και στις παραδοσιακές κοινωνίες τα «συμπεριφορικά» σχήματα των ανθρώπων ήταν λίγο πολύ σχηματισμένα από την σύνδεσή τους με ένα από τα δύο φύλα, την εθνικότητα / φυλή στην οποία ανήκαν, την θρησκεία τους, την κοινωνικο-οικονομική τους κατάσταση, το επάγγελμα και την ηλικιακή τους ομάδα –περισσότερο από ότι σήμερα σε κάθε περίπτωση. Υπήρχαν σαφείς ομάδες από στοιχεία που σχετιζόντουσαν με την εμφάνιση, την γενική συμπεριφορά και ειδικά με την κατανάλωση. Τω καιρώ εκείνω, αν γνώριζες ένα από αυτά τα στοιχεία μπορούσες εύκολα να μαντέψεις και τα υπόλοιπα. Αλλά όλα αυτά έχουν αλλάξει... Καθώς οι άνθρωποι γίνονται ολοένα και πιο αυτόνομοι, και καθώς οι πιθανότητες έχουν πολλαπλασιαστεί, όλοι μας έχουμε γίνει ολοένα και λιγότερο προσδιορισμένοι ως τυπολογίες.

Πίσω στην δεκαετία του '70 μάθαμε ότι λόγω αυτού του φαινομένου αξίζει τον κόπο να προχωρήσουμε σε τμηματοποιήσεις με βάση ψυχογραφικά κριτήρια, κάτι που περιλαμβάνει χαρακτηρισμούς με βάση ομάδες lifestyle. Μία από τις ευρέως αποδεκτές προσεγγίσεις η VALS (Values, Attitudes, and Lifestyles) κατηγοριοποιούσε τους ανθρώπους σε 10 'lifestyle groups', και αργότερα μειώθηκε σε οκτώ. Με απογοήτευση όμως ανακαλύφθηκε ότι οι ομαδοποιήσεις δεν μπορούσαν να προβλέψουν με ένα λογικό επίπεδο πειστικότητας ή σταθερότητας συγκεκριμένες αγοραστικές αποφάσεις ή προτιμήσεις στο πλαίσιο συγκεκριμένων προϊόντικών κατηγοριών. Η εναλλακτική ήταν να χρησιμοποιηθούν αυτές οι ομαδοποιήσεις ως... χαρακτηρισμοί. Έτσι, και πάλι όπως και στην περίπτωση των δημογραφικών και κοινωνικό-οικονομικών κατηγοριοποιήσεων βρίσκουμε σε κάθε ένα από τα τμήματα που δημιουργήσαμε 'αντιπροσώπους' από όλα τα είδη lifestyle.

Οι καταναλωτές μας αρνούνται σχεδόν απόλυτα να κολλήσουν με τμήματα που δημιουργούν ομοιογενείς ομάδες σύμφωνα με δημογραφικές, κοινωνικο-οικονομικές παραμέτρους ή ακόμη και με βάση παραμέτρους lifestyle. Ο καταναλωτής μας δεν θα συμπεριφερθεί και δεν θα αγοράσει με βάση τις στερεοτυπικές μας προβλέψεις. Ο καταναλωτής είναι 'συνθέτης' και για αυτό τον αποκαλώ 'εκλεκτικό καταναλωτή'. Του αρέσει το παλιό (Frank Sinatra), όπως και το καινούργιο (γρήγορο internet), το βολικό (κατεψυγμένα φαγητά) όπως και το μελαλιδικό (μαγείρεμα, μαστορέματα), το ακριβό (BMW) όπως και το φθινό (καταστήματα με εργαλεία & εξοπλισμό do-it-yourself), το διεθνές (Giorgio Armani) όπως και αυτό που έχει τοπικές ρίζες (παραδοσιακοί χοροί), το σοφιστικό (Nokia) όσο και το απλό (οικογένεια), το εκλεπτυσμένο (διπλός εσπρέσο με κρέμα) όσο και το πιο χονδροκομμένο (ποδόσφαιρο).

Τι είναι αυτό όμως που στοιχειοθετεί την μακρόχρονη τάση που σχηματοποιεί των εκλεκτικό καταναλωτή; Ο εκλεκτικός καταναλωτής κινητοποιείται από τον Φόβο να Χάσουμε Πράγματα (Fear of Missing Out) ένα κίνητρο που έχω διερευνήσει τα τελευταία πέντε χρόνια. Αυτή την στιγμή στον Δυτικό Κόσμο πάνω από το 70% του πληθυσμού κινητοποιείται από αυτόν τον Φόβο. Από αυτούς, ένα 30% θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι κινητοποιείται ιδιαίτερα έντονα. Αυτό αντιστοιχεί σε ένα μεγάλο αριθμό πελατών.

Ο εκλεκτικός καταναλωτής έχει πάθει φρενίτιδα από το πλήθος των ευκαιριών και τώρα έχει εθιστεί στην ίδια την ιδέα. Δεν θέλει να χάσει τίποτα, και έτσι η ζωή του καταλήγει να είναι πολυσύνθετη και ταυτόχρονα φορτωμένη. Είναι πάντα προσβάσιμος στο κινητό ή στο email, ενημερωμένος, ανοιχτός σε νέες προτάσεις και όχι τόσο αρνητικός απέναντι στην αλλαγή. Ξοδεύει λιγότερα χρόνια στο ίδιο διαμέρισμα απ' ό,τι συνήθιζε στο παρελθόν, λιγότερα χρόνια στην ίδια δουλειά και στον ίδιο γάμο (αν δεν ήδη ανήκει στην ομάδα των αιωνίως εργένηδων). Σε αντίθεση με το παρελθόν, είναι περήφανος που είναι προσαρμοστικός και ευέλικτος και δεν είναι προσκολλημένος σε μία σταθερή προσωπικότητα. Και, ειρήσθω εν παρόδω, είναι πολύ λιγότερο πιστός στις μάρκες σε σχέση με παλιότερα. Στην πραγματικότητα, αγκαλιάζει νέες μάρκες τόσο παρορμητικά, που οι marketers εύκολα πείθονται για την φοβερή τους εφευρετικότητα και τα αποδίδουν όλα εκεί.

Ένα κεντρικό insight για τον επανασχεδιασμό της τμηματοποίησης της αγοράς έχει ως εξής: ο εκλεκτικός καταναλωτής, που δεν θέλει να χάσει τίποτα, 'συνδέεται' με διαφορετικά, ακόμη και συγκρουόμενα κίνητρα σε διαφορετικές στιγμές. Καθώς αυτά τα κίνητρα δεν είναι απαραίτητα συμβατά μεταξύ τους, ο εκλεκτικός καταναλωτής βρίσκεται συνεχώς σε κίνηση από το ένα στερεότυπο στο άλλο, από το ένα lifestyle στο άλλο.

Για να προσαρμοστούμε σε αυτή τη νέα πραγματικότητα του καταναλωτή, η τμηματοποίησή μας (και τελικά και τα προϊόντα και οι υπηρεσίες μας, η επικοινωνία μας κοκ.) θα πρέπει να σχηματιστούν όχι με βάση ομάδες από ανθρώπους, αλλά με βάση κίνητρα και χρήσεις. Σημειώστε ότι όταν αναφέρομαι σε 'χρήσεις' εννοώ, μεταξύ άλλων, ψυχολογικές χρήσεις όπως ο έλεγχος της διάθεσης, η ενίσχυση της αυτοπεποίθησης, ο ερεθισμός της φαντασίας, και επίσης εννοώ κοινωνικές χρήσεις, όπως η αποστολή μηνυμάτων σε άλλους, την ενίσχυση της σύνδεσης με μία ομάδα, την δημιουργία ατμόσφαιρας ή τον έλεγχο των εντυπώσεων.

Ένα 'τμήμα' είναι τώρα μία ομάδα από 'αγορές / καταναλώσεις' που ορίζονται από ένα συγκεκριμένο context αγοράς ή κατανάλωσης του προϊόντος σε συνδυασμό με κάποια κίνητρα που ξεπηδούν από ανάγκες. Τα νέα τμήματα θα μπορούσαν να αποτελούνται από συγκεκριμένες διαθέσεις (όπως το τμήμα 'θα δώσω στον άντρα μου ένα μάθημα που δεν πρόκειται να το ξεχάσει') αλλά και συγκεκριμένες κοινωνικές καταστάσεις (όπως το τμήμα 'Που ήσουν χαμένος τόσο καιρό βρε παιδί μου'), πάντα σύμφωνα με το τι είναι σχετικό στην συγκεκριμένη προϊοντική κατηγορία. Σημειώστε ότι όταν εξετάζουμε ένα συγκεκριμένο context αγοράς ή κατανάλωσης (π.χ. ένα γεύμα σε εστιατόριο) θα βρούμε πολύ διαφορετικά κίνητρα να βρίσκονται από πίσω ('απόψε βγαίνουμε μόνοι μας, χωρίς παιδιά' σε αντιδιαστολή με το 'γιορτάζουμε τα γενέθλια του παππού'), και θα πρέπει να θεωρηθούν διαφορετικά τμήματα. Ένας συγκεκριμένος καταναλωτής είναι πιθανό να συμμετέχει σε ένα τμήμα, αρκετά τμήματα ή και σε κανένα. Τα προϊόντα λοιπόν για να είναι επιτυχημένα δεν έχουν να κάνουν τίποτα άλλο από το να μάθουν από όλα αυτά και να ικανοποιήσουν τον πελάτη-καταναλωτή! Και η συσκευασία δεν έχει άλλο δρόμο παρά να πείσει για το προϊόν και να ικανοποιεί κάθε φορά!

Logistics και καταναλωτής. Για να μπορέσει η εταιρεία να ικανοποιήσει τους πελάτες της, θα πρέπει πρώτα από όλα να κατανοήσει πώς η συμμόρφωση με τις απαιτήσεις τους σχετίζεται με αυτή την ικανοποίηση. Μπορούμε να πούμε πως υπάρχουν τριών ειδών απαιτήσεις που θα πρέπει να ικανοποιηθούν:

Εκπεφρασμένες απαιτήσεις. Είναι αυτές οι απαιτήσεις (revealed needs) που εκφράζονται από τον ίδιο το πελάτη. Προκύπτουν από μία απλή ερώτηση προς τον πελάτη. Στην περίπτωση των υπηρεσιών logistics, οι απαιτήσεις αυτές ικανοποιούνται (ή δεν ικανοποιούνται) αναλόγως με την συμμετοχή τους (ή με την απουσία τους) από τις παρεχόμενες προς τον πελάτη υπηρεσίες. Η έγκαιρη παράδοση μίας παραγγελίας είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα. Όσο πιο γρήγορα (ή με καθυστέρηση) γίνεται μία παράδοση τόσο πιο πολύ ικανοποιείται (ή δυσαρεστείται) ο πελάτης.

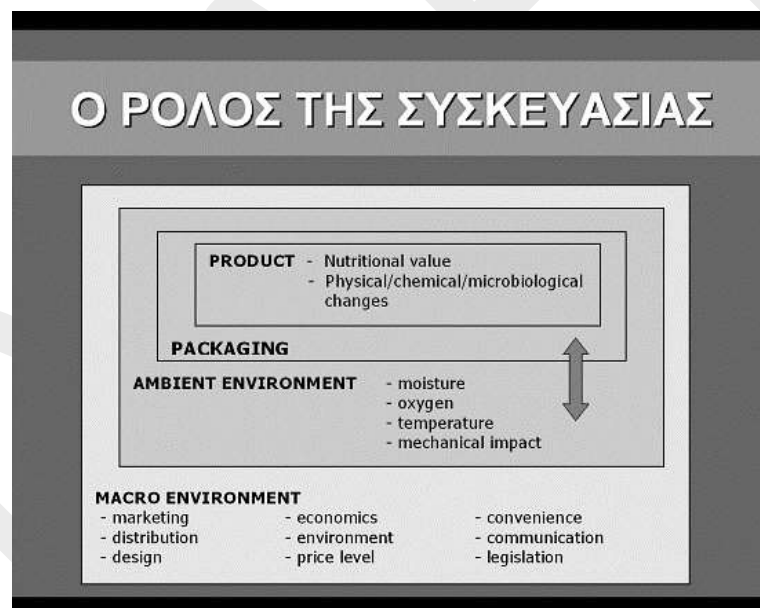
Αναμενόμενες απαιτήσεις. Είναι αυτές οι απαιτήσεις (basic needs) που θεωρούνται από τον ίδιο το πελάτη ως βασικές προϋποθέσεις. Ο πελάτης τις θεωρεί δεδομένες και δεν τις αναφέρει (μέχρις ότου η εταιρεία αμελήσει να του τις ικανοποιήσει). Στην περίπτωση των υπηρεσιών logistics, θεωρούνται ως αναμενόμενες για όλες τις παρεχόμενες προς τον πελάτη υπηρεσίες. Χωρίς αυτές οι παρεχόμενες υπηρεσίες δεν έχουν καμία πραγματική αξία. Η απουσία τους όμως δημιουργεί στο πελάτη σοβαρή δυσαρεσχήση. Τις πιο πολλές φορές, η ικανοποίηση αυτών των απαιτήσεων περνά απαρατήρητη από την πλειοψηφία των πελατών. Η ευγενική συμπεριφορά του μεταφορέα είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα. Όταν ο οδηγός του φορτηγού κατά την παράδοση μίας παραγγελίας είναι ευγενικός, προσεκτικός και συνεπής ο πελάτης σπανίως το αντιλαμβάνεται. Όταν όμως είναι αγενής, απρόσεκτος και ασυνεπής ο πελάτης δυσαρεστείται (έστω και προς στιγμή). Οι αναμενόμενες απαιτήσεις του πελάτη θα πρέπει πάντα να ικανοποιούνται.

"Συναρπαστικές" απαιτήσεις. Είναι αυτές οι απαιτήσεις (excitement needs) που είναι πολύ δύσκολο να τεκμηριωθούν ακόμα και από τον ίδιο τον πελάτη. Είναι πέρα από τις βασικές ή τις αναμενόμενες απαιτήσεις του. Η απουσία τους συνήθως δεν δημιουργεί στο πελάτη σοβαρή δυσαρεσχήση. Αντιθέτως η παρουσία τους

συναρπάξει τον πελάτη. Στην περίπτωση των υπηρεσιών logistics, η εργονομική - οικολογική συσκευασία των προϊόντων, άσχετα από την αξία τους, ενθουσιάζει τον πελάτη. Εάν η συσκευασία αυτή προοριζόταν μόνο για τα ακριβά προϊόντα ο πελάτης δεν θα διατύπωνε κανένα παράπονο. Είναι λεπτομέρειες που ενθουσιάζουν τον πελάτη και του δημιουργούν την επιθυμία να προτιμά αυτά τα προϊόντα. Αφού οι πελάτες, τις πιο πολλές φορές δεν είναι ενημερωμένοι για αυτές τις απαιτήσεις, είναι υποχρέωση του προσωπικού της εταιρείας να διερευνά συνεχώς τις ανάγκες και τα προβλήματα των πελατών και να εντοπίζει νέα επίπεδα παροχής υπηρεσιών. Ότι συναρπάξει τον πελάτη σήμερα, είναι δυνατόν να θεωρηθεί ως αναμενόμενο σε λίγους μήνες. Η εισαγωγή μιας συναρπαστικής υπηρεσίας σήμερα είναι δυνατόν να αντιγραφεί από τους ανταγωνιστές και τότε όλοι οι πελάτες θα το αναμένουν από κάθε εταιρεία. Στην περίπτωση των υπηρεσιών logistics, ένα τυπικό παράδειγμα είναι η καθημερινή, έγκαιρη παράδοση και η δωρεάν τεχνική υποστήριξη. Συγχρόνως, οι αναμενόμενες απαιτήσεις είναι δυνατόν να καταστούν συναρπαστικές μετά από ένα πραγματικό ή πιθανό γεγονός. Για παράδειγμα, ένας πελάτης σε ένα απομακρυσμένο χωριό θα ευχαριστήσει ολόψυχα τον οδηγό του φορτηγού που θα του παραδώσει την παραγγελία του κάτω από αντίξοες καιρικές συνθήκες.

Θέματα βιομηχανικών εφαρμογών.

Ο ρόλος της συσκευασίας είναι όλο και περισσότερο αναπόσπαστος από την αποθήκευση, μεταφορά, και κατανάλωση των προϊόντων. Σήμερα δεν διακινείται σχεδόν κανένα ασυσκευαστο προϊόν, ενώ φυσικά και δεν πωλείται μόνο άδεια η συσκευασία, παρά στην περίπτωση της «οικιακής συσκευασίας», όπου ο καταναλωτής υποτυπωδώς συσκευάζει προϊόντα για συντήρηση στο σπίτι. Η συσκευασία πέρα από το να περιέχει και να συντηρεί, βοηθά στην επεξεργασία, στη διανομή, στο marketing, τις πωλήσεις και ακόμα στο μαγείρεμα και το σερβίρισμα των προϊόντων. Η απαραίτητη προστασία που προσφέρει η συσκευασία είναι τόσο έναντι των περιβαλλοντικών συνθηκών όσο και των φυσικών κινδύνων τους οποίους είναι πιθανόν να αντιμετωπίσει ένα προϊόν.



Με βάση την λειτουργικότητα τους τα υλικά συσκευασίας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο βασικές κατηγορίες: την πρωτογενή ή προστατευτική συσκευασία η οποία έρχεται σε άμεση επαφή με το προϊόν και την δευτερογενή ή συσκευασία διακίνησης η οποία εμπεριέχει ένα ή περισσότερα προϊόντα και έχει σαν πρώτο ρόλο την προστασία και διακίνηση του προϊόντος στο διακομιστικό και αποθηκευτικό περιβάλλον.

Σε γενικές γραμμές πολλά και διάφορα υλικά συσκευασίας, όπως το γυαλί, το μέταλλο, το χαρτί, τα πολυμερή και τα κεραμικά χρησιμοποιούνται σε απλές ή σύνθετες μορφές και σε συνδυασμούς τους, ενώ και μια ποικιλία βοηθητικών υλικών όπως κόλλες, συνδετικά, εκτυπωτικά, λάκκες, βερνίκια και λουπά χρησιμοποιούνται επίσης. Η συσκευασία μπορεί ακόμα να κατηγοριοποιηθεί σε σκληρά, ημί-σκληρά και εύκαμπτα υλικά ανάλογα και με τη μηχανική αντοχή που απαιτείται από αυτά. Όλα αυτά τα υλικά δίνουν πολλές και διάφορες δυνατότητες για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη όλο και περισσότερων νέων συσκευασιών για τις όλο και αυξανόμενες ανάγκες των παραγωγών αλλά και των καταναλωτών. Η ποικιλία, η ευκολία και η οικονομία των πολυμερών συντέλεσαν σημαντικά στην μεταλλαγή στην βιομηχανία και στην κοινωνία που έφερε η συσκευασία από τη δεκαετία του '70 μέχρι σήμερα. Είναι σημαντικό να τονιστεί πως κατά το σχεδιασμό της συσκευασίας δεν θα πρέπει να

παραβλέπεται το ότι η συσκευασία θα πρέπει να είναι συμβατή με τις γραμμές παραγωγής, με τις απαιτήσεις σε όγκο ή βάρος του προϊόντος, το χρόνο ζωής του, τις αλληλεπιδράσεις του προϊόντος με τα υλικά συσκευασίας αλλά και με το περιβάλλον, με το διακομιστικό περιβάλλον και τους κινδύνους του, να παρέχει τη μέγιστη χρήση χώρου και οικονομία στη διακίνηση, ασφάλεια και ευκολία, με γνώμονα το φυσικό, το χημικό αλλά και το ανθρώπινο περιβάλλον.

Από τους κύριους ρόλους της συσκευασίας, η διατηρησιμότητα ενός προϊόντος, εξαρτάται από πολλούς και ποικίλους παράγοντες οι οποίοι είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό επηρεάζουν την διατήρηση της ποιότητας και κατ' επέκταση το χρόνο ζωής του προϊόντος. Η διατηρησιμότητα σχετίζεται με την επεξεργασία, τη σύσταση, τα υλικά συσκευασίας και τις συνθήκες αποθήκευσης. Καθώς η εμπορική αξία ενός προϊόντος εξαρτάται από το χρόνο ζωής του, την ποιότητα, την ασφάλεια και την ευκολία χρήσης του, είναι φανερό το ενδιαφέρον στο να κατανοήσουμε την αλληλεπίδραση των διαφόρων παραγόντων στο σύστημα προϊόν/συσκευασία. Έτσι, οι επαγγελματίες της βιομηχανίας θα είναι σε θέση αν επιλέξουν τα κατάλληλα υλικά συσκευασίας τα οποία θα έγκεινται την επιθυμητή ποιότητα και τον μέγιστο χρόνο ζωής. Η συσκευασία μέσω των λειτουργιών φραγής σε αέρια, υδρατμούς και άλλα οργανικά μικρο-μόρια, όπως και στη θερμότητα, το φως και την δίοδο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, προσφέρει το ιδανικό περιβάλλον για τη διατηρησιμότητα του προϊόντος.

Πέραν των βασικών παραδοσιακών λειτουργιών της προστασίας και διακίνησης, η συσκευασία συμμετέχει ενεργά και στο επίπεδο της επικοινωνίας μεταξύ προϊόντος και καταναλωτή σε θέματα σύστασης, ημερομηνίας λήξης, οδηγίων χρήσης, θεραπευτική αξία και άλλα χαρακτηριστικά αναγκαία βάση νομοθεσίας προστασίας του καταναλωτή. Η λειτουργία αυτή είναι κρίσιμη στην σημερινή κοινωνία της πληροφορίας, τόσο για την ενημέρωση του χρήστη όσο και στο επίπεδο της πληροφορίας που θα πρέπει να είναι διαθέσιμη σε κάθε στάδιο διακίνησης του προϊόντος. Μέσω της συσκευασίας θα πρέπει να επιτυγχάνεται η παρακολούθηση του προϊόντος. Ακόμα, η συσκευασία θα πρέπει να βοηθά στην μοναδική ταυτοποίηση του αποφεύγοντας τις απομιμήσεις και τις παραχαράξεις.

Σε γενικές γραμμές η συσκευασία έχει τον πρώτο ρόλο στην επιλογή του καταναλωτή κατά την πρώτη του επαφή με το προϊόν στο ράφι και στην σχέση που θα αναπτύξει ο πελάτης με αυτό η οποία και θα τον οδηγήσει στην πρώτη αγορά του προϊόντος, ενώ το ίδιο το προϊόν είναι αυτό που θα πρέπει να ικανοποιήσει τον πελάτη ώστε να τον οδηγήσει στην επανάληψη της αγοράς. Η σχέση μεταξύ της συσκευασίας και του προϊόντος είναι άρρηκτη και μοναδική. Αυτή η σχέση θα πρέπει να αναγνωρίζεται τόσο από τους σχεδιαστές και το marketing όσο και από του τεχνικούς και ειδικούς της παραγωγής, της συσκευασίας και της διακίνησης (logistics) ώστε να φτάσει το τέλειο προϊόν στον τελικό καταναλωτή.

Θέματα ανάλυσης της συσκευασίας

Οι αναλυτικές τεχνικές των υλικών και των αντικειμένων της συσκευασίας αναπτύχθηκαν σαν παράλληλη εξέλιξη της ραγδαίας αύξησης της βιομηχανίας της συσκευασίας. Η πολυπλοκότητα, η τεχνική διαφοροποίηση, οι εντεινόμενοι νομοθετικοί κανονισμοί και περιορισμοί και απαιτούμενοι έλεγχοι, οδήγησαν στην ανάλογη ανάγκη τόσο στην συσκευασία τροφίμων όσο και φαρμάκων.

Η σωστή αναγνώριση των υλικών είναι σημαντική για την επιλογή των υλικών και συνεπακόλουθα για την αγορά των υλικών και τον ποιοτικό τους έλεγχο. Το μοίρασμα της ευθύνης μεταξύ πωλητή και αγοραστή των υλικών έχει περάσει από την απόλυτη ευθύνη του πωλητή στην μοιρασμένη ευθύνη με τον αγοραστή ενώ διαφαίνεται μια επιστροφή στην αρχική κατάσταση. Σημαντικό παραμένει η ανάγκη αυξημένης τεχνικής ικανότητας ελέγχου των υλικών, ανεξάρτητα την προέλευση της. Η τεχνική αυτή ικανότητα ζητά και τον ανάλογο τεχνολογικό εξοπλισμό με έμφαση στα εργαστηριακά εξαρτήματα και ανθρώπινο δυναμικό που θα μπορέσει να ανταποκριθεί στην χρήση των σύγχρονων αναλυτικών συσκευών.

Ιδιαίτερα αυξημένη και η αναγνώριση των εργαστηριακών δοκιμών και αναλύσεων για τη έρευνα και ανάπτυξη νέων υλικών και εφαρμογών συσκευασίας, η καταγραφή των ιδιοτήτων τους και η τροποποίηση τους ανάλογα με τις μετρήσιμες και δεδομένες ανάγκες των προϊόντων και των εφοδιαστικών αλυσίδων τους.

Τέλος, αλλά τις περισσότερες φορές η πλέον σημαντική ανάγκης αναλυτικών δεξιοτήτων, αποτελεί η ικανότητα προσδιορισμού της αιτίας των ποιοτικών ή παραγωγικών προβλημάτων. Εδώ, η ταχύτατη και ακριβέστατη ανάλυση είναι άμεσα συνυφασμένη με το οικονομικό όφελος από τη επίλυση των ποιοτικών θεμάτων και την απρόσκοπτη συνέχιση της παραγωγικής διαδικασίας. Καθυστέρηση και λάθος εκτίμηση οδηγούν στην απώλεια παραγωγικής δύναμης και συνεπακόλουθα στο οικονομικό χάσιμο και την μείωση των πωλήσεων και εμπιστοσύνης του καταναλωτή.

Με τους πιο πάνω προβληματισμούς και με αναγνωρισμένη την ανάγκη εξοικείωσης των ασχολούμενων με την συσκευασία, το παρόν εγχειρίδιο αποσκοπεί να δώσει τα βασικά ερεθίσματα και την αναγκαία υποστηρικτική γνώση στους ενδιαφερόμενους, σχετικά με τον εξοπλισμό και τις μεθόδους των βασικών αναλυτικών τεχνικών που χρησιμοποιούνται συχνότερα στα εργαστήρια ανάλυσης συσκευασίας.

Η παρουσίαση συνδυάζει τις βασικές αρχές και το επιστημονικό υπόβαθρο των ιδιοτήτων των υλικών, περνά στους φυσικούς νόμους που τις περιγράφουν και στις τεχνικές αναλυτικές μεθόδους που τους εφαρμόζουν για την περιγραφή των υλικών και των αντικειμένων, με κατάληξη την εφαρμογή και τα θέματα που μπορούν να αντιμετωπιστούν με την χρήση αυτών των τεχνικών και αναλύσεων. Η συσχέτιση των μεθόδων με το θεωρητικό υπόβαθρο των νόμων που τις διέπουν, αν και περιορισμένη λόγω συνάφειας του αντικειμένου με τον σκοπό του εγχειριδίου, ωστόσο κρίθηκε απαραίτητη για την καλύτερη κατανόηση των αναλυτικών δυνατοτήτων της κάθε μεθόδου.

Η ιδιαίτερη έμφαση που δόθηκε στις πρακτικές εφαρμογές δεν μπορεί σε καμιά περίπτωση να καλύψει το ευρύτατο φάσμα των καθημερινών πολύπλοκων και διαφορετικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει ο εμπλεκόμενος στις διεργασίες της συσκευασίας. Ευελπιστεί ωστόσο σε μια επιπλέον διευκόλυνση των αναγνωστών και εξοικείωση με την ελάχιστη έστω πρακτική εφαρμογή, σαν απλό παράδειγμα και σαν ερέθισμα περαιτέρω σκέψης και ενασχόλησης με το αντικείμενο της συσκευασίας.

Σε κάθε περίπτωση, το παρόν εντάσσεται στην πεποίθηση ότι η συσκευασία σαν μια συνεχώς εξελισσόμενη και συνδυαστική τεχνολογία, απαιτεί από του εμπλεκόμενους την όσο το δυνατόν ευρύτερη γνώση και κατανόηση των επιστημονικών, τεχνικών και εφαρμόσιμων πεδίων της, για την αναγκαία επικεντρωμένη, αποδοτική και εξελικτική διαδικασία που απαιτούν όλες οι σύγχρονες τεχνολογίες μείωσης του ρίσκου, διαχείρισης των κινδύνων και συνδρομής στην βελτίωση της παραγωγικότητας και ποιότητας των προϊόντων.

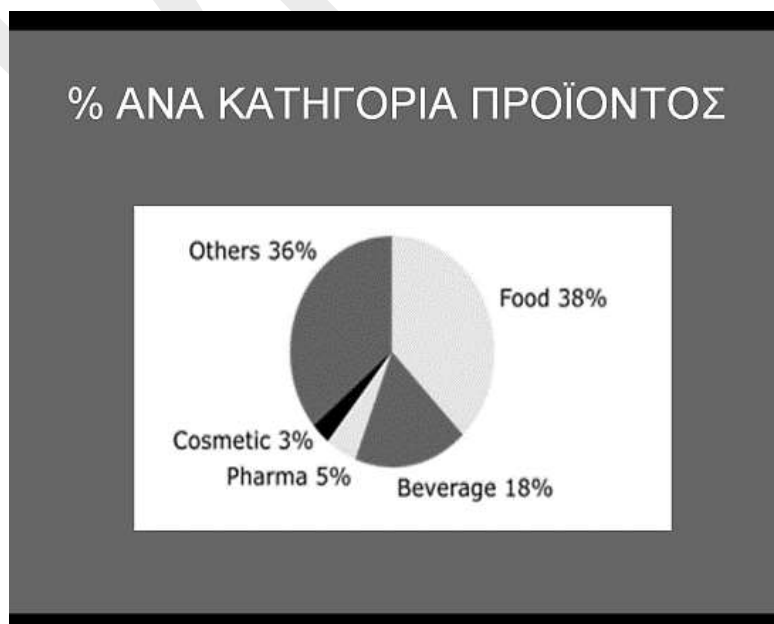
Οικονομία της συσκευασίας

Η συσκευασία επηρεάζει κάθε τομέα της σύγχρονης οικονομίας, από τους πιο εμφανείς της βιομηχανίας προμήθειας των πρώτων υλών και των υλικών μέχρι τους λιγότερο εμφανείς του κόστους και της ζήτησης του κάθε προϊόντος από τα τρόφιμα μέχρι τα οικοδομικά υλικά και τα εξαρτήματα των αυτοκινήτων, καθώς όλα τα προϊόντα είναι συσκευασμένα και έχουν πιθανά ανα-συσκευαστεί μία ή περισσότερες φορές πριν τη χρήση τους. Επιπλέον, υπάρχει το κόστος της απόρριψης το οποίο επιβαρύνει όλους τους καταναλωτές, έμμεσα ή άμεσα και φυσικά το κόστος αποθήκευσης και μεταφοράς τα οποία σαφώς και επηρεάζονται από τη συσκευασία.

Μακροοικονομικά

Με τον όρο συσκευασία καλύπτουμε ένα πολύ ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων, από την παραγωγή και εμπορία των υλικών, των μηχανών μέχρι και τις συναφείς διεργασίες σε κάθε παραγωγική μονάδα. Η οικονομία της συσκευασίας βαδίζει παράλληλα με την οικονομία των αναπτυσσόμενων κρατών καθώς όλα τα σύγχρονα προϊόντα είναι συσκευασμένα.

Η ποσότητα των υλικών συσκευασίας που χρησιμοποιούνται ανά προϊόν ποικίλει ευρέως και εξαρτάται από τη φύση του προϊόντος καθώς και τις απαιτήσεις της αγοράς, αφού η συσκευασία είναι το βασικό μέσο διαφοροποίησης των προϊόντων στην αγορά παρέχοντας προστασία και επικοινωνία στις πολύπλοκες εφοδιαστικές αλυσίδες. Τα προϊόντα λιανικής με κύρια τα τρόφιμα και τα αναψυκτικά, χρησιμοποιούν πάνω από τα 3/4 των συνολικών υλικών ενώ τα βιομηχανικά προϊόντα μόλις το υπόλοιπο 1/4.



Τα απόλυτα ποσά είναι χαμηλότερα στις αναπτυσσόμενες ή υποανάπτυκτες χώρες, καθώς υπάρχει λιγότερη διακόσμηση, πιο απλές μηχανές, μεγαλύτερη εξάρτηση από την εργασία των ανθρώπων, μικρότερες αποστάσεις αποστολής των προϊόντων, χρησιμοποιούνται φθηνότερα υλικά τα οποία και ανακτούνται επαρκέστερα, ενώ λόγω των πιο πάνω, εφαρμόζονται πιο δημιουργικές ιδέες και χρησιμοποιούνται απλούστερα υλικά.



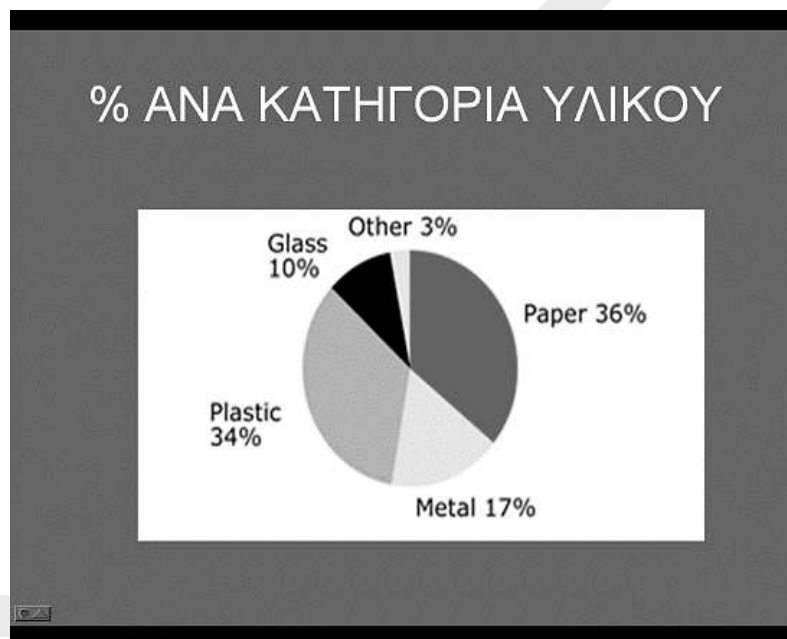
Βελτίωση της συσκευασίας μπορεί να βοηθήσει στην οικονομική ανάπτυξη μέσω της βελτίωσης της αγοράς των προϊόντων, κυρίως των ευπαθών, προσδίδοντας αξία στις εξαγωγές. Η συσκευασία μπορεί να μειώσει το κόστος των προϊόντων και τις απώλειες λόγω αλλοιώσεων και να συνδράμει στην αύξηση της διαθεσιμότητας τους, ειδικά στις εξαγωγές, η οποία οδήγησε σε συνεχή βελτίωση των υλικών και των μεθόδων συσκευασίας, σε πολλές περιπτώσεις υπό την εποπτεία τοπικών κυβερνήσεων ή ακόμα και τμημάτων διεθνών οργανισμών (Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών) στα πλαίσια ενίσχυσης των οικονομιών των ασθενέστερων κρατών.



Οι προμηθευτές των υλικών και των μηχανών συσκευασίας αποτελούν μια μεγάλη κατηγορία οικονομικών δραστηριοτήτων ανάλογα και με τα υλικά. Οι βιομηχανία αυτή είναι ιδιαίτερα ανταγωνιστική, με λίγες εταιρίες

παγκοσμίως να ελέγχουν μόλις πάνω από το 50% της παγκόσμιας παραγωγής, ενώ πολλές εταιρίες παράγουν μόλις έναν τύπο υλικού. Η κερδοφορία αντίστοιχα είναι κάτω από το μέσο όρο άλλων βιομηχανικών κλάδων, και υλικά όπως το χαρτί, τα μέταλλα και οι ρητίνες πλαστικών συσκευασίας χαρακτηρίζονται από υψηλές επενδύσεις με μικρά περιθώρια κέρδους, ενώ αντίστοιχα φαινόμενα χαρακτηρίζουν και τις βιομηχανίες μεταποίησης των υλικών αυτών.

Η βιομηχανία της παραγωγής χάρτινης συσκευασίας είναι ο μεγαλύτερος κλάδος υλικών συσκευασίας και αποτελείται από πιο καθετοποιημένες επιχειρήσεις, με προϊόντα τόσο χαρτιού όσο κυρίως πολύφυλλων χαρτοκιβωτίων διακίνησης (πάνω από το 75% της δραστηριότητας). Έτσι, καθώς τα χαρτοκιβώτια αυτά χρησιμοποιούνται κατά κόρον, οι τιμές αυτών των υλικών είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες από τις εξελίξεις της αγοράς, με αποτέλεσμα ανάπτυξη της οικονομίας να συνεπάγεται αυξημένη ζήτηση, υψηλούς ρυθμούς λειτουργίας των παραγωγικών μονάδων και αυξημένο κόστος των υλικών. Οι τιμές των προϊόντων αυτών έχουν επίσης εξάρτηση και από τις διαθεσιμότητες και τις τιμές του ξύλου και του παρθένου ή ανακυκλωμένου υλικού, καθώς και της ενέργειας, καθώς η παραγωγή τους είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρος διεργασία.



Στη βιομηχανία παραγωγής μεταλλικών υλικών συσκευασίας, το αλουμίνιο και ο χάλυβας - λευκοσίδηρος αποτελούν τα κύρια υλικά. Το αλουμίνιο είναι πιο ελαφρύ αλλά και πιο ακριβό, οπότε η τάση είναι για ακόμη περισσότερη μείωση του υλικού στα παραγόμενα προϊόντα. Στα πλαίσια της μείωσης του κόστους αναπτύχθηκαν με ιδιαίτερη επιτυχία και προγράμματα ανακύκλωσης αλουμινίου. Τα κουτάκια αλουμινίου για αναψυκτικά και μπίρες έδωσαν ιδιαίτερη ώθηση σε αυτά τα προϊόντα, ενώ ακόμα παράγονται βαρέλια, καπάκια, φύλλα αλουμινίου και άλλα. Η βιομηχανία μεταλλικής συσκευασίας είναι από τις πλέον συγκεντρωτικές με λίγους παραγωγούς να ελέγχουν το χώρο και ακόμα λιγότερους να ελέγχουν οι ίδιοι τις πηγές προμήθειας των πρώτων υλών.

Η βιομηχανία παραγωγής πλαστικών υλικών συσκευασίας είναι η ταχύτερα αναπτυσσόμενη βιομηχανία, κερδίζοντας συνεχώς μερίδιο από τις υπόλοιπες βιομηχανίες, καθώς χρησιμοποιούνται λιγότερα υλικά, είναι πιο ελαφριά, κοστίζουν λιγότερο, και μειώνουν σημαντικά το κόστος μεταφοράς. Καθώς η βιομηχανία παραγωγής πλαστικών ωρίμαζε, ανέπτυξε υλικά για πιο εξειδικευμένες εφαρμογές, με αυξημένη δύναμη και βελτιωμένες ιδιότητες διαπερατότητας επιτρέποντας έτσι την διείσδυση αυτών των υλικών σε ακόμα περισσότερες αγορές. Καθώς τα πλαστικά είναι σχετικά εύκολα στην διαμόρφωσή τους κυρίως με θέρμανση (θερμοδιαμόρφωση) πολλές από τις δραστηριότητες σχηματοποίησης μεταφέρθηκαν στον τόπο παραγωγής και συσκευασίας των προϊόντων όπως η παραγωγή μπουκαλιών, βάζων, καπακιών και λοιπών υλικών, τα οποία συνδυάζονται σε γραμμές παραγωγής και γεμίματος.

Τα γυάλινα υλικά συσκευασίας μειώνουν συνεχώς το μερίδιο τους στην αγορά, καθώς αντικαθίστανται τόσο από μεταλλικά όσο κυρίως από πλαστικά δοχεία. Κατά καιρούς έγιναν συγχωνεύσεις και προσπάθειες

εκσυγχρονισμού του κλάδου ώστε να αυξηθεί η ανταγωνιστικότητα της βιομηχανίας αυτής. Ενώ οι πρώτες ύλες είναι σχετικά φθηνές, υπάρχει αυξημένο κόστος τόσο από τις υψηλές απαιτήσεις σε ενέργεια όσο και σε εργατικό δυναμικό, από τα οποία τουλάχιστον το κόστος σε ενέργεια και υλικά περιορίστηκε με την ανακύκλωση του γυαλιού. Παράλληλα προωθείται η βελτίωση των παραγωγικών δραστηριοτήτων, η μείωση του υλικού ανά συσκευασία και η βελτίωση της ομοιομορφίας κατανομής του υλικού και των επιστρώσεων του, ώστε να μειωθεί αντίστοιχα και το κόστος μεταφοράς.

Μικροοικονομικά

Το κόστος συσκευασίας ανά προϊόν, σαν ποσοστό της τιμής πώλησης ποικίλει από 1 έως 40%, ενώ για κάποια προϊόντα όπως τα εμφιαλωμένα ποτά, τα αρώματα και τα αεροζόλ, η συσκευασία μπορεί να κοστίζει και περισσότερο από τα συστατικά του ίδιου του προϊόντος. Η ύπαρξη αυτών των προϊόντων εξαρτάται από την ίδια την συσκευασία. Αντίθετα σε άλλα προϊόντα, η συσκευασία αποτελεί απλά το μέσο μεταφοράς και το σχετικό κόστος είναι πολύ χαμηλό.

Το συνολικό κόστος της συσκευασίας εξαρτάται από το κόστος του υλικού και την μέθοδο παραγωγής του. Η δε επιλογή του υλικού είναι άμεσα εξαρτώμενη από την προστασία που απαιτείται και τις απαιτήσεις της αγοράς. Η προστασία και η διατήρηση εξαρτάται από τη φύση του ίδιου του προϊόντος και την εφοδιαστική του αλυσίδα, όπως αναλύεται εκτενέστερα και σε άλλα κεφάλαια. Υπάρχει λοιπόν μια γενική κατανόηση πως η συσκευασία θα πρέπει να αρχίζει να αναπτύσσεται από τα πρώτα στάδια ανάπτυξης του προϊόντος όπως και η παράλληλη οικονομική ανάλυση επίσης (π.χ. τροποποίηση του προϊόντος για να μειωθεί η ευθραυστότητα του πιθανά να είναι οικονομικότερη από την επένδυση σε προστατευτικά υλικά συσκευασίας).

Το κόστος του υλικού.

Σαν υλικά συσκευασίας υπολογίζονται το πρωτογενές υλικό, το υλικό κλεισίματος, τα υλικά μεταφοράς και τα πιθανά υλικά χρήσης του προϊόντος. Το κόστος όλων αυτών εξαρτάται από το κόστος της πρώτης ύλης συν το κόστος μετατροπής της στην επιθυμητή μορφή ώστε να μπορεί να εμπεριέχει το προϊόν. Το κόστος μετατροπής εξαρτάται από το υλικό ενώ το κόστος του ίδιου του υλικού σαν ποσοστό επί της τιμής πώλησης του ποικίλει ανάλογα με την δυναμική του υλικού στην αγορά. Πολύπλοκες διεργασίες μετατροπής των υλικών σε συσκευασίες προσθέτουν μεγαλύτερο ποσοστό στο κόστος του τελικού προϊόντος. Το κόστος επίσης αυξάνει με την πολυπλοκότητα των αλλαγών, τις ιδιαιτερότητες των εξαρτημάτων που απαιτούνται και την εργατική δύναμη που θα απαιτηθεί. Ο ανταγωνισμός, η τάσεις αντικατάστασης υλικών, η διαθεσιμότητα, οι περιορισμοί των παραγωγών, και γενικότερη δυναμική της αγοράς επηρεάζουν επίσης τις τιμές των υλικών.

Τα υλικά μπορούν να αγοραστούν είτε απευθείας από τον παραγωγό, είτε από ανεξάρτητο έμπορο. Ενώ ο παραγωγός προσφέρει καλύτερες τιμές, είναι μάλλον δύσκολο να μπορεί μια εταιρία να προμηθευτεί όλα τα υλικά της από ένα προμηθευτή. Καθώς πολλά υλικά, όπως τα χαρτοκιβώτια, είναι δεδομένων συστατικών και ιδιοτήτων μπορούν να αγοραστούν με όρους ανταγωνισμού στην τιμή μεταξύ των διαφόρων προμηθευτών. Αντίθετα, καινοτόμες συσκευασίες είτε σαν υλικά είτε σαν εφαρμογή είτε ακόμα και σαν σχεδιασμός, συνήθως παρουσιάζονται από έναν προμηθευτή, ενώ κατά περίπτωση μπορούν να υπάρξουν κατά αποκλειστικότητα συνεργασίες ανάπτυξης μεταξύ εταιρίας και συγκεκριμένου επιλεγμένου προμηθευτή για βάσει συγκεκριμένης ανάγκης της εταιρίας.

Το κόστος των μηχανών συσκευασίας.

Οι μηχανές συσκευασίας μπορούν είτε να αγοραστούν είτε να χρησιμοποιηθούν μέσα από προγράμματα χρηματοδότησης (leasing). Η απόφαση αξιολογείται, όπως και κάθε άλλη επενδυτική δραστηριότητα, με γνώμονα την παρούσα καθαρή αξία και αφαιρώντας την αρχική επένδυση από όλες τις εισροές χρήματος που αναμένονται από την χρήση της μηχανής σε ένα βάθος χρόνου αξιολογούμενο χρηματικά. Οι αναμενόμενες εισροές χρήματος προβλέπονται από το τμήμα marketing της εταιρίας και τα στοιχεία αξιολογούνται από την οικονομική διεύθυνση.

Η δυνατότητα και η ικανότητα παραγωγής της κάθε μηχανής θα πρέπει να καλύπτει τον αναμενόμενο όγκο παραγωγής για τον αναμενόμενο χρονικό κύκλο ζωής του προϊόντος στην αγορά. Μηχανές εξαιρετικά υψηλών όγκων παραγωγής έχουν συνήθως πολλές αποκλειστικές γραμμές γεμίσματος ενός τύπου, που ελέγχονται ηλεκτρονικά από μια κεντρική μονάδα, αλλά καθώς οι εξαρτώμενες από την αγορά απαιτήσεις της παραγωγής, μπορεί να αλλάξουν δραματικά, αυξάνεται η επικινδυνότητα της μη καταλληλότητας χρήσης τους. Έτσι, οι μηχανές που επιλέγονται θα πρέπει να έχουν την ευελιξία να μπορούν να χειριστούν διάφορα υλικά συσκευασίας σε ποικίλες μορφές για διαφορετικά προϊόντα και όγκους παραγωγής.

Το κόστος της συσκευασίας των προϊόντων.

Οι διεργασίες γεμίσματος των προϊόντων υπολογίζονται οικονομικά όπως και οι λοιπές διεργασίες του εργοστασίου, λαμβάνοντας υπόψη το εργατικό κόστος, το κόστος των υλικών της ενέργειας, της απόσβεσης της επένδυσης, των πάγιων λειτουργικών, και των απορρίψεων λόγω κακών χειρισμών, καταστροφών και προϊόντων παραγόμενων εκτός των προδιαγραφών ποιότητας. Παραδοσιακές τεχνικές μείωσης αυτού του κόστους εστίαζαν στην βελτίωση της παραγωγικότητας (εισερχόμενα / εξερχόμενα) κυρίως μειώνοντας την εισερχόμενη εργασία και ενέργεια, αυξάνοντας τους αυτοματισμούς, την ταχύτητα της μηχανής και την αποτελεσματικότητα της. Καθώς οι μηχανές συσκευασίας σε μια γραμμή συχνά συνδέονται μεταξύ τους, η συνολική απόδοση της εξαρτάται από την ομαλή λειτουργία όλης της γραμμής η οποία μπορεί να επιτευχθεί με διάφορα μέσα (κεντρικό έλεγχο και κατάλληλος σχεδιασμός των σημείων συσώρευσης των προϊόντων). Με τη χρήση σύγχρονων μεθόδων μπορεί να προσεγγιστεί με ακρίβεια η κοστολόγηση των σημείων παραγωγής σε μια γραμμή συσκευασίας. Προσπάθεια γίνεται επίσης στην μείωση του χρόνου παραγωγής και στην αύξηση της ποιότητας των προϊόντων. Ο οικονομικός σχεδιασμός των παραγωγών σε σχέση με τις ποσότητες τους, οι γρήγορες εναλλαγές των εξαρτημάτων των γραμμών και η κάλυψη του χρόνου προμήθειας και διαθεσιμότητας των υλικών συσκευασίας μπορούν να μειώσουν το κόστος δραστικά. Βελτιωμένα, αυτοματοποιημένα συστήματα επιτόπιου ελέγχου (on-line) της ποιότητας της παραγωγής μειώνουν τα απορριπτά και αυξάνουν την κερδοφορία.

Τέλος, κατά περίπτωση μπορεί να είναι πιο οικονομικό να συμφωνηθούν και να δοθούν διεργασίες συσκευασίας σε εξωτερικούς συνεργάτες (φασόν), όπως στις περιπτώσεις που υπάρχει πολύ ακανόνιστη ζήτηση προϊόντων που δεν μπορεί να ενσωματωθεί στην κανονική παραγωγή ή όταν υπάρχει αβεβαιότητα στην αγορά για τα υπάρχοντα ή νέα προϊόντα.

Το κόστος διακίνησης των προϊόντων.

Η συσκευασία μπορεί να επηρεάσει δραματικά το κόστος διακίνησης των προϊόντων καθώς συνδέεται άμεσα με την αποτελεσματικότητα χρήσης του διαθέσιμου χώρου και το βάρος των προϊόντων. Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι για να μειωθεί ο απαιτούμενος χώρος και άρα να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα χρήσης του χώρου, όπως η τοποθέτηση των συσκευασιών με πιο αποδοτικό τρόπο, η συγκέντρωση των προϊόντων ώστε να μειωθεί ο όγκος τους, η μεταφορά αποσυναρμολογημένων προϊόντων ή η καθυστέρηση συσκευασίας σε μετέπειτα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας ώστε να χρειάζεται λιγότερος χώρος αποθήκευσης, η χρήση ελαφριών περιεκτών, ο επανασχεδιασμός των μονάδων αποθήκευσης και μεταφοράς (unit load), η χρήση διαφορετικών παλλετών και φύλλων χαρτόδισκων και η μείωση των απαιτούμενων προστατευτικών μέσω του επανασχεδιασμού των προϊόντων ώστε να γίνουν πιο ανθεκτικά στους φυσικούς κινδύνους της διανομής. Επίσης, μια κατάλληλα σχεδιασμένη συσκευασία μπορεί να βοηθήσει στον αποτελεσματικότερο και άρα αποδοτικότερο χειρισμό κατά τα διάφορα στάδια, ενισχύοντας την αυτοματοποίηση και μειώνοντας το εργατικό κόστος.

Αποδοτικότερα φορτία μονάδων αποθήκευσης και διακίνησης θα οδηγήσουν σε λειτουργική εξοικονόμηση κόστους.

| Sources of savings potential ¹ | Manufacturer % | Retailer % | Total % |
|---|-------------------|---------------|-------------|
| Better utilisation of transport cube | 0.08 | 0.17 | 0.25 |
| Warehouse storage, handling and assortment creation | 0.05 | 0.17 | 0.22 |
| In-store handling and shelf replenishment | - | 0.47 | 0.47 |
| Packaging and materials management | 0.17 | - | 0.17 |
| Other ² | 0.03 | 0.06 | 0.09 |
| Total EUL chain impact | 0.33 | 0.87 | 1.20 |

¹ % of retail sales price, excl. VAT

² Loss & damages, cost of capital, administration, miscellaneous

Κατά μέσο όρο στην Ευρώπη, αυτό μπορεί να δώσει μια μείωση έως και 1.2 % στην τιμή των λιανικών πωλήσεων

(περίπου 8.6 δισεκατομμύρια ECU, με βάση τον κύκλο εργασιών του 1994 για τα γρήγορα κινούμενα καταναλωτικά αγαθά). Οι πηγές αυτής της πιθανής αποταμίευσης προέρχονται κυρίως από την καλύτερη χρησιμοποίηση του όγκου: 0.08%, την καλύτερη διαχείριση των μεταφορών: 0.17 - 0.25%, την βελτίωση της αποθήκευσης και της διαχείρισης των αποθηκών των εμπορευμάτων: 0.05%, την βελτίωση των κατατάξεων: 0.17-0.22%, τον επανασχεδιασμό κατά το ξαναγέμισμα και ο γενικότερος χειρισμός των ραφιών των καταστημάτων: 0.47%, την ίδια τη συσκευασία και τη διαχείριση των υλικών: 0.17 %, και λοιπά 0.03 - 0.09%. Σε ορισμένες περιπτώσεις αυτή η αποταμίευση θα μπορούσε να διπλασιαστεί εάν οι συνεργάτες είναι πρόθυμοι να ξανασχεδιάσουν εντελώς τις εφοδιαστικές τους αλυσίδες. Αυτή η εκτίμηση δεν περιλαμβάνει οποιοσδήποτε δαπάνες αλλαγών ή άλλες επενδύσεις που θα απαιτηθούν για την υλοποίηση των προγραμμάτων μείωσης του κόστους. Σε πολλές περιπτώσεις, η βέλτιστη λύση μπορεί μόνο να επιτευχθεί μετά από τις κατάλληλες επενδύσεις σε νέους πόρους και τεχνολογία, όπως ο σχεδιασμός μιας νέας συσκευασίας, η αλλαγή των εγκαταστάσεων αποθήκευσης και η εγκατάσταση ενός περισσότερο αυτοματοποιημένου εξοπλισμού χειρισμών. Συνήθως, οι επενδύσεις των παραγωγικών μονάδων είναι υψηλότερες από αυτές που απαιτούνται από τους λιανοπωλητές, επομένως, οι όποιες εμπορικές διαπραγματεύσεις θα πρέπει να εξασφαλίζουν αναλογικά κέρδη για όλους τους εμπλεκόμενους. Ακόμα, θα πρέπει να υπολογιστούν και τα οφέλη από πρόσθετες πωλήσεις ή τα βελτιωμένα περιθώρια κέρδους μέσω της μείωσης των ζημιών των προϊόντων, την βελτιωμένη δυνατότητα πρόσβασης των προϊόντων, την καλύτερη παρουσίαση τους, την ενισχυμένη εμφάνιση των καταστημάτων, την περιβαλλοντικά φιλική ή «πράσινη» εικόνα, και άλλα.

Η επαναχρησιμοποιούμενη συσκευασία μπορεί να μειώσει το κόστος στις περιπτώσεις που υπάρχει μικρή σε χρόνο και σε απόσταση κυκλική κίνηση των περιεκτών, και εφόσον φυσικά επιτευχθεί η απαραίτητη συνεργασία μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη αναφορικά με την ευθύνη και το κόστος της επιχείρησης επαναπροώθησης της συσκευασίας. Οι περισσότεροι περιέκτες που χρησιμοποιούνται σε επαναπροωθούμενες συσκευασίες κοστίζουν περισσότερο από τους απλούς, το κόστος όμως αυτό μειώνεται με την πολλαπλή χρήση των περιεκτών και σε αυτή τη βάση θα πρέπει να αξιολογείται η όποια επένδυση προς αυτή την κατεύθυνση. Ακόμα, οι αρχικές ποσότητες που θα πρέπει να αγοραστούν, τα κόστη διαχείρισης, η συλλογή, καθαρισμός και αποθήκευση και επαναχρήση θα πρέπει να συνυπολογίζονται στην όλη μελέτη.

Τέλος, το κόστος από τα κατεστραμμένα προϊόντα είναι άμεσα συνδεδεμένο με την συσκευασία, ενώ η καταστροφή δεν συνδέεται απαραίτητα με το κόστος της συσκευασίας. Συχνά το κόστος των καταστροφών και της συσκευασίας μπορούν να μειωθούν με τον επανασχεδιασμό του προϊόντος, ώστε να χρησιμοποιηθεί είτε λιγότερο υλικό, πιο φθηνό αλλά και πιο προστατευτικό υλικό, ενώ μπορεί να είναι πιο αποδοτικό το να ενισχυθεί το ίδιο το προϊόν. Σοβαρές μελέτες των καταστροφών και ο έλεγχος τους θα μπορέσει να μειώσει αποτελεσματικά το συνολικό κόστος της συσκευασίας.

Το κόστος απόρριψης.

Εκατομμύρια τόνοι υλικών συσκευασίας καταλήγουν κάθε χρόνο σε χωματερές καθώς αποτελούν σχεδόν το 1/3 του συνολικού όγκου οικιακών σκουπιδιών, τουλάχιστον στις αναπτυγμένες οικονομίες. Η απόρριψη αυτή συνεπάγεται επιπλέον κόστος για τους καταναλωτές, τις τοπικές αρχές και τις εταιρίες παραγωγούς. Οι εταιρίες καθώς πληρώνουν άμεσα το κόστος απόρριψης έχουν και μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την ανακύκλωση και την ανάκτηση υλικών. Σχετικά με το κόστος που πληρώνει ο καταναλωτής, υπάρχει μια τάση να είναι όλο και πιο ξεκαθαρισμένο και ανεξάρτητο από την υπόλοιπη φορολογία, ώστε να ενισχυθεί η τάση για μείωση των απορριμμάτων και ανακύκλωση. Παράλληλα, υπάρχουν και άλλα κόστη συναφή με τη χρήση γης για χωματερές, με την καύση, με την επακόλουθη μόλυνση του περιβάλλοντος τον κοινωνικό αντίκτυπο όλων αυτών των διαχειρίσεων. Όλα αυτά ενίσχυσαν την ανακύκλωση των υλικών συσκευασίας, η οποία μπορεί να είναι οικονομικά θελκτική μόνο εάν το όφελος από την χρήση των ανακυκλωμένων υλικών είναι μεγαλύτερο από το συνολικό κόστος συγκομιδής, διαχωρισμού, μεταφοράς και επανεπεξεργασίας τους.

Το κόστος της ανάπτυξης της συσκευασίας.

Η απόφαση για το εάν θα αναπτυχθεί ένα νέο προϊόν ή μια νέα συσκευασία καθορίζεται από την αγορά και ελέγχεται από το τμήμα marketing της εταιρίας, καθώς οι περισσότερες εταιρίες λαμβάνουν ένα μεγάλο ποσοστό των κερδών τους από την εισαγωγή νέων προϊόντων στην αγορά.

Οι περισσότερες από τις δραστηριότητες της συσκευασίας πραγματοποιούνται από το προσωπικό που ασχολείται με την παραγωγή και το γέμισμα των προϊόντων και τα κόστη σχετίζονται με τον χρόνο που δαπανάται τόσο για τις αποφάσεις όσο και για την εφαρμογή τους. Μερικές από τα σημεία ανάπτυξης (βλ. και σχετικό κεφάλαιο) αφορούν στην εγκαθίδρυση κριτηρίων, την αναγνώριση των θεμάτων, τον σχεδιασμό των πρωτοτύπων, την συλλογή και αξιολόγηση των δειγμάτων, την έκδοση προδιαγραφών και την εγκατάσταση και έναρξη της παραγωγής το οποίο είναι και το πιο υψηλό σε κόστος βήμα, καθώς συχνά απαιτεί και την αγορά

νέων μηχανών ή εξαρτημάτων. Συνδρομητές σε αυτή την διαδικασία είναι τόσο οι προμηθευτές όσο και σχεδιαστικά γραφεία και συνεργάτες, ανάλογα με τις ανάγκες της ανάπτυξης.

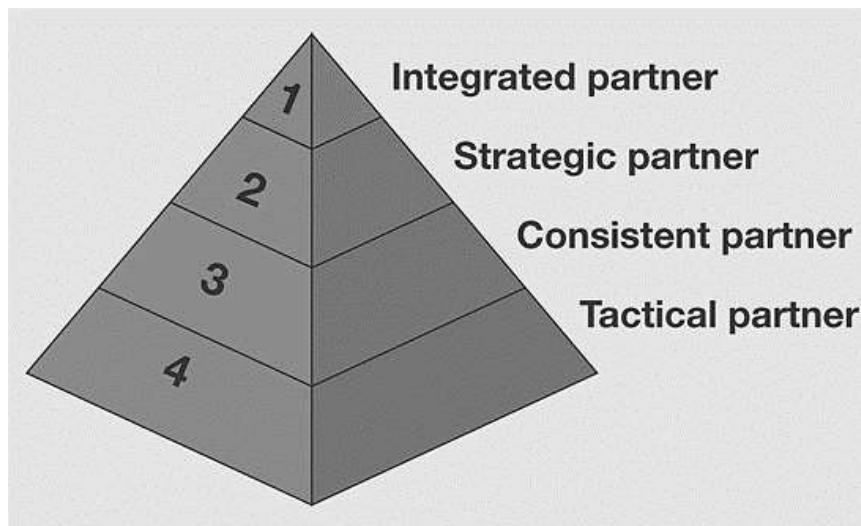
Προγράμματα ελέγχου και μείωσης του κόστους της συσκευασίας.

Οι επιχειρήσεις που εμπριέχουν στις δραστηριότητες τους διεργασίες συσκευασίας διαφόρων προϊόντων και αγαθών επιδιώκουν την μεγιστοποίηση της αξίας των παραγόμενων προϊόντων τους μέσω της οικονομικότερης προμήθειας των υλικών και των μέσων συσκευασίας. Εντούτοις, αυτός ο στόχος έχει γίνει όλο και περισσότερο σύνθετος ως προς τις απαιτήσεις και οι επιλογές έχουν αυξηθεί εκθετικά τα τελευταία χρόνια εξαρτώμενο από την δυναμική της βιομηχανίας του κλάδου καθώς επίσης και τις όποιες αλλαγές στους προμηθευτές.

Μερικοί από τους παράγοντες που στον ένα ή στον άλλο βαθμό, περιπλέκουν την διαχείριση του κόστους της συσκευασίας περιλαμβάνουν την αύξηση του αριθμού εναλλακτικών υλικών και μεθόδων συσκευασίας, την αύξηση του αριθμού των προμηθευτών καθώς ενσωματώνονται στρατηγικές προμήθειας σε μια παγκοσμιοποιημένη αγορά, τις μεταβαλλόμενες τεχνολογίες των διεργασιών και των υλικών, τις ιδιαίτερα ασταθείς τιμές των πρώτων υλών οι οποίες μπορούν να έχουν από ένα ελάχιστο έως ένα σημαντικό αντίκτυπο στις τελικές τιμές του υλικού συσκευασίας, την ανάγκη για συνεχείς επενδύσεις σε νέες τεχνολογίες στον τομέα της συσκευασίας, την απροθυμία των προμηθευτών να μοιραστούν με τους πελάτες το κόστος και τις πληροφορίες τις σχετικές με τη λειτουργία των μηχανών, την τάση των προμηθευτών να βελτιώσουν τα περιθώρια κέρδους και να μεγιστοποιήσουν την ποιοτική τους απόδοση και το φυσικό κίνητρο για τους προμηθευτές για να ελαχιστοποιήσουν τις δαπάνες τους ακόμα κι αν οι συνολικές δαπάνες των εφοδιαστικών αλυσίδων αυξάνονται. Η εμπειρία στο χώρο της συσκευασίας δείχνει ότι ένα χαρακτηριστικό μέγεθος αποταμίευσης που πραγματοποιείται σε επιχειρήσεις που αναπτύσσουν προγράμματα μείωσης κόστους της συσκευασίας κυμαίνεται από 5% έως 15% του συνολικού κόστους της συσκευασίας.

Στα πλαίσια της συγκρότησης μιας ομαδοποίησης των βασικών περιοχών αξιολόγησης, και επέμβασης κατά την διάρκεια εφαρμογής ενός προγράμματος μείωσης του κόστους της συσκευασίας, ορίζονται τα πιο κάτω 12 σημεία διαχείρισης των προμηθευτών των υλικών και των υπηρεσιών συσκευασίας που απαιτούνται από μια επιχείρηση για να φέρει σε πέρας τις παραγωγικές της διεργασίες.

1. Η ανταγωνιστικότητα των τρεχόντων προμηθευτών καθορίζει τελικά τις γενικές δαπάνες για τη συσκευασία. Η κατοχή μιας ισχυρής σχέσης με έναν κορυφαίο προμηθευτή μπορεί τελικά να οδηγήσει σε χαμηλότερες συνολικές δαπάνες καθώς επίσης και τις χαμηλότερες τιμές. Αντιθέτως, η ανάπτυξη μιας σχέσης αγορών με έναν οριακό προμηθευτή μπορεί να παρέχει αρχικά ένα χαμηλό κόστος αγορών, αλλά τελικά οδηγεί σε σημαντικά υψηλότερες δαπάνες υλικού και εφοδιασμού.



Καθώς οι τεχνολογίες εξελίσσονται συνεχώς, οι αποφάσεις και οι συμφωνηθείσες πρακτικές διαχείρισης μιας επένδυσης από τη μεριά των προμηθευτών είναι κρίσιμοι παράγοντες για μια μακροπρόθεσμη και επιτυχή συνεργασία. Οι κορυφαίοι προμηθευτές μπορούν ενδεχομένως να παρέχουν την πρόσβαση σε νέα υλικά, προηγμένες τεχνολογίες και χαμηλότερα συνολικά κόστη, και έτσι να παρέχουν σημαντικά ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα για τις επιχειρήσεις. Κακή ποιότητα υλικών, μη ανταγωνιστικά επίπεδα εξυπηρέτησης, και χαμηλή εμπιστοσύνη στις τεχνολογίες μπορούν να προσθέσουν σημαντικές δαπάνες που μπορεί και να

ξεφύγουν από ένα σύστημα αξιολόγησης των πληροφοριών και ανάλυσης των δαπανών μιας επιχείρησης. Σαν αποτέλεσμα όλων αυτών των ζητημάτων, είναι σημαντικό για τους αγοραστές να έχουν μια καλή κατανόηση των σχετικών δυναμικών και αδυναμιών των προμηθευτών τους συγκριτικά με τους υπόλοιπους προμηθευτές στο χώρο. Σημαντικό σημείο είναι και η ετοιμότητα των εταιριών ώστε να είναι προετοιμασμένοι εάν χρειαστεί, να αλλάξουν τους προμηθευτές τους για να εξασφαλιστεί η ανταγωνιστικότητά τους. Αυτή η διορατικότητα μπορεί μόνο να αναπτυχθεί μέσω σταθερών και συνεχών αξιολογήσεων της αγοράς της συσκευασίας, των σχετικών πρώτων υλών, των τάσεων και της δυναμικής της βιομηχανίας, και της εξελίξεως της τεχνολογίας και των διεργασιών.

2. Η ευθυγράμμιση των αναγκών της επιχείρησης με τις ικανότητες των προμηθευτών. Οι καλύτεροι προμηθευτές υλικού συσκευασίας επικεντρώνονται στη διατήρηση συγκεκριμένων τμημάτων της αγοράς. Δεδομένου ότι η χρησιμοποίηση εξοπλισμού είναι ένα σημαντικό στοιχείο του κόστους, πολλοί προμηθευτές μπορεί να αξιολογηθούν ως μη-στρατηγικοί ή ακατάλληλοι ανάλογα με τις τάσεις και ικανότητές τους να βελτιώσουν ή να αυξήσουν τον εξοπλισμό τους. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στην κάτω του μετρίου ποιότητα των προϊόντων και των υπηρεσιών τους προς μια δεδομένη επιχείρηση, ιδιαίτερα εάν προκύψουν νέοι πελάτες για τον προμηθευτή οι οποίοι να βρίσκονται πιο κοντά στην επιχειρησιακή του θέση. Είναι επομένως σημαντικό να γίνει κατανοητό πόσο καλά ταιριάζει ο προμηθευτής και πώς δεσμευμένος είναι στο τομέα της αγοράς που ενδιαφέρει την επιχείρηση. Οι ικανοί και δεσμευμένοι σε υψηλό βαθμό προμηθευτές θα είναι σε θέση να προσφέρουν τις πιο πρόσφατα διαθέσιμες τεχνολογικές καινοτομίες, να λύσουν αποτελεσματικά οποιαδήποτε προβλήματα συσκευασίας προκύπτουν μέσα στη γενική αλυσίδα εφοδιασμού και να έχουν τους πόρους και τις συνεργασίες ώστε να ανταποκριθούν γρήγορα και αποτελεσματικά στις ανάγκες μιας επιχείρησης.

Μερικά από τα ακόλουθα σημάδια μπορούν να δείξουν εάν οι ικανότητες του προμηθευτή ευθυγραμμίζονται ή όχι με τις ανάγκες μιας επιχείρησης. Έτσι, θα πρέπει να αναγνωρίζεται εάν οι ανταγωνιστές εισάγουν καινοτομίες οι οποίες δεν είναι γνωστές ή δεν έχουν ελεγχθεί, εάν ο σχεδιασμός και η απόδοση της συσκευασίας δεν παρέχουν ανταγωνιστικά πλεονέκτημα για τα υπάρχοντα προϊόντα, εάν οι πολιτικές τιμολόγησης και οι πρακτικές δεν φαίνονται να είναι συνεπείς ή λογικές, εάν υπάρχουν ενδείξεις ότι οι τιμές είναι ιδιαίτερα υψηλές ή ιδιαίτερα χαμηλές για λόγους που δεν είναι σαφείς, εάν ο προμηθευτής σας δεν γνωρίζει καινοτομίες ή πρακτικές στον τομέα δραστηριοποίησης της εταιρίας, εάν έχει υπάρξει περιορισμένη επένδυση σε νέες ικανότητες παραγωγής ή τεχνολογίες που θα μπορούσαν να παρέχουν ευδιάκριτα οφέλη στην επιχείρησή.

3. Εναλλακτικοί προμηθευτές. Με την αύξηση των παγκόσμιων αγορών και των ηλεκτρονικών συστημάτων επικοινωνίας, δεν είναι πλέον κρίσιμο το να βρίσκεται η επιχείρηση φυσικά κοντά στους προμηθευτές με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολλές περισσότερες επιλογές διαθέσιμες εφοδιασμού των υλικών και των μέσων που δεν υπήρχαν πριν. Με τον προσδιορισμό και την αξιολόγηση των ικανοτήτων των νέων προμηθευτών μπορεί μια επιχείρηση να είναι σε θέση να αναπτύξει ένα νέο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα μέσω της συσκευασίας.

Μερικά από τα σημεία που εμπλέκονται στο να δημιουργηθεί μια βέλτιστη αλυσίδα εφοδιασμού με τους προμηθευτές, είναι η δυνατότητα πρόσβασης σε βασικές πρώτες ύλες από μια περιοχή χαμηλότερου κόστους και η μεταποίηση της σε υλικό σε άλλο σημείο, η καθιέρωση της σχέσης των προμηθευτών σε πολλαπλάσια στάδια κατά τη διαδικασία παραγωγής του υλικού συσκευασίας μέσω για την επιλογή και την προμήθεια στο χαμηλότερο κόστος, η πιθανή μεταφορά των εργασιών σε τρίτους που θα μπορούν να τις εκτελέσουν επικερδώς, και η εισαγωγή στην επιχείρηση επιλεγμένων διαδικασιών συσκευασίας που θα βελτιώνουν τις γενικές δαπάνες του προϊόντος και την αξιοπιστία των υπηρεσιών και του ελέγχου των παραγωγικών διεργασιών.

4. Ο βέλτιστος αριθμός των προμηθευτών για ένα ιδιαίτερο υλικό συσκευασίας μπορεί να ποικίλει ανάλογα με την διαθεσιμότητα των προμηθευτών, με το εάν δηλαδή υπάρχει μεγάλος αριθμός καταρτισμένων προμηθευτών ικανών να ικανοποιήσουν τις ανάγκες της επιχείρησης, ανάλογα με το μέγεθός της επιχείρησης σχετικά με άλλους πελάτες, εάν δηλαδή είναι η επιχείρησή αρκετά σημαντική για τον προμηθευτή ώστε να εξασφαλίσει ένα υψηλό επίπεδο υπηρεσιών, ανάλογα με τον αριθμό των θέσεων των εγκαταστάσεων της επιχείρησης οι οποίες απαιτούν τοπικούς ή πολλούς προμηθευτές και εάν οι προμηθευτές βρίσκονται σε βολική θέση σχετικά με τις εγκαταστάσεις αυτές, ανάλογα με τις ανάγκες της συσκευασίας, την ομοιότητα τους στις γραμμές παραγωγής ή εάν απαιτείται ένα ευρύ φάσμα των διαφορετικών υλικών, επιπέδων εξυπηρέτησης, ποσοτήτων, και απαιτήσεων απόδοσης, ανάλογα με τις όποιες πρόσθετες απαιτήσεις και την ευκολία μεταπήδησης σε έναν νέο προμηθευτή σε περίπτωση προβλημάτων ανεφοδιασμού και τέλος ανάλογα με τις

πρακτικές της βιομηχανίας και τις ιδιαιτερότητες της που θα καθόριζαν εάν περισσότεροι ή λιγότεροι προμηθευτές θα είχαν θετικότερο αντίκτυπο στη συσκευασία της επιχείρησης.

5. Η αλυσίδα εφοδιασμού της συσκευασίας. Γενικά, οι αλυσίδες εφοδιασμού παγιώνονται με γρήγορο ρυθμό και οι μεμονωμένοι κατασκευαστές επικεντρώνονται περισσότερο σε συγκεκριμένες αγορές. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα σε καθιερωμένες και ανεπτυγμένες αγορές όπως στις Ηνωμένες Πολιτείες, και σε ώριμους τομείς προϊόντων όπως τα χαρτοκιβώτια. Η σταθεροποίηση της βιομηχανίας όμως θα μπορούσε να επηρεάσει την αγορά των υλικών συσκευασίας καθώς σε μερικές περιπτώσεις, οι προστιθέμενες δαπάνες με τη διατήρηση περισσότερων προμηθευτών μπορεί να αντισταθμιστούν από τα οφέλη που θα πραγματοποιηθούν με πιο ειδικευμένους και περισσότερο πεπειραμένους για συγκεκριμένες εφαρμογές προμηθευτές. Ακόμη, φαίνεται πως θα γίνει όλο και περισσότερο σημαντικό να ευθυγραμμιστεί η επιχείρησή με τους προμηθευτές εκείνους που είναι οικονομικά ισχυροί και αφοσιωμένοι στην επιχείρησή τους. Ο πιο αδύναμος προμηθευτής, και εκείνοι που είναι επικεντρωμένοι στην αγορά, θα δυσκολεύονται όλο και περισσότερο να στηρίξουν την επιχείρησή και περιθώρια κέρδους τους καθώς οι ανταγωνιστές θα είναι ικανότεροι στο να προσφέρουν την προστιθέμενη αξία στα προϊόντα και στις υπηρεσίες παράλληλα με τη μείωση των δαπανών τους. Επίσης, οι αγοραστές που δραστηριοποιούνται στην παγκόσμια αγορά θα πρέπει να προσφέρουν κίνητρα στους προμηθευτές και να τους ενθαρρύνουν να δραστηριοποιηθούν και στο εξωτερικό, αναγκάζοντας τους να αυξήσουν τις ικανότητες και να συντηρούν το επιχειρηματικό πεδίο. Έτσι, όχι μόνο εξασφαλίζεται ότι ο προμηθευτής θα είναι μακροπρόθεσμο δραστήριος, αλλά επίσης θα βελτιώνει διαρκώς και την ανταγωνιστικότητα της συνεργαζόμενης επιχείρησης.

6. Αλλαγή της τεχνολογίας συσκευασίας. Οι αλλαγές αφορούν όχι μόνο τις τεχνολογικές διαδικασίες, αλλά και τη δομή της βιομηχανίας, την επιχειρησιακή φιλοσοφία, τις γραμμές παραγωγής, και τις προσφορές των υπηρεσιών. Είναι να γίνουν κατανοητές αυτές οι αλλαγές από τα διαφορετικά μέρη της εταιρίας (διαδικασίες, μάρκετινγκ, σχεδιασμό συσκευασίας, κ.λπ.) ώστε να γνωρίζουν τις μελλοντικές εξελίξεις. Ταυτόχρονα, θα πρέπει να αξιολογούνται κατάλληλα οι ικανότητες και η ανταγωνιστικότητα των προμηθευτών και να κατανοηθεί ο εφοδιασμός των υλικών και η σχέση του με τα προϊόντα, και τις υπηρεσίες ώστε να οριστούν και να υιοθετηθούν συνεχείς βελτιώσεις στη διαδικασία προμήθειας. Μερικές από τις σημαντικότερες κοινές εξελίξεις στα περισσότερα τμήματα περιλαμβάνουν τις τεχνολογίες στον τομέα των τυπωμένων υλών σχετικά με τις διαδικασίες εκτύπωσης, τα νέα υποστρώματα, το μειωμένο κόστος, τη βελτιωμένη ανάλυση και συνέπεια των εκτυπώσεων, και την μείωση του χρόνου οργάνωσης και του συνολικού κόστους των τυπωμένων υλών. Οι εξελίξεις στα μέσα εκτύπωσης όπως οι ψηφιακές διαδικασίες εκτύπωσης μειώνουν σημαντικά το κόστος

Καθώς οι αγορές των υλικών και των μέσων συσκευασίας ωριμάζουν τα προϊόντα γίνονται περισσότερο διαθέσιμα, οι προμηθευτές γίνονται περισσότεροι έχοντας στην παροχή τους επιπρόσθετα προϊόντα και υπηρεσίες που μπορούν να μειώσουν τις γενικές δαπάνες των αλυσίδων εφοδιασμού. Οι αγοραστές των επιχειρήσεων θα πρέπει να γνωρίζουν αυτές τις υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας, να καθορίσουν ποιες είναι σωστές για την επιχείρησή τους, και να τις εκτιμήσουν κατάλληλα από την άποψη του αντίκτυπού τους στις συνολικές δαπάνες εφοδιασμού. Δεδομένου ότι οι βιομηχανίες παγιώνονται με το χρόνο και οι επιχειρήσεις οργανώνονται πιο ορθολογικά ώστε να παρέχουν διαφοροποιημένα προϊόντα και υπηρεσίες, οι αγοραστές τους θα πρέπει να είναι σε θέση να μειώσουν τις γενικές δαπάνες εφοδιασμού μέσω της παγίωσης των αγορών ή της αύξησης του αριθμού των προμηθευτών, επιλέγοντας εκείνη την στρατηγική που θα είναι η πιο κατάλληλη ανάλογα με τις περιστάσεις.

7. Πρακτικές αγορές και διαπραγμάτευσης για κάθε τύπο υλικού συσκευασίας μπορούν να ποικίλουν αρκετά στα διαφορετικά τμήματα συσκευασίας εξαρτώμενες σε μεγάλο βαθμό από τις περιστάσεις. Κατωτέρω παρουσιάζονται μερικές από τις πλέον αναγνωρισμένες πρακτικές, αναγνωρίζοντας ότι μπορούν να υπάρξουν μερικές εξαιρέσεις ανάλογα με το συγκεκριμένο τμήμα και τις περιστάσεις τις κάθε επιχείρησης:

α) Τιμολόγηση. Οι τιμές ρυθμίζονται όλο και περισσότερο ρυθμισμένος σε μικρότερα χρονικά διαστήματα (3μηνα) βασισμένες σε έναν συμφωνηθέντα τύπο τιμολόγησης που απεικονίζει τα σημαντικότερα στοιχεία των δαπανών και τη σχέση των σημαντικών παραμέτρων της συνεργασίας ως προς μια δεδομένη τιμή των υλικών.

β) Όροι συμβάσεων. Η τάση ορίζει τους όρους συμβάσεων σε πιο μακροχρόνια βάση (2-3 έτη) με πρόσθετες επεκτάσεις ανάλογα της απόδοσης των προμηθευτών σχετικά με βασικές, συγκριτικά μετρήσιμες, επιδόσεις.

γ) Κύκλος υπηρεσιών. Οι υπηρεσίες γίνονται όλο και περισσότερο σημαντικό συστατικό μιας συμφωνία αγορών. Μερικές από αυτές τις υπηρεσίες χρεώνονται χωριστά ενώ άλλες περιλαμβάνονται στη συνολική τιμή. Οι αγοραστές πρέπει να καταλάβουν ακριβώς ποιες υπηρεσίες συμπεριλαμβάνονται στις συμφωνίες τους και πώς αυτές οι δαπάνες αποζημιώνονται από τους προμηθευτές.

δ) Απόδοση υπηρεσίας ανά προϊόν. Η ανάγκη να ελεγχθούν τα επίπεδα απόδοσης των προμηθευτών στις διαστάσεις των βασικών προϊόντων και των υπηρεσιών τους έχουν αυξηθεί τα τελευταία χρόνια σαν αποτέλεσμα των βελτιώσεων των συστημάτων συλλογής και αξιολόγησης των απαραίτητων για μια επιχείρηση πληροφοριών και της διαχείρισης των εφοδιαστικών αλυσίδων. Σαν καλύτερη πρακτική θεωρούνται οι κανονικές (μηνιαίες) αναθεωρήσεις των επιπέδων απόδοσης των προμηθευτών βάσει δεδομένων δεικτών απόδοσης.

ε) Επιλογή προμηθευτών. Οι προμηθευτές αξιολογούνται όλο και περισσότερο σχετικά με τις βασικές τους ικανότητες και την απόδοση στις απαιτήσεις της επιχείρησης. Ενώ η τιμή αγοράς παραμένει ακόμα ο σημαντικότερος παράγοντας στις περισσότερες περιπτώσεις, άλλες διαστάσεις γίνονται όλο και περισσότερο σημαντικές μέσα η γενική διαδικασία εκλογής προμηθευτών.

στ) Βασικοί δείκτες αξιολόγησης. Καθώς ο ρόλος των προμηθευτών των υλικών συσκευασίας αυξάνεται με μια γενική αλυσίδα εφοδιασμού, οι προμηθευτές αξιολογούνται όλο και περισσότερο για τις υπηρεσίες και τις γενικές βελτιώσεις των διαδικασιών τους. Οι πιο κοινοί δείκτες αξιολόγησης, εντούτοις, δεν έχουν αλλάξει σημαντικά και συνεχίζουν να περιλαμβάνουν μετρήσεις σχετικά με τα ποσοστά ατελειών των παρεχόμενων προϊόντων, την έγκαιρη παράδοση, την εκπλήρωση των εντολών αγοράς, την ακρίβεια των τιμολογίων, και τη γενική ανταπόκριση.

8. Συνολικές δαπάνες υλικών συσκευασίας. Πολλή προσοχή δίνεται στο κόστος προμήθειας ανά τεμάχιο συσκευασίας και δεδομένο προμηθευτή. Εντούτοις, το συνολικό κόστος ξεπερνά το κόστος αγορών ανά τεμάχιο. Οι επιτυχημένες επιχειρήσεις καταλαβαίνουν τις δαπάνες και τα κέρδη σε ολόκληρη την εφοδιαστική τους αλυσίδα και λαμβάνουν ολοκληρωμένες αποφάσεις μείωσης του συνολικού κόστους του και κατόπιν διαπραγματεύονται την καλύτερη τιμή με τους προμηθευτές βασιζόμενοι σε αυτό το χαμηλότερο γενικό κόστος. Σε αυτήν την ανάλυση δαπανών περιλαμβάνονται το κόστος της προμήθειας, οι δαπάνες εξασφάλισης της προμήθειας και της ποιότητας βάσει σχεδίου, ο χειρισμός η αποθήκευση και η διαχείριση των αποθεμάτων, οι ατελείς συσκευασίες, οι επιστροφές και οι αποζημιώσεις λόγω της αποτυχίας της συσκευασίας στη διανομή και στην τελική χρήση, η διακοπή της παραγωγής λόγω ελλείψεων σε υλικά συσκευασίας, το κεφάλαιο που χρησιμοποιείται και τα έξοδα λειτουργίας του εξοπλισμού για τη χρήση της συσκευασίας, η συμπεριφορά των τελικών χρηστών, και οι συνδυασμένες αποστολές, το υλικό διακίνησης και οι δαπάνες της πρωτογενούς και δευτερογενούς συσκευασίας του τελικού προϊόντος και τέλος οι δαπάνες αλλαγής προμηθευτών.

9. Το περιθώριο κέρδους των προμηθευτών, ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του υλικού και τον προμηθευτή. Οι επιχειρήσεις θα πρέπει να γνωρίζουν τα περιθώρια κέρδους των προμηθευτών τους και να στοχεύουν σε μια μέση λύση στην τιμολόγηση με τη χαμηλότερη πιθανή τιμή και χωρίς να τους οδηγούν σε συνεχείς οικονομικές απώλειες. Ακόμη, θα πρέπει να γνωρίζουν που ταξινομούνται σε από τους προμηθευτές τους και πόση δύναμη έχουν εναντίον άλλων πελατών τους. Εάν οι τιμές τους είναι πάρα πολύ χαμηλές σχετικά με το μερίδιό τους, διακινδυνεύουν να βγουν εκτός της λίστας των πελατών σε περίπτωση αύξησης της ζήτησης και άρα πρέπει να επανεξεταστεί η παραγωγική ικανότητα του προμηθευτή. Εάν οι τιμές τους είναι πάρα πολύ υψηλές σχετικά με το μερίδιό τους, τότε ξοδεύουν περισσότερα από τα απαραίτητα χρήματα, βλάπτοντας την αποδοτικότητα και την ανταγωνιστικότητά τους.

10. Λογική και συνέπεια στην τιμολόγηση του προμηθευτή. Οι αγοραστές συσκευασίας εκτελούν πλήρεις αναλύσεις των τιμών των προμηθευτών τους για κάθε στοιχείο που αγοράζουν. Οι κύριες περιοχές μείωσης του κόστους μέσα από την ανάλυση της τιμολόγησης περιλαμβάνουν τον εξορθολογισμό των τιμών λαμβάνοντας υπόψη τις προδιαγραφές, το μέγεθος της συσκευασίας, το μέγεθος της παραγγελίας και τον συνολικό όγκο μιας δεδομένης συσκευασίας οδηγούν στην αξιολόγηση της τιμής που χρεώνει ο εκάστοτε προμηθευτής. Οι ψηλές τιμές μπορεί να τεθούν υπό διαπραγμάτευση για μείωση ή να σταλούν για νέες προσφορές με στόχο το χαμήλωμα της συνολικής τιμής προμήθειας. Ένα ακόμη σημείο είναι η συνέπεια των τιμών. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου οι προμηθευτές χρεώνουν με διαφορετικές τιμές την ίδια συσκευασία, όπου η μόνη διαφορά είναι στις εκτυπώσεις. Οι αναλύσεις σχετικά με την συνέπεια των τιμών αποκαλύπτουν τις όποιες ασυνέπειες και παρέχουν μια ισχυρή ένδειξη για ρύθμιση των τιμών των πιο ακριβών στοιχείων.

11. Δομή δαπανών του προμηθευτή. Οι αγοραστές συσκευασίας οφείλουν να γνωρίζουν την αναλυτική δομή των δαπανών του κάθε προμηθευτή και το πώς οι αλλαγές στα σχέδια μιας παραγγελίας, στις απαιτήσεις των παρεχόμενων υπηρεσιών και τις φυσικές προδιαγραφές θα επηρεάσουν τις συνολικές δαπάνες. Θα πρέπει δηλαδή να είναι σε θέση να υπολογίσουν τα περιθώρια δαπανών και προμηθευτών για τα υλικά συσκευασίας. Αυτό βοηθάει στο να αναπτυχθούν προδιαγραφές συσκευασίας βάσει του κόστους των υλικών και έτσι να μπορέσει να γίνει καλύτερη διαπραγμάτευση των τιμών.

Απαιτείται μια γρήγορη και εύκολη αξιολόγηση του τρέχοντος και του προτεινόμενου επίπεδου των τιμών των υλικών, των νέων σχεδίων συσκευασίας σε σχέση με την επιθυμητή εμφάνιση και ιδιότητες της, τους εναλλακτικούς προμηθευτές, τους εναλλακτικούς τρόπους ένταξης της συσκευασίας στην εφοδιαστική αλυσίδα, τα ιδιαίτερα στάδια της διαδικασίας της παραγωγής, τις εναλλακτικές πρώτες ύλες, τα οικονομικές ποσότητες και τις προβλεπόμενες παραγγελίες, τις αλλαγές στις τιμές των πρώτων υλών, τις διακυμάνσεις στις συναλλαγματικές ισοτιμίες, τις αλλαγές σε άλλα έξοδα λειτουργίας, και τις εναλλακτικές λύσεις αποστολής και παραλαβής.

12. Μείωση των δαπανών μέσω των αλλαγών στις προδιαγραφές συσκευασίας. Οι επιτυχημένοι αγοραστές συσκευασίας θα πρέπει συνεχώς να αναθεωρούν τις προδιαγραφές και την εργασία των προμηθευτών τους, για να προσδιορίσουν λύσεις χαμηλότερου κόστους. Αυτό είναι συχνά η καλύτερη ευκαιρία για αποταμίευση και μπορεί να περιλαμβάνει αναθεωρήσεις όπως της εμφάνισης της συσκευασίας, των προδιαγραφών, των διαστάσεων, του σχεδίου, του χρησιμοποιούμενου υλικού, της πρωτογενούς και δευτερογενούς συσκευασίας και των υλικών και μεθόδων διακίνησης.

DRAFT

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ

Δεν υπάρχει σήμερα προϊόν που να πωλείται γυμνό αφού θα πρέπει να προστατευθεί από το εξωτερικό περιβάλλον ώστε να διατηρηθεί για το μέγιστο δυνατό χρόνο. Αν και ορισμένοι μηχανισμοί αλλοίωσης θα λάβουν χώρα ακόμα και χωρίς τη μεταφορά μάζας (ή θερμότητας) μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού περιβάλλοντος είναι δυνατόν να αυξήσουμε το χρόνο ζωής των προϊόντων με την επιλογή και εφαρμογή των κατάλληλων υλικών συσκευασίας. Η συσκευασία σχετίζεται με την ασφάλεια των τροφίμων σε δύο επίπεδα:

Πρώτο, εάν η συσκευασία δεν παρέχει τον απαιτούμενο άμεσο φραγμό σε μικροοργανισμούς ή έμμεσο μέσω της διαπερατότητας σε οξυγόνο, υγρασία και φως, το τρόφιμο θα εκτεθεί στους παράγοντες που πιθανόν να ευνοήσουν την αλλοίωση του η οποία αλλιώς θα ήταν πολύ πιο βραδεία.

Δεύτερο, η μετανάστευση δυνητικά τοξικών στοιχείων από ορισμένα υλικά συσκευασίας προς τα τρόφιμα είναι δυνατόν υπό συνθήκες να αυξήσει τον κίνδυνο και την ανησυχία για μειωμένη ασφάλεια του καταναλωτή αλλά και για την αλλοίωση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών του προϊόντος.

Για να καταλάβουμε την επίδραση της συσκευασίας στο προϊόν, θα πρέπει πρώτα να ορίσουμε την έννοια της ποιότητας του τροφίμου. Ένας τρόπος είναι μέσω της περιγραφής των κύριων ποιοτικών χαρακτηριστικών όπως το χρώμα, η υφή, το άρωμα, ή δομή, η γεύση, η εμφάνιση και η θρεπτική αξία του τροφίμου. Κάποιες από αυτές είναι άμεσα ορατές από τον καταναλωτή ενώ άλλες όχι (θρεπτική αξία).

Γνώση των βασικών αντιδράσεων αλλοίωσης των τροφίμων οι οποίες επηρεάζουν την ποιότητα του, είναι το πρώτο βήμα στον σχεδιασμό και ανάπτυξη της συσκευασίας για τα τρόφιμα. Η συσκευασία αυτή θα πρέπει να διασφαλίσει τη ελάχιστη αλλαγή μέσω ανεπιθύμητων αλλαγών των αισθητικών ιδιοτήτων του προϊόντος και να μεγιστοποιήσει την εξέλιξη και διατήρηση των επιθυμητών ιδιοτήτων. Μόλις κατανοηθεί η φύση των αντιδράσεων, η γνώση των παραγόντων που καθορίζουν τον ρυθμό αυτών των αντιδράσεων είναι απαραίτητη ώστε να έχουμε τον πλήρη έλεγχο των αλλαγών που λαμβάνουν χώρα στα τρόφιμα κατά την αποθήκευση και συντήρησή τους, δηλαδή όσο μένουν συσκευασμένα.

Οι βασικές αντιδράσεις αλλοίωσης των τροφίμων.

Ενζυματικές. Τα ένζυμα είναι σύνθετες πρωτεΐνες σφαιρικού σχήματος με τρία βασικά χαρακτηριστικά: Ενεργούν σαν καταλύτες επιταχύνοντας τον ρυθμό των χημικών αντιδράσεων κατά 10^{12} - 10^{20} φορές, δρουν επιλεκτικά επιτρέποντας την αλλαγή σημαντικών στοιχείων ενός προϊόντος και όχι των υπολοίπων σε ένα τρόφιμο, και τέλος έχουν ρόλο ελεγκτή των βιοχημικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε διάφορα οργανίδια των κυτταρικών μεμβρανών ενός ιστού έχοντας έτσι ένα σημαντικό αποτέλεσμα στη ρύθμιση της ίδιας της ζωής του προϊόντος ελέγχοντας την μετασυλλεκτική και μεταθανάτια ποιότητα κατά την παραγωγή και αποθήκευση. Από τη μεριά της συσκευασίας τροφίμων η γνώση ενός ενζυμικού μηχανισμού δράσης είναι βασική για την κατανόηση των συνεπειών της επιλογής μιας συσκευασίας αντί μιας άλλης.

Τα ένζυμα μπορεί να είναι εξωγενή (δηλαδή προστίθενται στο τρόφιμο για να επιτελέσουν κάποιο ρόλο κατά τη συντήρησή του) όπως η μαγιά ή αυτά που παράγονται από τους προστιθέμενους στο τρόφιμο μικροοργανισμούς και επιδρούν αλλάζοντας το άρωμα, το χρώμα και τη δομή των τροφίμων κατά τη ζύμωση (επιθυμητό) και κατά την αλλοίωση (ανεπιθύμητο). Τα ένζυμα μπορεί να είναι και ενδογενή σε φυτικούς και ζωικούς ιστούς ή βιολογικά υγρά με επιθυμητές ή ανεπιθύμητες επιπτώσεις στα τρόφιμα. Σε αυτά οφείλονται η γήρανση των φρούτων και των λαχανικών, η γλυκόλυση στα σφάγια και η αυτόλυση των ιχθυρών. Ακόμα η οξείδωση των λιπών από τα ένζυμα λιπάση και λιποξυγενάση, η οξείδωση των φαινολών των φυτικών ιστών από τα ένζυμα φαινολάσες, η υδρόλυση των φωσφο-λιπιδίων από τις φωσφολιπάσες, η αλλαγή του αμύλου σε ζάχαρα από τις αμυλάσες, ιμβερτάσες και τους αναστολείς της ιμβερτάσης, και η μετασυλλεκτική απομεθυλίωση των πεκτινών.

Η δραστηριότητα των ενζύμων εξαρτάται από τις συνθήκες που επικρατούν εντός και γύρω από το τρόφιμο. Ο έλεγχος αυτών των συνθηκών καθορίζει και τη δράση των ενζύμων. Σημαντικοί παράγοντες είναι το pH, η θερμοκρασία, η ενεργότητα του νερού, τα χημικά που επιδρούν στα ένζυμα, η αλλαγή του υποστρώματος δράσης των ενζύμων, αλλαγές στα προϊόντα και ο έλεγχος της προεργασίας της παραγωγής. Οι παράγοντες αυτοί σχετίζονται σε διάφορους βαθμούς και με ποικίλους μηχανισμούς με τη συσκευασία των τροφίμων, αφού μέσω αυτής μπορούν να ελεγχθούν άμεσα ή έμμεσα οι μηχανισμοί δράσης των ενζύμων.

Χημικές. Πολλές από τις χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στα τρόφιμα μπορούν να προκαλέσουν αλλοίωση της ποιότητας ή να μειώσουν την ασφάλειά τους. Οι βασικοί τύποι των αντιδράσεων αυτών λαμβάνουν χώρα εμπλέκοντας διαφορετικά στοιχεία και υποστρώματα ανάλογα με το τρόφιμο και τις συνθήκες που επικρατούν κατά την παραγωγή και αποθήκευση.

Οι ρυθμοί αυτών των αντιδράσεων εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες που θα μπορούσαν να ελεγχθούν από τη συσκευασία όπως, το φως, το οξυγόνο, τη θερμοκρασία και την ενεργότητα νερού.

Οργανοληπτική ποιότητα. Οι δύο βασικές αντιδράσεις που παρουσιάζονται στα τρόφιμα και μπορούν να μεταβάλουν την οργανοληπτική τους ταυτότητα είναι η οξείδωση των λιπών και το μη-ενζυμικό μαύρισμα.

Οξείδωση των λιπών. Αυτο-οξείδωση είναι η οξείδωση των λιπών μέσω της αντίδρασης του μοριακού οξυγόνου με υδρογονάνθρακες. Ο μηχανισμός της αντίδρασης βασίζεται στις ελεύθερες ρίζες και είναι πολύ γρήγορος. Χωρίζεται σε τέσσερα στάδια: της έναρξης, της προπαρασκευής, της διακλάδωσης και του τερματισμού. Υπάρχουν και έχουν περιγραφεί πολλοί μηχανισμοί έναρξης των ελεύθερων ριζών. Τα λίπη με πολλαπλούς διπλούς δεσμούς, όπως τα πολυ-ακόρεστα λίπη και τα φωσφο-λιπίδια. Το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή ανεπιθύμητων αρωμάτων που αλλοιώνουν την ποιότητα των τροφίμων. Τα προϊόντα της οξείδωσης των λιπών μπορούν να αντιδράσουν με άλλα συστατικά του τροφίμου όπως πρωτεΐνες, οδηγώντας σε εκτεταμένη διασύνδεση των αλυσίδων τους μέσω δεσμών πρωτεΐνης- πρωτεΐνης ή πρωτεΐνης-λιπιδίων. Ο ρυθμός των αντιδράσεων αυτών εξαρτάται από τη συγκέντρωση του οξυγόνου, το φως, τις υψηλές θερμοκρασίες και την παρουσία καταλυτών (γενικά μετάλλων όπως ο χαλκός, το σίδηρο αλλά και χρωστικές όπως η αίμη) και η ενεργότητα νερού. Ο έλεγχος και περιορισμός αυτών των παραγόντων μπορεί να μειώσει σημαντικά την εξέλιξη των αντιδράσεων οξείδωσης σε ένα τρόφιμο.

Μη-ενζυμικό μαύρισμα. Είναι η κύρια χημική αντίδραση αλλοίωσης ξηρών και αφυδατωμένων τροφίμων. Αν και οι μηχανισμοί και οι αντιδράσεις δεν είναι ακόμα πλήρως διευκρινισμένες, θα μπορούσαν να χωριστούν σε τρία στάδια: τις πρώιμες αντιδράσεις Maillard όπου δεν παρουσιάζεται αμαύρωση, τις προχωρημένες αντιδράσεις Maillard οι οποίες οδηγούν στην απραγωγή πτητικών ή διαλυτών στοιχείων, και τις τελικές αντιδράσεις Maillard οι οποίες καταλήγουν στην παραγωγή αδιάλυτων πολυμερών καφέ χρώματος. Οι τελικές αυτές αντιδράσεις περιλαμβάνουν την ένωση αλδεύδων με αμίνες (πρωτεΐνη ή αμινοξύ) για να δώσουν μια γλυκοσυλαμίνη μέσω μιας βάσης Schiff. Η γλυκοσυλαμίνη στη συνέχεια προχωρά σε μια ανακατανομή τύπου Amadori για να σχηματίσει ένα Amadori 1-αμινο-1δεοξυ-2-κετοζο-παραγώγο. Τα παράγωγα αυτά είναι υπεύθυνα για την μείωση των αναγωγικών σακχάρων και αμινών που παρουσιάζονται κατά τις αντιδράσεις Maillard. Αν και οι πρώιμες αντιδράσεις Maillard που παράγουν στοιχεία Amadori δεν προκαλούν αμαύρωση, μειώνουν τη θρεπτική αξία του τροφίμου.

Αλλαγές του χρώματος. Η αποδοχή του χρώματος ενός προϊόντος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες μεταξύ αυτών και πολιτισμικούς, γεωγραφικούς και κοινωνικούς. Παρ' όλα αυτά συγκεκριμένες ομάδες τροφίμων είναι αποδεκτές μόνο εφ' όσον εμπίπτουν σε καθορισμένα χρωματικά όρια. Το χρώμα πολλών τροφίμων εξαρτάται από την παρουσία φυσικών χρωστικών, όπως:

- α) χλωροφύλλες
- β) Χρωστικές αίματος (αίμη)
- γ) ανθοκυανίνες
- δ) καροτενοειδή
- ε) διάφορες φυσικές χρωστικές

Αλλαγές του «μπουκέτου». Με τον όρο μπουκέτο θα περιγράψουμε την ολική αποδοχή των αισθήσεων της όσφρησης και της γεύσης τη στιγμή που καταναλώνεται το τρόφιμο.

Θρεπτική αξία. Υπάρχουν άλλες χημικές μεταβολές οι οποίες προκαλούν σοβαρές βλάβες στις οργανοληπτικές ιδιότητες των τροφίμων μειώνοντας την θρεπτική τους αξία. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τις αντιδράσεις αυτές είναι το φως, το οξυγόνο, η θερμοκρασία και η ενεργότητα του νερού και θα μπορούσαν να ελεγχθούν με τη συσκευασία.

Βιταμίνες. Η χημική μεταλλαγή των βιταμινών σε ανενεργή στοιχεία κατά την αποθήκευση έχει περιγραφεί από ερευνητές και θεωρείται βασική αιτία υποβάθμισης της θρεπτικής αξίας ενός τροφίμου. Το ασκορβικό οξύ είναι η πιο ευαίσθητη βιταμίνη των τροφίμων και η σταθερότητα της εξαρτάται από τον συνδυασμό περιβαλλοντικών παραγόντων, του pH και της συγκέντρωσης ιχνών μεταλλικών ιόντων και του οξυγόνου. Η αποτελεσματικότητα των υλικών συσκευασίας στη φραγή της υγρασίας και του οξυγόνου όπως και η χημική σύσταση της επιφάνειας που εκτίθεται στο τρόφιμο παίζουν σημαντικό ρόλο. Η μείωση του ασκορβικού οξέος μέσω αερόβιων και αναερόβιων αντιδράσεων σε τρόφιμα μειωμένης υγρασίας έχει

αποδειχθεί ότι είναι εξαιρετικά ευαίσθητη στην ενεργότητα του νερού, ενώ ο ρυθμός αυξάνεται λογαριθμικά για a_w μεταξύ 0.1-0.8.

Πρωτεΐνες. Η θρεπτική αξία των πρωτεϊνών μπορεί να μεταβληθεί εμ τη θέρμανση και την οξείδωση. Η οξείδωση των πρωτεϊνών οδηγεί στο σχηματισμό προϊόντων αποικοδόμησης τα οποία οφείλονται για την μειωμένη θρεπτική αξία. Ακόμα, οι πρωτεΐνες μπορούν να αντιδράσουν με τα λίπη και να σχηματίσουν σύμπλοκα τα οποία να επηρεάσουν τη δομή του τροφίμου και σε μικρότερο βαθμό τη θρεπτική αξία των πρωτεϊνών. Επίσης, οι αντιδράσεις Maillard μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση της θρεπτικής αξίας, κυρίως λόγω απωλειών του αμινοξέος λυσίνη.

Λίπη. Τα λίπη και ειδικά τα ακόρεστα υπόκεινται σε πολλές και ποικίλες αντιδράσεις μερικές από τις οποίες οδηγούν και σε μείωση της θρεπτικής τους αξίας. Τα υπεροξειδία που παράγονται από τα λιπίδια κατά την οξείδωση τους μπορεί να αντιδράσουν με πρωτεΐνες και βιταμίνες με αρνητικά αποτελέσματα στη θρεπτική αξία του τροφίμου. Το οξυγόνο συχνά έχει τον κύριο λόγο στην αποδόμηση των λιπών.

Φυσικές αλλαγές.

Η περιγραφή των φυσικών ιδιοτήτων των τροφίμων γίνεται χρησιμοποιώντας φυσικούς όρους για την ποσοτικοποίηση ενός χαρακτηριστικού χωρίς την ανάγκη των χημικών μέσων περιγραφής. Είναι σημαντικά χαρακτηριστικά ενός τροφίμου γιατί σχετίζονται με τον χειρισμό, την παραγωγή, τη συσκευασία και την αποθήκευση ενός τροφίμου. Στις φυσικές ιδιότητες περιλαμβάνονται οι γεωμετρικές (μέγεθος, σχήμα, όγκος, πυκνότητα, επιφάνεια, γεωμετρία υψής και δομής-μεγέθους και μέγεθος τεμαχιδίων και σχήμα και προσανατολισμός τεμαχιδίων), οι θερμικές, οι οπτικές, οι μηχανικές οι ρεολογικές οι ηλεκτρικές και οι υδροδυναμικές. Οι κυριότερες φυσικές αλλαγές προκύπτουν σαν το αποτέλεσμα της απορρόφησης νερού ή υγρασίας από το τρόφιμο. Το νερό ή η υγρασία επιδρά στα ξηρά και αφυδατωμένα προϊόντα, στις σκόνες, στα τρόφιμα που περιέχουν υδατάνθρακες και λουπά.

Βιολογικές αλλαγές.

Μικροβιολογικές. Οι μικροοργανισμοί μπορούν να προκαλέσουν τόσο επιθυμητές όσο και ανεπιθύμητες μεταβολές στα τρόφιμα, και εξαρτάται από το εάν εισάγονται ως μέρος της διεργασίας παραγωγής και συντήρησης του τροφίμου ή παρουσιάζονται σε αυτό σαν αποτέλεσμα εξωτερικών επιμολύνσεων σε κάποιο στάδιο της ζωής του ή ακόμα ενώ ενυπάρχουν στο τρόφιμο σε χαμηλά επίπεδα, η παρουσία τους αυξάνει κάτω από ευνοϊκές για τον πολλαπλασιασμό τους συνθήκες. Οι δύο κύριοι τύποι μικροοργανισμών που απαντώνται στα τρόφιμα είναι α) τα βακτήρια και β) οι μύκητες (ζύμες και μούχλες).

Κατά την ανάπτυξη τους περνάν από το αρχικό στάδιο της προσαρμογής όπου η φάση αυτή της υστέρησης ακολουθείται από την φάση ανάπτυξης με γρήγορους ρυθμούς πολλαπλασιασμού του πληθυσμού μέχρι ένα όριο μετά το οποίο ο πληθυσμός περνά στη στατική φάση όπου και ο ρυθμός αναπαραγωγής μειώνεται δραστικά και ο πληθυσμός παραμένει σχετικά σταθερός. Τελικά, ο θάνατος των μικροοργανισμών υπερτερεί των γεννήσεων και ο πληθυσμός φθίνει περνώντας στη φάση της μείωσης του.

Τα τρόφιμα συνήθως κατηγοριοποιούνται σαν αναλλοίωτα (ξηρή ζάχαρη), ημι-ευαλλοίωτα (χαμηλής υγρασίας τρόφιμα, όπως αλεύρι, ξηροί καρποί και λαχανικά, ψημένα προϊόντα και τα κατεψυγμένα εφ' όσον διατηρούνται στις κατάλληλες συνθήκες) και ευαλλοίωτα (η πλειοψηφία των τροφίμων όπως το κρέας, τα ψάρια, το γάλα, τα αυγά, και τα περισσότερα φρούτα και λαχανικά εάν δεν έχουν υποστεί κάποια μορφή επεξεργασίας με σκοπό την περαιτέρω συντήρησή τους) με γνώμονα τη σταθερότητα τους. Στην πραγματικότητα πολύ λίγα τρόφιμα είναι πραγματικά αναλλοίωτα και ένας σημαντικός παράγοντας καθορισμού και ελέγχου της τάσης προς αλλοίωση είναι η συσκευασία.

Τα είδη των μικροοργανισμών που θα μπορούσαν να προκαλέσουν την αλλοίωση ενός τροφίμου επηρεάζονται από δύο παράγοντες: τη φύση του τροφίμου και το περιβάλλον. Οι παράγοντες αυτοί αναφέρονται σαν εσωτερικοί και εξωτερικοί, αντίστοιχα.

Εσωτερικοί παράγοντες. Αποτελούν αναπόσπαστο στοιχείο του τροφίμου και περιλαμβάνουν το pH, την a_w , το E_h , τη συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων, τα αντιμικροβιακά στοιχεία και τη βιολογική δομή.

Κάθε μικροοργανισμός αναπτύσσεται σε ορισμένα όρια pH, και για τους περισσότερους σε τιμές pH γύρω στο 7.0 ενώ λίγοι επιζούν σε τιμές κάτω από 4.0.

Ανάλογα και η ελάχιστη a_w η οποία όμως βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με τη θερμοκρασία και τα θρεπτικά συστατικά. Οι ζύμες και οι μύκητες επιζούν σε μεγαλύτερο εύρος a_w σε σχέση με τα βακτήρια.

Ο οξειδω-αναγωγικό δυναμικό E_h , ενός υποστρώματος μπορεί να οριστεί ως η ευκολία με την οποία το υπόστρωμα κερδίζει ή χάνει ηλεκτρόνια. Όσο πιο οξειδωτικό ένα υπόστρωμα τόσο πιο θετικό θα παρουσιάζεται

στο ηλεκτρικό του δυναμικό. Οι αερόβιοι μικροοργανισμοί απαιτούν θετικές τιμές E_h για την ανάπτυξη τους ενώ οι αναερόβιοι απαιτούν αρνητικές τιμές E_h . Μεταξύ των συστατικών των τροφίμων που βοηθούν στη διατήρηση των αναγωγικών συνθηκών είναι οι σουλφιδρικές ομάδες των πρωτεϊνών και το ασκορβικό οξύ και τα αναγωγικά ζάχαρα των φρούτων και των λαχανικών. Άλλες αντιδράσεις αλλοίωσης μπορούν να επηρεάσουν το E_h των τροφίμων κατά την αποθήκευσή τους.

Για να λειτουργήσουν και να αναπτυχθούν οι μικροοργανισμοί απαιτούν αρκετά θρεπτικά στοιχεία: νερό (η διαθεσιμότητα του νερού συνδέεται άμεσα με την ενεργότητα του νερού), κάποια πηγή ενέργειας, κάποια πηγή αζώτου (κύρια πηγή αζώτου είναι τα αμινοξέα), βιταμίνες και σχετικούς παράγοντες ανάπτυξης (ανάλογα με τον τύπο του μικροοργανισμού) και ιχνοστοιχεία. Κάποια τρόφιμα έχουν φυσικά στοιχεία τα οποία δρουν ως αντιμικροβιακά, περιορίζοντας ή αναστέλλοντας την ανάπτυξη συγκεκριμένων μικροοργανισμών στα τρόφιμα αυτά.

Εξωτερικοί παράγοντες. Οι παράγοντες αυτοί είναι οι ιδιότητες του περιβάλλοντος αποθήκευσης οι οποίοι επηρεάζουν τόσο το τρόφιμο όσο και τους μικροοργανισμούς. Η ανάπτυξη των μικροοργανισμών συνδέεται άμεσα και κύρια με τους παράγοντες αυτούς και συγκεκριμένα: τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία και τη σύσταση του αέρα που περιβάλλει το τρόφιμο.

Με βάση το επιθυμητό εύρος θερμοκρασίας ανάπτυξης τους τα βακτήρια χωρίζονται σε α) ψυχρόφιλα ή ψυχρότροφα (αναπτύσσονται καλά κάτω από 20°C, ενώ η βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξης τους βρίσκεται μεταξύ 20-30°C), σε β) μεσόφιλα (αναπτύσσονται καλά μεταξύ 2 και 45°C με βέλτιστο μεταξύ 30-40°C), και σε γ) θερμόφιλα (αναπτύσσονται καλά σε θερμοκρασίες πάνω από 45°C με βέλτιστο μεταξύ 55-65°C). Συνεπάγεται ότι ο έλεγχος της θερμοκρασίας αποθήκευσης σε χαμηλές τιμές θα βοηθήσει την καλύτερη και μακρύτερη διατήρησή του. Οι μούχλες αναπτύσσονται σε ευρύτερα όρια θερμοκρασιών σε σχέση με τα βακτήρια ενώ μπορούν να αναπτυχθούν και σε θερμοκρασίες ψύξης. Οι ζύμες αναπτύσσονται σε εύρη θερμοκρασιών ανάλογα με αυτά των ψυχρόφιλων και μεσόφιλων βακτηρίων αλλά σε γενικές γραμμές όχι των θερμόφιλων.

Η σχετική υγρασία (RH) του περιβάλλοντος μπορεί να επηρεάσει την ενεργότητα νερού του τροφίμου στην περίπτωση που η συσκευασία δεν παρουσιάζει αρκετή φραγή. Καθώς δεν υπάρχει καμιά πλαστική μεμβράνη πλήρως α-διαπερατή στο νερό, δεν μπορεί παρά αργά ή γρήγορα να επηρεάζεται και ο χρόνος ζωής των τροφίμων με χαμηλή ενεργότητα νερού.

Η παρουσία συγκεκριμένων αερίων στον περιβάλλοντα το τρόφιμο χώρο, έχει σημαντική επίδραση στην διατηρησιμότητα του τροφίμου μέσω της ανάπτυξης των μικροοργανισμών. Αυξημένες συγκεντρώσεις αερίων όπως το CO₂ αναστέλλουν την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Η συσκευασία υπό κενό, δηλαδή η αφαίρεση του αέρα και έτσι και του οξυγόνου, μπορεί να βοηθήσει στη περιορισμένη ανάπτυξη αερόφιλων μικροοργανισμών. Η συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία αποθήκευσης η οποία επηρεάζει και τη δράση των αερίων, είναι ένας συνηθισμένος τρόπος συντήρησης λαχανικών, φρούτων, κρέατος, και άλλων τροφίμων, ειδικά σε θερμοκρασίες ψύξης.

Επίδραση των υλικών συσκευασίας. Η προστασία από τους μικροοργανισμούς που παρέχει η συσκευασία στα τρόφιμα εξαρτάται από τη μηχανική ακεραιότητα και στην αντοχή των υλικών στη διείσδυση των μικροοργανισμών. Η παρουσία μικρο-οπών αποτελεί τον μεγαλύτερο κίνδυνο. Οι μικροοργανισμοί μπορούν να διέλθουν μέσω αυτών των μικρο-οπών οι οποίες μπορεί να παρουσιαστούν σε πολύ λεπτά φύλλα τόσο πολυμερών όσο και αλουμινίου. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν αρκετές δικλείδες ασφαλείας για την μη διέλευση των μικροοργανισμών μέσω των μικρο-οπών αυτών, μεταξύ των οποίων το γεγονός ότι

- α) λόγω της επιφανειακής τάσης οι μικροοργανισμοί δεν μπορούν να περάσουν ελεύθερα από τις μικρο-οπές εάν δεν είναι αρκετά μικροί ή δεν είναι διαλυμένοι μέσα σε διαλύματα wetting παραγόντων και εάν η πίεση εξωτερικά της συσκευασίας δεν είναι μεγαλύτερη από την εσωτερική,
- β) τα υλικά συσκευασίας συνήθως χρησιμοποιούνται σε αρκετά μεγάλο πάχος ώστε να αποφεύγεται η παρουσία μικρο-οπών και
- γ) υπάρχουν επαρκείς μέθοδοι δοκιμών και ανάλυσης της ακεραιότητας μιας συσκευασίας για την ανίχνευση της παρουσίας μικρο-οπών.

Μακροβιολογικές.

Έντομα και ζώδια. Υπάρχουν παντού και ευνοούνται από ζεστά και υγρά περιβάλλοντα αποθηκών. Ελκύονται από μυρωδιές και με την επαφή τους με το τρόφιμο μπορούν να μεταφέρουν και διάφορα είδη μικροοργανισμών τα οποία υπάρχουν στο σώμα τους. Τα διάφορα υλικά συσκευασίας δείχνουν και διαφορετική αντοχή στην επίθεση τέτοιων οργανισμών λόγω της διαφορετικής σύστασης και πάχους του πολυμερούς, ενώ άλλοι οργανισμοί εισέρχονται στη συσκευασία μόνο εφόσον υπάρχει κάποιο κατάλληλο

άνοιγμα. Υπάρχουν ουσίες όπως οι πυριθρίνη, οι οποίες επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν στα υλικά συσκευασίας σαν εντομοαπωθητικά ή εντομοκτόνα κυρίως σαν συστατικό των υλικών συνοχής των υλικών όπως οι κόλλες. Από τα πλέον ευάλωτα υλικά είναι το χαρτί και τα προϊόντα του που χρησιμοποιούνται κυρίως στη δευτερογενή συσκευασία (χαρτόνι, κυματοειδές χαρτόνι) και τα βαμβακερά τσουβάλια.

Τρωκτικά. Τα ποντίκια και οι αρουραίοι είναι από τους πλέον επικίνδυνους εχθρούς με αυξημένη την αίσθηση της αφής, της όσφρησης και της ακοής και ικανότητα να αναγνωρίζουν νέα και άγνωστα αντικείμενα στο περιβάλλον τους. Τα τρωκτικά μεταφέρουν ασθένειες και μικροοργανισμούς που μπορούν να προκαλέσουν πολύ σοβαρές τροφο-δηλητηριάσεις στον άνθρωπο. Όλα τα υλικά συσκευασίας εκτός από το μέταλλο και το γυαλί μπορούν να δεχθούν επίθεση από τα τρωκτικά. Σωστή υγιεινή, κλείσιμο των περασμάτων και κατάλληλη καταπολέμηση των τρωκτικών μπορούν να μειώσουν σημαντικά το πρόβλημα.

Ρυθμός των αντιδράσεων αλλοίωσης.

Ένας μεγάλος αριθμός αντιδράσεων αλλοίωσης μπορούν να λάβουν χώρα στα τρόφιμα και να τα καταστήσουν ακατάλληλα ή ανεπιθύμητα για κατανάλωση. Η γνώση τόσο της φύσης όσο και του ρυθμού της κάθε αντίδρασης μπορούν να βοηθήσουν στον έλεγχο τους.

Στη χημεία, ενέργεια ενεργοποίησης, αποκαλούμενη επίσης ενέργεια κατώτατων ορίων, είναι ένας όρος που εισάγεται το 1889 από τον Svante Arrhenius και ορίζεται ως η ενέργεια που πρέπει να υπερνικηθεί για να εμφανιστεί μια χημική αντίδραση. Η ενέργεια ενεργοποίησης μπορεί ειδικά να δειχτεί ως η ελάχιστη ενέργεια απαραίτητη για να εμφανιστεί μια συγκεκριμένη χημική αντίδραση. Η ενέργεια ενεργοποίησης μιας αντίδρασης (E_a), δίνεται σε κιλοτζάουλς ανά γραμμομόριο (kJ/mole). Βασικά, η ενέργεια ενεργοποίησης είναι το ύψος του πιθανού εμποδίου (μερικές φορές αποκαλούμενου ενεργειακού εμπόδιου) που χωρίζει δύο ελάχιστα πιθανής ενέργειας (των αντιδραστήριων και των προϊόντων της αντίδρασης). Για να έχει μια χημική αντίδραση αξιοπρόσεχτο ρυθμό εξέλιξης, θα πρέπει να υπάρξει αξιοπρόσεχτος αριθμός μορίων με ενεργειακό ισοζύγιο ίσο ή μεγαλύτερο από την ενέργεια ενεργοποίησης. Σε χαμηλές θερμοκρασίες για μια ιδιαίτερη αντίδραση, (αλλά όχι όλες) τα μόρια δεν θα έχουν αρκετή ενέργεια για να αντιδράσουν. Εντούτοις σχεδόν πάντα θα υπάρξει ένας ορισμένος αριθμός με αρκετή ενέργεια σε οποιαδήποτε θερμοκρασία επειδή η θερμοκρασία είναι ένα μέτρο της μέσης ενέργειας του συστήματος - τα μεμονωμένα μόρια μπορούν να έχουν λιγότερη ή περισσότερη ενέργεια από το μέσο όρο. Η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει το ποσοστό των μορίων με περισσότερη ενέργεια από την ενέργεια ενεργοποίησης, και συνεπώς αυξάνει ανάλογα και ο ρυθμός της αντίδρασης. Χαρακτηριστικά η ενέργεια ενεργοποίησης δίνεται ως η ενέργεια σε kilojoules που απαιτούνται από έναν γραμμομόριο των αντιδρώντων για να αντιδράσουν.

Ο έλεγχος των αντιδράσεων αλλοίωσης απαιτεί μια ποσοτική ανάλυση βασισμένη στη γνώση της κινητικής των αντιδράσεων στο τρόφιμο. Η ποσοτική αυτή ανάλυση βασίζεται σε ένα μετρήσιμο δείκτη της αλλοίωσης, δηλαδή μια χημική, φυσική ή οργανοληπτική ή συνδυασμό τους, μέτρηση, η οποία θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί επαναλαμβανόμενα ώστε να περιγραφούν οι αλλαγές που λαμβάνουν χώρα. Η αύξηση ή μείωση του δείκτη θα πρέπει να συνδυάζονται με τις αλλαγές στην ποιότητα. Για την ποσοτική ανάλυση των αλλαγών της ποιότητας, ο δείκτης θα πρέπει να εκφράζεται σε σχέση με τις υπάρχουσες συνθήκες κατά την επεξεργασία και την αποθήκευση, ώστε οι αλλαγές να μπορούν να προβλεφθούν ή να προσομοιωθούν. Έτσι, ο υπολογισμός της μείωσης της ποιότητας χρειάζεται ενός μαθηματικού μοντέλου το οποίο θα εκφράζει την επίδραση των εσωτερικών και εξωτερικών παραγόντων στον μετρούμενο δείκτη. Η βασική εξίσωση που περιγράφει την μείωση της ποιότητας μπορεί να γραφεί ως:

$$-dC/d\theta = f(I_i, E_j)$$

όπου,

$-dC/d\theta$ = ο ρυθμός αλλαγής κάποιου δείκτη αλλοίωσης C με το χρόνο. Το αρνητικό πρόσημο χρησιμοποιείται για να δηλώσει ότι η συγκέντρωση του C μειώνεται με το χρόνο

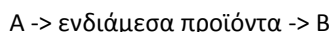
I_i = εσωτερικοί παράγοντες ($i = 1 \dots m$)

E_j = εξωτερικοί παράγοντες ($j = 1 \dots n$)

Η επίδραση αυτών των παραγόντων μπορεί να εκφραστεί σχετικά εύκολα σε μια λειτουργική σχέση η οποία είναι ίδια για πολλές αντιδράσεις αλλοίωσης και συστήματα τροφίμων. Άλλες είναι πιο πολύπλοκες και μοναδικές στη συμπεριφορά τους και θα πρέπει να περιγράφονται ξεχωριστά για κάθε προϊόν και σύστημα τροφίμου.

Με δεδομένο ότι η ποιότητα ενός τροφίμου και ο ρυθμός της μείωσης της κατά την επεξεργασία και αποθήκευση εξαρτάται από κάποιο εσωτερικό παράγοντα, είναι δυνατόν σε πολλές περιπτώσεις να

συνδυάσουμε την μείωση της ποιότητας με τη μείωση κάποιου συστατικού, όπως μιας βιταμίνης ή μιας χρωστικής. Σε αυτή την περίπτωση η μετάβαση από ένα συστατικό A σε ένα άλλο B, μπορεί να γραφεί ως:



όπου τα A και B θα μπορούν να μετρηθούν. Αυτή η μείωση της ποιότητας μπορεί να θεωρηθεί ως ανάλογη της δύναμης της συγκέντρωσης του αντιδρώντος ή προϊόντος στοιχείου:

$$-dA/d\theta = kA^n$$

όπου,

A και B = η συγκέντρωση των μετρήσιμων ποιοτικών χαρακτηριστικών

θ = χρόνος

k = σταθερά της αντίδρασης (εξαρτάται από εξωτερικούς παράγοντες)

n = ένας αριθμός που εκφράζει την τάξη της αντίδρασης και ο οποίος προσδιορίζει το εάν ο ρυθμός εξαρτάται από τη συγκέντρωση του A ή όχι. Η τιμή του μπορεί να είναι κλάσμα ή ακέραιος αριθμός.

Η εξίσωση (2.1.) υπονοεί ότι οι εξωτερικοί παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η ενεργότητα του νερού και η ένταση του φωτός διατηρούνται σταθεροί. Σε αντίθετη περίπτωση η επίδραση τους στην σταθερά k θα πρέπει να συνυπολογίζεται. Για τις περισσότερες αντιδράσεις στα τρόφιμα η τάξη της αντίδρασης n βρέθηκε να είναι είτε 0 είτε 1.

Από τη μεριά της συσκευασίας είναι χρήσιμο να ξέρουμε τις συγκεντρώσεις του A ή του B στις οποίες το προϊόν δεν είναι πια αποδεκτό. Σε αυτή την περίπτωση ο χρόνος ζωής ενός προϊόντος (θ_s) θα είναι ο χρόνος που θα χρειαστεί για τις συγκεντρώσεις των A ή B να φτάσουν (μειωθούν ή αυξηθούν) στα ανεπιθύμητα επίπεδα A_e ή B_e).

Αντιδράσεις μηδενικής τάξης. Όταν $n = 0$, η αντίδραση καλείται ψευδο-μηδενικής τάξης σε σχέση με το A. Η αντίδραση (2.1.) τότε γίνεται:

$$-dA/d\theta = k$$

Η εξίσωση αυτή δείχνει ότι ο ρυθμός μείωσης του A είναι σταθερός με το χρόνο και ανεξάρτητος από τη συγκέντρωση του A. Με τις κατάλληλες μαθηματικές πράξεις έχουμε ότι μεταξύ της αρχικής συγκέντρωσης A_0 σε χρόνο $\theta = 0$ και της συγκέντρωσης A σε χρόνο θ :

$$\int_{A_0}^A dA = -k \int_0^\theta d\theta$$

$$A = A_0 - k\theta$$

ή

$$A_0 - A = k\theta$$

ή

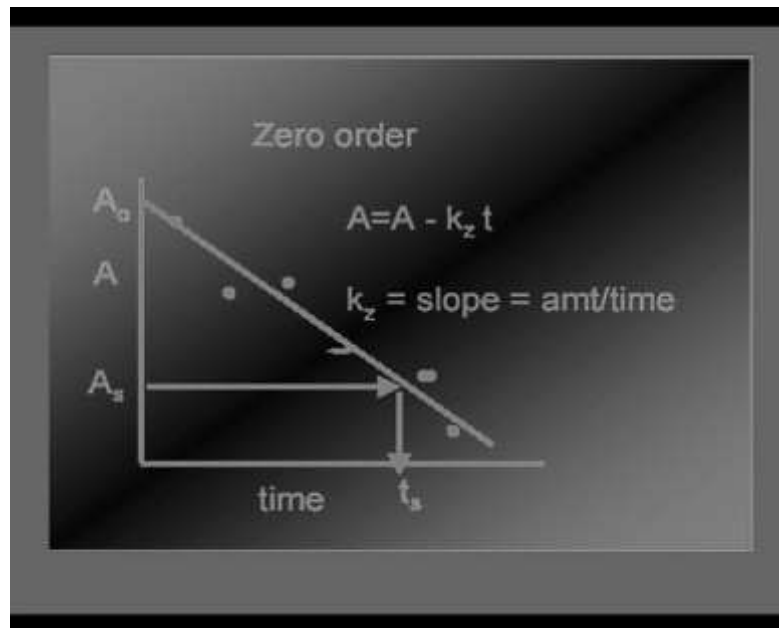
$$A_e = A_0 - k\theta_s$$

όπου,

A_e = η τιμή του A στο τέλος του χρόνου ζωής

θ_s = ο χρόνος ζωής σε μέρες, μήνες, χρόνια κ.λπ.

Για τις αντιδράσεις αυτές η απεικόνιση του A με το χρόνο δίνει μια ευθεία γραμμή με κλίση k, υποδηλώνοντας ότι η μείωση της ποιότητας είναι η ίδια για κάθε μέρα, με δεδομένο ότι οι εξωτερικοί παράγοντες παραμένουν σταθεροί.



Χαρακτηριστικές αντιδράσεις ψευδο-μηδενικής τάξης περιλαμβάνουν το μη-ενζυμικό μαύρισμα των δημητριακών και των σκονών γάλακτος, την οξείδωση των λιπών σε προϊόντα σνακ, αποξηραμένα και κατεψυγμένα και την ενζυματική αλλοίωση των φρέσκων φρούτων και λαχανικών και σε ορισμένα καταψυγμένα προϊόντα ζύμης.

Αντιδράσεις πρώτης τάξης. Τα τρόφιμα που η αλλοίωση τους δεν ακολουθεί την αντίδραση ψευδο-μηδενικής τάξης, ακολουθούν την ψευδο-πρώτης τάξης αντίδραση ($n = 1$) κατά την οποία ο ρυθμός της μείωσης του συστατικού A εξαρτάται από το ποσό που έχει απομείνει στο τρόφιμο. Σε αυτή την περίπτωση η εξίσωση (2.1.) γίνεται:

$$\int_{A_0}^A \frac{dA}{A} = -k \int_0^\theta d\theta$$

και

$$\ln \frac{A}{A_0} = -k\theta \text{ όπου } \ln \text{ ο φυσικός λογάριθμος}$$

ή

$$\ln A = \ln A_0 - k\theta$$

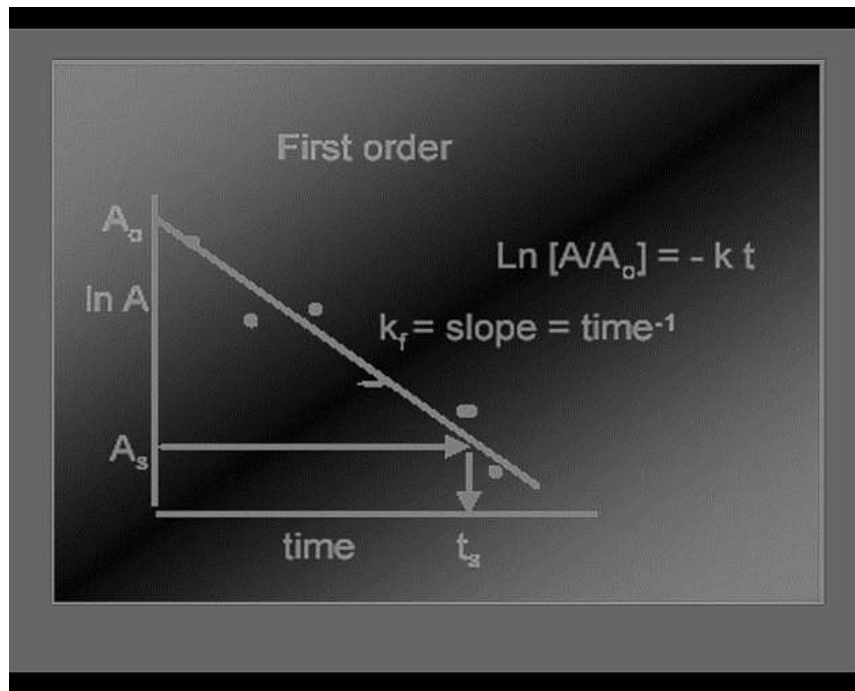
ή

$$A = A_0 e^{-k\theta}$$

ή

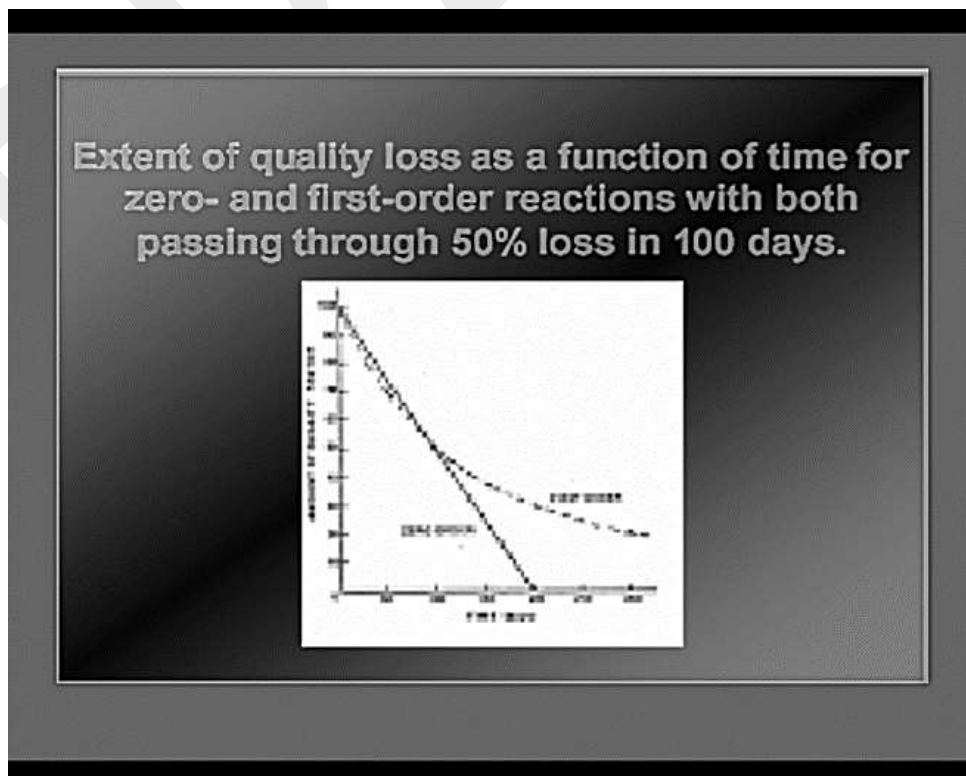
$$A_e = A_0 e^{-k\theta_s}$$

Για τις αντιδράσεις αυτές η απεικόνιση του A με το χρόνο δίνει μια καμπύλη γραμμή. Εάν όμως τα στοιχεία τοποθετηθούν σαν λογάριθμος με βάση το δέκα του A με το χρόνο, προκύπτει μια ευθεία γραμμή με κλίση $-k/2,303$.



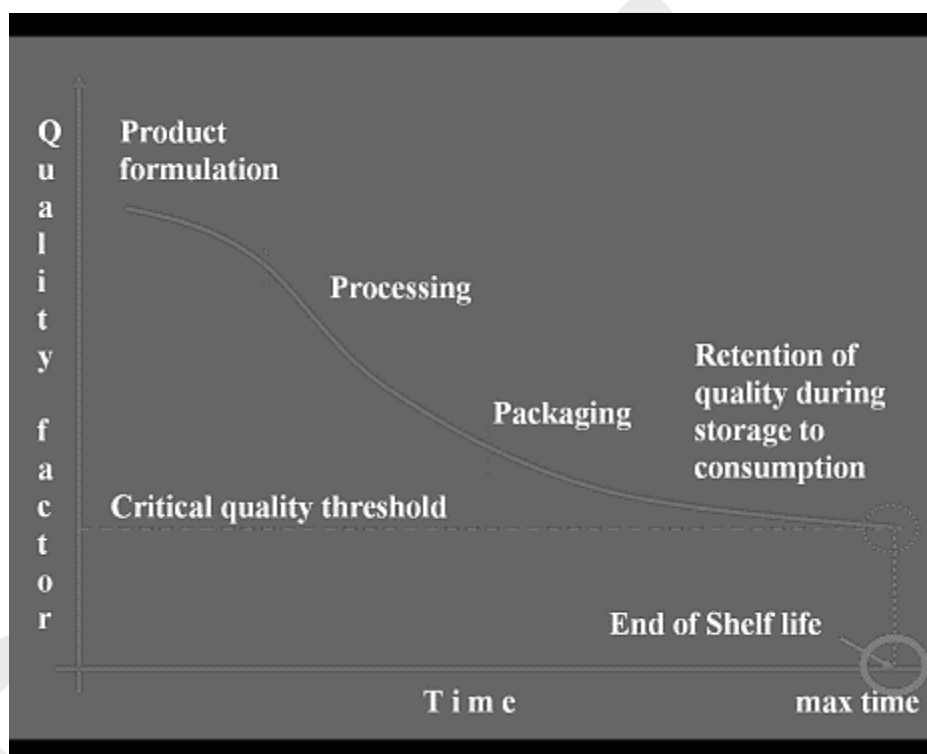
Χαρακτηριστικές αντιδράσεις ψευδο-πρώτης τάξης είναι η μείωση των πρωτεϊνών λόγω μη-ενζυμικών αντιδράσεων αμαύρωσης, η οξείδωση των λιπών σε φυτικά έλαια, η μείωση της συγκέντρωσης βιταμινών σε κονσερβοποιημένα και αποξηραμένα τρόφιμα, και η παραγωγή ανεπιθύμητων μπουκετών και γλίτσας σε προϊόντα σάρκας.

Ενδεικτικά, οι απεικονίσεις των δύο τύπων των αντιδράσεων αλλοίωσης αναφέρονται στο πιο κάτω παράδειγμα. Έχει αναφερθεί ότι για μικρότερη από 50% μείωση του παράγοντα A σε σχέση με την αρχική του ποσότητα, μικρή ή καθόλου διαφορά θα μπορούσε να υπάρχει μεταξύ των ψευδο μηδενικών ή ψευδο-πρώτης τάξης απεικονίσεων.



Χρόνος ζωής (Shelf-life)

Η ποιότητα των περισσότερων τροφίμων μειώνεται με το χρόνο με αποτέλεσμα το τρόφιμο να είναι ακατάλληλο για κατανάλωση μετά από κάποιο χρόνο. Το σημείο το οποίο θα θεωρήσουμε σαν την αρχή του χρόνου ζωής του προϊόντος μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το προϊόν, τις επεξεργασίες που δέχεται και το σύστημα διαχείρισης και διακίνησης του. Συνήθως όμως, ο χρόνος ζωής ξεκινά από τη στιγμή που το προϊόν θα συσκευασθεί, γι' αυτό το λόγο και η συσκευασία καλείται να διατηρήσει την ποιότητα του προϊόντος αναλλοίωτη για το μέγιστο δυνατό χρονικό διάστημα, με άλλα λόγια να επεκτείνει το χρόνο ζωής όσο γίνεται. Φυσικά, τα οφέλη από αυτή την επέκταση είναι κυρίως οικονομικά αφού περιορίζονται οι απώλειες σε χαλασμένα τρόφιμα αλλά αυξάνεται και η ικανοποίηση του καταναλωτή τόσο μέσα από τη δυνατότητα συντήρησης των τροφίμων όσο και από την χρήση προϊόντων με υψηλά ποιοτικά χαρακτηριστικά. Το κόστος της συσκευασίας αυξάνεται με τη χρήση υλικών και μεθόδων τα οποία βοηθούν στην διατήρηση της ποιότητας. Το κόστος αυτό θα πρέπει να αντισταθμίζεται με το οικονομικό όφελος από την επέκταση του χρόνου ζωής μέσα από την αύξηση των πωλήσεων (αρχικές και επαναλαμβανόμενες).



Σε γενικές γραμμές λοιπόν ο χρόνος ζωής είναι το διάστημα κατά το οποίο το τρόφιμο διατηρεί σε αποδεκτό βαθμό τα βασικά εκείνα χαρακτηριστικά τα οποία καθορίζουν την ποιότητα του αλλά διασφαλίζει ότι και η ασφάλεια του καταναλωτή δεν εκτίθεται σε κίνδυνο. Έμεσα συνάγεται το συμπέρασμα ότι η ποιότητα είναι γνώρισμα εξαρτώμενο και προσδιοριζόμενο σε μεγάλο βαθμό από τον καταναλωτή. Φυσικά, υπάρχουν και μετρήσιμα χημικά, φυσικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τα οποία ποσοτικοποιούμενα μπορούν να καθορίσουν την ποιότητα ενός τροφίμου, ενώ η αύξηση του πληθυσμού των μικροοργανισμών σε ένα τρόφιμο είναι αδιαμφησβήτητο κριτήριο της καταλληλότητας κατανάλωσης του.

Οι παράγοντες που ελέγχουν το χρόνο ζωής ενός προϊόντος είναι:

α) τα χαρακτηριστικά του προϊόντος

το πόσο ευαλλοίωτο είναι το ποσοστό του ελεύθερου χώρου και η «χονδρική» πυκνότητα του τα φαινόμενα συγκέντρωσης των συστατικών που επηρεάζουν τους ρυθμούς των αντιδράσεων αλλοίωσης του

β) Οι συνθήκες επεξεργασίας του επηρεάζουν και τις απαιτήσεις του σε μετέπειτα

προστασία, και άρα καθορίζουν τις απαιτήσεις σε υλικά και μεθόδους συσκευασίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ασηπτική συσκευασία, κατά την οποία το προϊόν επεξεργάζεται και τυποποιείται σε αυστηρά υγειονομικές συνθήκες και χώρους με αποτέλεσμα την υψηλή μικροβιολογική του καθαρότητα η οποία και θα πρέπει να διατηρηθεί και στη συνέχεια. Έτσι, τα υλικά συσκευασίας θα πρέπει να επιλεγούν με βάση την δυνατότητα συνεισφοράς τους στην ικανοποίηση αυτής της απαίτησης.

γ) το **περιβάλλον** στο οποίο το προϊόν εκτίθεται κατά την αποθήκευση και διακίνηση του κλιματικοί παράγοντες όπως αυτοί που συμμετέχουν στην διαπερατότητα των υλικών συσκευασίας (υγρασία, οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα, κ.λπ.) αλλά και στην απορρόφηση τους από το ίδιο το τρόφιμο (π.χ. υγρασία, οξυγόνο κ.λπ.) και φυσικά η θερμοκρασία.

Φαινόμενα μεταφοράς μάζας

Φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας

Ταυτόχρονα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και θερμότητας

ii) φυσικοί παράγοντες οι οποίοι συνήθως λαμβάνουν χώρα κατά την

παρουσία του προϊόντος στο περιβάλλον διακίνησης και επηρεάζουν το προϊόν μέσω των φαινομένων της απότομης μεταβολής της κατάστασης του (shock) και της δόνησης (vibration). Η ένταση και ο χρόνος παρουσίας αυτών των φαινομένων στο προϊόν καθορίζουν και τη ζημιά που μπορεί να υποστεί και έτσι προσανατολίζουν τους σχεδιαστές σε λύσεις μέσω της εφαρμογής της προστατευτικής συσκευασίας στο προϊόν εναντίον αυτών των κινδύνων.

iii)

δ) οι **ιδιότητες της συσκευασίας**

Μεταφορά υγρασίας

Μεταφορά αερίων και οσμών

Αλληλεπίδραση τροφίμου/υλικού συσκευασίας

Δοκιμές υπολογισμού του χρόνου ζωής

Είναι πειράματα σχεδιασμένα για τον προσδιορισμό των υπαρχόντων προϊόντων, ώστε να μελετηθεί η επίδραση συγκεκριμένων παραγόντων και των συνδυασμών τους, όπως η θερμοκρασία, τα υλικά συσκευασίας ή τα πρόσθετα του τροφίμου, στο χρόνο ζωής

Πειράματα σχεδιασμένα για την αξιολόγηση των πρωτότυπων ή των νεο-σχεδιασμένων προϊόντων

Υπάρχουν πολλοί βασικοί τρόποι προσέγγισης του υπολογισμού του χρόνου ζωής ενός προϊόντος, όπως:

- i) μελέτη της βιβλιογραφίας και των σχετικών παλιότερων εκτιμήσεων για το ίδιο ή ανάλογο προϊόν
- ii) Μέτρηση του πραγματικού χρόνου που το προϊόν βρίσκεται στο ράφι και υπολογισμός του απαιτούμενου χρόνου ζωής μέσα από τις πωλήσεις του προϊόντος. Αυτό δεν δίνει την αληθινή αλλά την απαιτούμενη ζωή ενός τροφίμου.

Μελέτη του τελικού σημείου, η οποία γίνεται επιλέγοντας τυχαία δείγματα του προϊόντος και κάνοντας εργαστηριακή αποθήκευση και ανάλυση τους με στόχο την περιγραφή της ποιότητας του και τον καθορισμό του μέγιστου χρόνου αποδοχής των ως κατάλληλα προς κατανάλωση.

Επιταχυνόμενες δοκιμές υπολογισμού του χρόνου ζωής όπου τα προϊόντα εκτίθενται σε εργαστηριακές συνθήκες διαφορετικές από τις πραγματικές συνθήκες στις οποίες αναμένεται να εκτεθεί το προϊόν κατά τη διακίνηση και αποθήκευση του, και οι οποίες έχουν σαν στόχο την επιτάχυνση των αντιδράσεων αλλοίωσης του προϊόντος για γρηγορότερα αποτελέσματα.

Σε κάθε περίπτωση, το τελικό προϊόν ελέγχεται μέσω οργανοληπτικών δοκιμών από ειδικευμένες ή μη ομάδες ατόμων ή καταναλωτών, οι οποίες και θα δώσουν την τελική εκτίμηση για την ποιότητα και καταλληλότητα του προϊόντος. Των δοκιμών αυτών θα πρέπει να έχουν προηγηθεί μικροβιολογικές αναλύσεις ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος τροφικών δηλητηριάσεων των δοκιμαστών. Η διάγνωση ενός συγκεκριμένου προβλήματος μπορεί να είναι αρκετά δύσκολη με την οργανοληπτική εξέταση και να απαιτεί πολύ εξειδικευμένο προσωπικό, διότι λόγω της πολυπλοκότητας του τροφίμου και των παράλληλων εξαρτώμενων ή ανεξάρτητων αντιδράσεων, είναι πολλές φορές δύσκολο να αναγνωριστεί το πρόβλημα. Κυρίως οι δοκιμές αυτές στοχεύουν στην εκτίμηση μεταξύ «αρέσει – δεν αρέσει» παρά στην περιγραφή της έντασης ενός προβλήματος. Η πρόκληση είναι να συνδυαστούν τα αποτελέσματα των οργανοληπτικών δοκιμών με αυτά συγκεκριμένων χημικών αναλύσεων για την κατανόηση των αιτιών της αποδοχής ή απόρριψης ενός προϊόντος. Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων μπορεί να συνεισφέρει ακόμα περισσότερο στην κατανόηση της κατάστασης μέσα από διαχωρισμούς και ομαδοποιήσεις των εκτιμήσεων των ομάδων δοκιμής. Τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών μπορούν με περαιτέρω μαθηματική ανάλυση να σχηματιστούν σε μια μαθηματική εξίσωση (μοντέλο) περιγραφής και πρόβλεψης της αλλαγής στην ποιότητα, οδηγώντας έτσι στην εφαρμογή της εξίσωσης και για άλλες συνθήκες πέρα των εργαστηριακά ελεγμένων. Αυτό γλυτώνει χρόνο από δοκιμές αλλά εμπεριέχει το ποσοστό λάθους από εκτιμήσεις και προσεγγίσεις μη αποδεδειγμένες πρακτικά.

Συσκευές υπολογισμού του χρόνου ζωής είναι εξαρτήματα τα οποία προσδοκούν να καταδείξουν το επίπεδο της ποιότητας ενός προϊόντος βασιζόμενα στην παραγωγή κάποιου ορατού για τον καταναλωτή αποτελέσματος ώστε να γνωρίζει την καταλληλότητα ή μη του προϊόντος. Από όλους τους παράγοντες που επιδρούν στην ποιότητα μέσω της συμβολής στον ρυθμό των αντιδράσεων αλλοίωσης, η θερμοκρασία έχει τον κυριότερο ρόλο. Γι αυτό και η καταγραφή της θερμοκρασίας και κυρίως των αποκλίσεων από τα επιθυμητά επίπεδα θα μπορούσε να συνδυαστεί με την συνεπακόλουθα αναμενόμενη αλλοίωση.

Σε αυτή την λογική στηρίζονται και τα συστήματα **TTI (Time-temperature Indicators)** τα οποία αντιδρούν στο συνδυασμό θερμοκρασίας – χρόνου για μια περίοδο αποθήκευσης ή διακίνησης. Τα συστήματα αυτά ενσωμάτωσης του συνδυασμού θερμοκρασίας-χρόνου στην ποιότητα του τροφίμου σχεδιάστηκαν αρχικά για κατεψυγμένα προϊόντα αλλά σήμερα η χρήση τους έχει επεκταθεί σε όλες σχεδόν τις κατηγορίες. Δύο βασικοί τύποι τέτοιων συσκευών υπάρχουν διαθέσιμοι: α) οι συσκευές οι οποίες αντιδρούν μόνο όταν το προϊόν έχει ξεπεράσει ένα προκαθορισμένο θερμοκρασιακό όριο (δείκτες μερικού θερμοκρασιακού ιστορικού), και β) οι συσκευές που αντιδρούν σε όλες τις θερμοκρασίες (δείκτες ολικού θερμοκρασιακού ιστορικού). Ο πρώτος τύπος αποσκοπεί στο να αναγνωρίζει τις θερμοκρασίες που ενοχλούν το προϊόν και έτσι δεν μπορούν να έχουν άμεση συσχέτιση με την ποιότητα του προϊόντος.

Φαινόμενα μεταφοράς μάζας που καθορίζουν τον χρόνο ζωής των προϊόντων.

Αν και τα πλαστικά υλικά έχουν πολλά πλεονεκτήματα όταν χρησιμοποιούνται σαν υλικά συσκευασίας των τροφίμων, έχουν εγείρει και αρκετή ανησυχία σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις τους με το ίδιο το τρόφιμο. Αυτό το ευρύ πεδίο σχετίζεται με τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας των αερίων, της υγρασίας, και των οργανικών μικρο-μοριακών στοιχείων μεταξύ του τροφίμου, των υλικών συσκευασίας και του περιβάλλοντος διατήρησης τους. Τα συστήματα μεταφοράς μάζας περιγράφονται με τρεις βασικές διαδικασίες:

- την διαπερατότητα, δηλαδή τη μεταφορά στοιχείων δια μέσω της μεμβράνης του πολυμερούς μεταξύ τροφίμου και εξωτερικού της συσκευασίας περιβάλλοντος,
- την απορρόφηση, δηλαδή την μεταφορά στοιχείων από το προϊόν μέσα στη μάζα του πολυμερούς χωρίς να διαπερνά από την άλλη πλευρά του, και
- την μετανάστευση κατά την οποία στοιχεία εγκυστετημένα στη μάζα του πολυμερούς ως βοηθητικές της παραγωγής και της σταθεροποίησης του ύλης, μεταφέρονται στο τρόφιμο.



Η μεταφορά μάζας αποτελεί την βάση και για άλλες μοριακές δραστηριότητες στο σύστημα τρόφιμο-συσκευασία, οι οποίες έχουν σαν αποτέλεσμα διάφορες αλλαγές στις ιδιότητες τους. Τα νέα υλικά που σχεδιάζονται και παράγονται αποσκοπούν ακριβώς στην ελαχιστοποίηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τροφίμου και υλικού συσκευασίας ώστε να μεγιστοποιηθεί η προστασία και τελικά ο χρόνος ζωής των προϊόντων.

Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας, μέσω της επίδρασης τους στους συντελεστές διάχυσης, διάλυσης και partition, είναι:

Παράγοντες σχετικά με τη σύνθεση:

- Χημική σύνθεση των υλικών συσκευασίας και της ουσίας
- Μορφολογία του πολυμερούς
- Συγκέντρωση της ουσίας
- Παρουσία άλλης ουσίας
- Περιβαλλοντικοί και παράγοντες σχετικές με τη γεωμετρία
- Θερμοκρασία
- Σχετική υγρασία
- Γεωμετρία της συσκευασίας

Διαπερατότητα σε αέρια και υδρατμούς

Η διάλυση και η μεταφορά μικρού μοριακού βάρους ουσιών δια μέσω των πολυμερικών υλικών (πλαστικά) είναι πρωτεύουσας σημασίας για την συντήρηση των συσκευασμένων σε αυτά τροφίμων ή και άλλων προϊόντων (ηλεκτρονικά και λοιπά υγροσκοπικά προϊόντα). Η προστασία τέτοιων προϊόντων εξαρτάται επίσης από την ακεραιότητα της συσκευασίας.

Σε γενικές γραμμές τα αέρια διαπερνούν τη συσκευασία με δύο τρόπους:

- α. δια μέσω πόρων, μικροσκοπικών οπών και ρηγμάτων, τα οποία μπορεί αν βρίσκονται στη μεμβράνη του πολυμερούς, ενώ η πιθανότητα της παρουσία τους αυξάνει με την μείωση του πάχους της μεμβράνης, και
- β. μέσω του φαινομένου διάλυση-διάχυση, κατά το οποίο τα αέρια διαλύονται μέσα στη μάζα του πολυμερούς, διαχέονται λόγω διαφοράς δυναμικού (πίεσης) και εξατμίζονται μόλις φτάσουν στην άλλη μεριά, μεταφερόμενα έτσι στο προϊόν ή στον περιβάλλοντα εσωτερικό χώρο. Αυτή η διαδικασία της ενεργούς διάχυσης περιγράφεται ως «Διαπερατότητα» (Permeability, P).

Κάτω από σταθερές συνθήκες η αέρια φάση ενός στοιχείου μπορεί να διαχυθεί στη μάζα ενός πολυμερούς με σταθερό ρυθμό εφόσον διατηρηθεί η διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο μερών της μεμβράνης (εξωτερική = περιβάλλον, εσωτερική = ο χώρος εντός της συσκευασίας όπου βρίσκεται το συσκευασμένο προϊόν). Άρα, από μια επιφάνεια A, θα περνά σταθερή ποσότητα Q, σε χρόνο t. Εάν θεωρήσουμε ότι η διαφορά πίεσης $\Delta P = P_{\text{εξωτερική}} - P_{\text{εσωτερική}}$ και αντίστοιχα η ποσότητα της ουσίας θα είναι $C_{\text{εξωτερική}} - C_{\text{εσωτερική}}$, και το πάχος τους υλικού ως x, τότε η Διαπερατότητα της μεμβράνης θα είναι:

$$P = \frac{Q * X}{A * t * \Delta P}$$

Υπάρχουν κάποιες **παραδοχές** κάτω από τις οποίες θα ισχύει η πιο πάνω εξίσωση:

- α. η διάχυση είναι μια σταθερή κατάσταση
- β. η παρουσία του αερίου κατά όλο τα σημεία στο πάχος εντός της μάζας του πολυμερούς είναι γραμμική,
- γ. η διάχυση λαμβάνει χώρα μόνο κατά τη μία κατεύθυνση
- δ. η διαλυτότητα και η διάχυση είναι ανεξάρτητες από τη συγκέντρωση. Αυτό ισχύει για αέρια όπως το O₂, H₂ και N₂, και για αέρια που διαφεύγουν λίγο από τους νόμους των αερίων όπως το CO₂. Όταν όμως υπάρχει ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ αερίου φάσης και πολυμερούς όπως στην περίπτωση υδρατμών και νάιλον ή αναγεννημένης σελλουλόζης, ή για πολλούς οργανικούς διαλύτες (π.χ. αρώματα) που διαλύονται σε οργανικά πολυμερή, η παραδοχή αυτή δεν ισχύει.
- ε. η ποσότητα του αερίου που διαπερνά την μεμβράνη και φράνει στο χώρο που περιβάλλει το προϊόν αναλώνεται αμέσως από το προϊόν ώστε η διαφορά συγκέντρωσης (πίεσης) μεταξύ των δύο μερών της μεμβράνης να παραμένει σταθερή.

Λόγω του πεπερασμένου τρόπου διάχυσης του αερίου εντός της μάζας του πολυμερούς, υπάρχει ένα **αρχικό χρονικό διάστημα** κατά το οποίο δεν έχει επιτευχθεί η σταθερά κατάσταση. Δηλαδή, η ποσότητα του αερίου που διαπερνά την μεμβράνη αυξάνεται σταδιακά έως ότου σταθεροποιηθεί στη μέγιστη τιμή που καθορίζουν οι παράγοντες που περιγράφονται στην εξίσωση. Ο χρόνος αυτός L, εξαρτάται από το πάχος του υλικού και τον συντελεστή διάχυσης D:

$$L = \frac{X^2}{6D} \quad \text{ή} \quad D = \frac{X^2}{6L}$$

Ο συντελεστής διάχυσης D , δίνεται σε μονάδες πάχους² / χρόνο, συνήθως σε cm^2/sec . Η διαπερατότητα P , δίνεται:

$$P = \frac{\text{(ποσότητα ουσίας που διαπερνά σε σταθερή κατάσταση)} \times \text{(πάχος)}}{\text{(επιφάνεια)} \times \text{(χρόνος)} \times \text{(διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο επιφανειών)}}$$

Ακόμα, η διαπερατότητα μιας μεμβράνης σε ένα αέριο δίνεται ακόμα από τον τύπο:

$$P = D \times S$$

Ανεξάρτητα από το υλικό, σε γενικές γραμμές το οξυγόνο O_2 , διαπερνά τέσσερις φορές πιο γρήγορα από το άζωτο, N_2 , και το διοξείδιο του άνθρακα CO_2 διαπερνά περίπου έξι φορές πιο γρήγορα από το O_2 , και είκοσι τέσσερις φορές πιο γρήγορα από το N_2 . Ενώ δεν υπάρχουν σχετικές αναλογίες τα αέρια αυτά με τους υδρατμούς. Οι σχέσεις αυτές για το CO_2 ισχύουν λόγω της μεγάλης διαλυτότητας (S) που παρουσιάζει ενώ λόγω του μεγαλύτερου μεγέθους του μορίου του σε σχέση με τα άλλα δύο μόρια, παρουσιάζει τη μικρότερη διαχυτικότητα (D). Άρα, η διαπερατότητα εξαρτάται από:

$$P = f(\text{φύση του πολυμερούς, φύση του αερίου που διαπερνά, και την αλληλοεπίδραση του πολυμερούς με το αέριο})$$

Σε περιπτώσεις όπου η απορρόφηση ενός αερίου από το πολυμερές προκαλεί την διόγκωση του πολυμερούς, όπως συμβαίνει με τα οργανικά μόρια και τα μεγάλα μόρια αερίων, και ο D και ο S εξαρτώνται τόσο από την συγκέντρωση όσο και από τη θερμοκρασία. Η διόγκωση της μάζας του πολυμερούς σε αυτή την περίπτωση η οποία επηρεάζει το πάχος της μεμβράνης, θα πρέπει να λαμβάνεται υπό όψη στους όποιους υπολογισμούς εμπλέκεται το πάχος του υλικού.

Οι διαφορετικοί **τύποι και ιδιότητες των πολυμερών επηρεάζουν τη διαπερατότητα** των αερίων φάσεων λόγω της διαφορετικής μοριακής τους δομής. Έτσι, πολυμερή που παρουσιάζουν καλή φραγή στα αέρια, δεν είναι απαραίτητο να παρουσιάζουν την ίδια καλή συμπεριφορά στους υδρατμούς. Έτσι, πολυμερή με υψηλή πολικότητα έχουν καλή φραγή στα αέρια αλλά όχι στα πολικά μόρια του υδρατμού. Ακόμα, η αποτελεσματικότητά τους στην φραγή στα αέρια μειώνεται με την αύξηση του ποσού των υδρατμών που απορροφούν. Από την άλλη μεριά, μη-πολικά πολυμερή όπως το πολυαιθυλένιο, έχουν εξαιρετικές ιδιότητες φραγής στους υδρατμούς αλλά όχι στα αέρια, ενώ η κατάσταση βελτιώνεται με την αύξηση της πυκνότητάς του.

Αφού η διάχυση μπορεί να ιδωθεί σαν η μεταπήδηση ενός μορίου από μια ελεύθερη θέση, κοιλότητα, σε μια άλλη, οποιοσδήποτε από τους παράγοντες που θα αύξανε τον αριθμό ή το μέγεθος των ελεύθερων θέσεων και κοιλοτήτων εντός της μάζας του πολυμερούς, θα αποτελούσαν και **παράγοντες που θα επηρέαζε αντίστοιχα και τη διαπερατότητα μέσω της αύξησης της διάχυσης**.

Έτσι, ένα πολυμερές για να παπαρουσιάζει την μέγιστη φραγή στη διαπερατότητα, θα πρέπει να έχει τις πιο κάτω ιδιότητες:

- α. **κάποιο βαθμό πολικότητας** (εστερικές και ακρυλικές ομάδες, χλώριο, φθόριο κ.λπ.)
- β. **υψηλή δυσκαμψία των αλυσίδων του**
- γ. **αδράνεια στα μόρια της ουσίας που διαπερνούν τη μάζα του**. Πολλά πολυμερή, ιδίως αυτά που περιέχουν πολικά μόρια, μπορούν να απορροφούν υγρασία από την ατμόσφαιρα ή υγρά με τα οποία βρίσκονται σε επαφή. Αυτό διογκώνει τα πολυμερή και μειώνει αυξάνει τη διαπερατότητα τους.
- δ. **Ικανότητα τοποθέτησης των αλυσίδων κοντά μεταξύ τους**. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μοριακή συμμετρία, την παρουσία κρυστάλλων και τον προσανατολισμό των αλυσίδων. Ευθείες αλυσίδες, χωρίς διακλαδώσεις και απλή μοριακή δομή, οδηγούν σε καλή συσσωμάτωση τους και άρα μικρή δυνατότητα διαπερατότητας των μορίων δια μέσω του πολυμερούς. Όσο αυξάνεται η κρυσταλλοποίηση τόσο μειώνεται η διαπερατότητα, καθώς οι περιοχές των κρυστάλλων είναι α-διαπερατές σε σχέση με τις άμορφες περιοχές του πολυμερούς.
- ε. **Κάποιο δεσμό ή έλξη μεταξύ των αλυσίδων**. Αυτό περιορίζει την κινητικότητα των αλυσίδων και άρα μειώνει τον συντελεστή διάχυσης, μειώνοντας έτσι τη διαπερατότητα. Το φαινόμενο είναι πιο έντονο για αέρια με μεγάλο μέγεθος μόρια.
- ζ. **Υψηλό σημείο glass transition (T_g)**. Κάτω από το T_g τα κομμάτια των αλυσίδων έχουν μικρή κινητικότητα και παρουσιάζουν μείωση του ελεύθερου όγκου τους, επιδεικνύοντας έτσι λιγότερα κενά και πιο δύσβατα μονοπάτια διάχυσης ενός μορίου. Έτσι, εάν ένα πολυμερές έχει υψηλό T_g είναι πιθανό η θερμοκρασία χρήσης του να είναι κάτω από αυτό το σημείο και έτσι θα παρουσιάζει σημαντική α-διαπερατότητα.

Μια αρκετά καλή συσχέτιση έχει γίνει μεταξύ της Ενέργειας Ενεργοποίησης και της ενέργειας που απαιτείται για τη διάχυση E_D και άρα και του D , του μεγέθους των μορίων και του T_g του πολυμερούς για αρκετά αέρια και οργανικούς διαλύτες. Υπάρχει μεγάλη εξάρτηση τόσο του D όσο και του S από το μέγεθος και το σχήμα του μορίου στη υαλώδη παρά στην ελαστική φάση του πολυμερούς.

Η απορρόφηση υγρασίας από τα πολυμερή μειώνει το T_g και τα κάνει να μαλακώνουν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, ενώ μειώνει και την ενέργεια που απαιτείται για τη διάχυση των μορίων.

Μεταξύ των παραγόντων που επηρεάζουν τους συντελεστές διάχυσης και διάλυσης είναι η πίεση, η απορρόφηση και η θερμοκρασία.

Η σχέση της θερμοκρασίας με τον συντελεστή διάλυσης (S) μπορεί να περιγραφεί σαν μια σχέση τύπου Arrhenius:

$$S = S_0 \exp(-\Delta H_s/RT)$$

όπου ΔH_s είναι η θερμότητα διάλυσης. Για τα αέρια που διαπερνάν τα πολυμερή το ΔH_s είναι μικρό και θετικό και έτσι ο S αυξάνει ελαφρά με αύξηση της θερμοκρασίας.

Η σχέση της θερμοκρασίας με τον συντελεστή διάχυσης (D) μπορεί επίσης να περιγραφεί σαν μια σχέση τύπου Arrhenius:

$$D = D_0 \exp(-E_D/RT)$$

όπου E_D είναι η ενέργεια ενεργοποίησης της διάχυσης και είναι πάντα θετικό και άρα ο D αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Από τις πιο πάνω εξισώσεις και συνδυάζοντας τις για την περιγραφή του συντελεστή διαπερατότητας P , συνάγεται ότι ο P για ένα συγκεκριμένο σύστημα αερίου-πολυμερούς αυξάνεται ή μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Το φαινόμενο εξαρτάται από τη σχετική επίδραση της θερμοκρασίας στους συντελεστές S και D . Γενικά, ο S αυξάνει με τη θερμοκρασία για τα αέρια και μειώνεται για τους ατμούς, ενώ ο D αυξάνεται με τη θερμοκρασία τόσο για τα αέρια όσο και για τους ατμούς. Έτσι, ο προσδιορισμός του P για μια θερμοκρασία δεν είναι απαραίτητο να είναι ο ίδιος και σε κάποια άλλη θερμοκρασία.

ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

$$\left. \begin{array}{l} 1. \quad P = D \times S \\ 2. \quad D = D_0 \exp(-E_D/RT) \\ 3. \quad S = S_0 \exp(-\Delta H/RT) \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad P &= D_0 \exp(-E_D/RT) S_0 \exp(-\Delta H/RT) = \\ &= D_0 S_0 \exp[-(\Delta H + E_D)/RT] \\ &= P_0 \exp(-E/RT) \end{aligned}$$

Όπου:

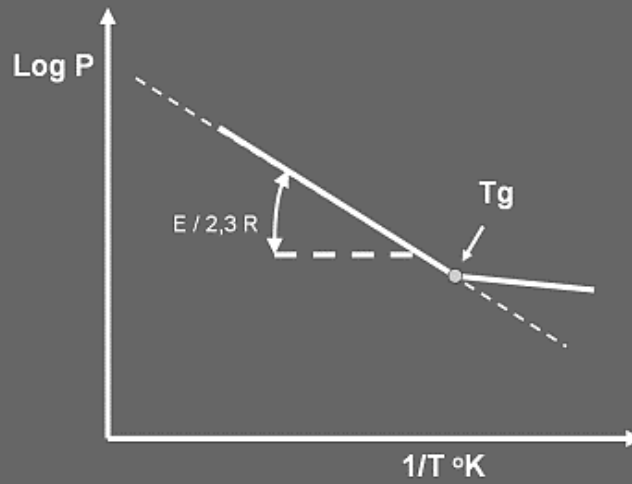
$$P_0 = D_0 S_0$$

$$E = \Delta H + E_D$$

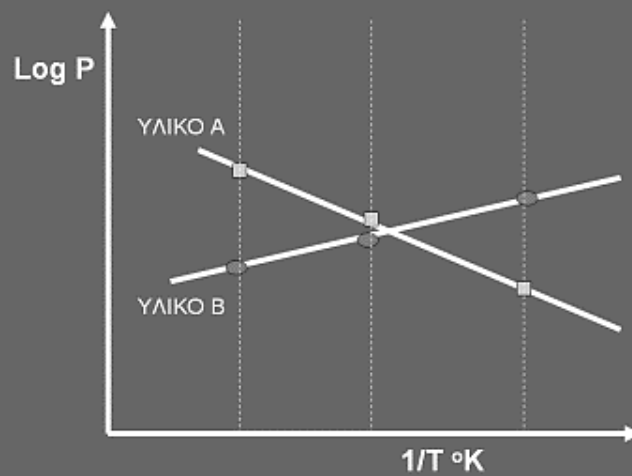
Για τα κοινά πλαστικά $E = 0 - 20 \text{ kcal/mole}$

$$R = 1,98 \text{ cal } ^\circ\text{K mole}$$

ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ



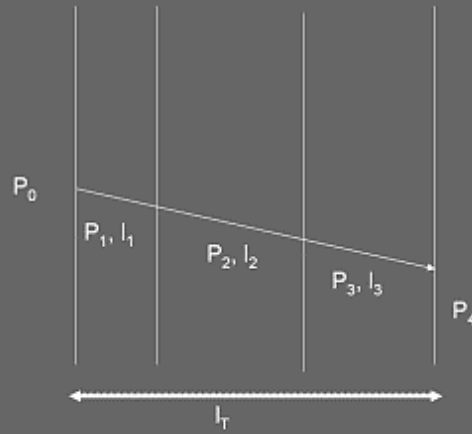
ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ



Η διαπερατότητα πολύφυλλων μεμβρανών μπορεί να υπολογιστεί θεωρώντας τις μεμβράνες αυτές σαν ένα σύστημα μονόφυλλων μεμβρανών σε σειρά.

ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΟΛΥΦΥΛΛΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ

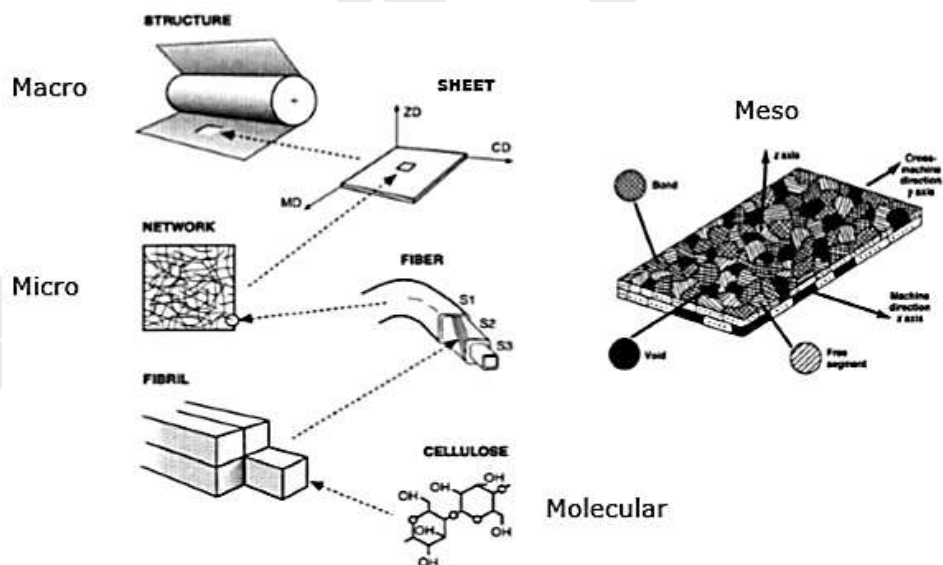
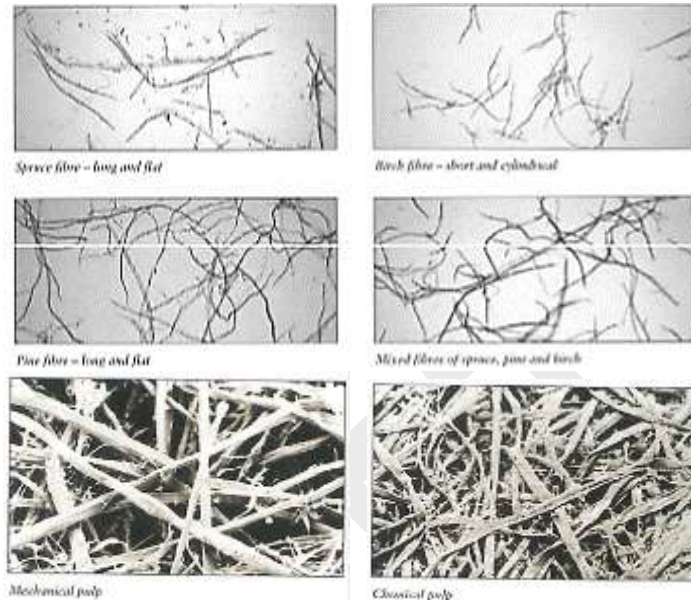
$$I_T / P_T = I_1/P_1 + I_2/P_2 + I_3/P_3$$



ΥΛΙΚΑ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ

ΧΑΡΤΙ

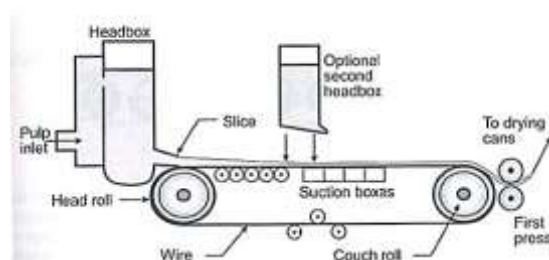
Η πρώτη ύλη στην κατασκευή του χαρτιού είναι ένας πολτός, δηλαδή η χημικά ή μηχανικά παραγόμενη μάζα των φυτικών ινών ξύλου, βαμβακιού ή λιναριού και άλλων φυτών, με νερό, διάφορα πρόσθετα (για χρώμα, αδιαπερατότητα κ.λπ.) και κατά περίπτωση παλιό χαρτί (ανακύκλωσης). Το μίγμα αποτελείται από 91% νερό.



Κατόπιν ο πολτός μπορεί να διαχωριστεί με μια από τις ακόλουθες μεθόδους:

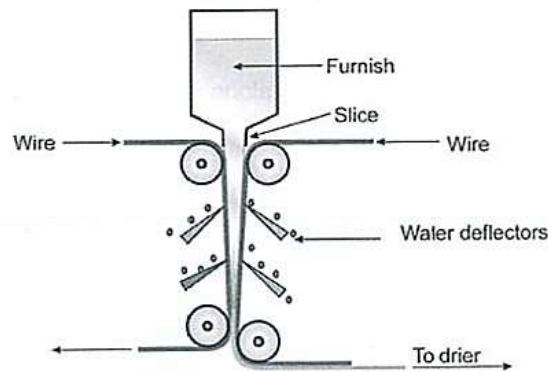
- Μέθοδος Fourdrier

Fourdrinier Machines



- Μέθοδος Κυλίνδρων

Twin-wire Machines



Κατά την κατασκευή του το χαρτί μπορεί να τροποποιηθεί με την επίχριση του (με κυλίνδρωση ή με εξώθηση) ή να πολύ-στρωματωθεί (λαμινάρισμα), ώστε οι νέες αποκτηθείσες ιδιότητες να ικανοποιούν τους ιδιαίτερους σκοπούς της χρήσης του.

Λοιπές επεξεργασίες που μπορούν να εφαρμοστούν στο χαρτί συμπεριλαμβάνουν το γυάλισμα ή σιδέρωμα, η επίχριση, χημικές επεξεργασίες για την προστασία από λίπη και έλαια, αντι-μυχλικά, κ.α.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΧΑΡΤΙΟΥ / ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ

Οι ιδιότητες του χαρτιού υποδιαιρούνται σε τέσσερις κατηγορίες:

- Εμφάνιση (χρώμα, λευκότητα, γυαλάδα, ικανότητα εκτύπωσης και λειότητας)
- Φυσικές ιδιότητες (πάχος, βάρος, δυσκαμψία)
- Λειτουργικές ιδιότητες (αντοχή στα λίπη, έλαια, νερό, διαπερατότητα υδρατμών, δυνατότητα ικανοποιητικής πίκμανσης και κατάλληλη συμπεριφορά στις υψηλές ταχύτητες των μηχανών συσκευασίας)
- Κόστος

Τα πιο συνηθισμένα κριτήρια επιλογής χαρτιού είναι:

- Συμβατότητα

Είναι ένα κριτήριο που αφορά τα τρόφιμα και εξαρτάται από τον τύπο του τροφίμου και το είδος της αναμενόμενης επαφής με το υλικό συσκευασίας, δηλαδή του χαρτονιού ή του επιχρίσματος του. Κατά την επαφή αυτή διάφορες ουσίες από το υλικό συσκευασίας δύνανται να μεταφερθούν στο τρόφιμο και να αποτελέσουν κίνδυνοι για την υγεία του καταναλωτή, οπότε και πρέπει να αποφεύγονται.

- Χρώμα

Για καθαρά αισθητικούς και εμπορικούς λόγους γίνεται η επιλογή του χρώματος που συνάδει με τις απαιτήσεις της εκάστοτε ενέργειας της εταιρίας και των τμημάτων προώθησης των προϊόντων. Η επιλογή του χρώματος και η ένταση της λευκότητας του για παράδειγμα επηρεάζει τόσο την εμφάνιση εάν χρησιμοποιηθεί ατύπωτο όσο και την επιλογή, την ένταση και άρα την απόδοση των χρωμάτων που θα τυπωθούν επάνω του. Επιπλέον επιλέγεται και η απόχρωση της εσωτερικής πλευράς του χαρτιού επίσης για αισθητικούς λόγους και συνήθως κυμαίνεται μεταξύ λευκού, γκρι ή και καφέ.

- Αντοχή

Ανάλογα με την εφαρμογή του το κάθε κουτί θα πρέπει να δείχνει και την ανάλογη αντοχή σε διάφορες συνθήκες κυρίως μηχανικής καταπόνησης, ώστε το περιεχόμενο προϊόν να φτάνει στον καταναλωτή στην ιδανική κατάσταση, δηλαδή άθικτο. Επειδή το κουτί θα πρέπει να ανταπεξέλθει σε επικίνδυνες για την ακεραιότητα του συνθήκες αποθήκευσης, μεταφοράς, φόρτωσης και επανα-διαχείρισης, διανομής και τελικής χρήσης από τον καταναλωτή, θα πρέπει να έχει συγκεκριμένες τιμές ως προς την σκληρότητα του, την αντοχή στο σχίσσιμο, την συμπίεση, την σύνθλιψη, το τρύπημα, την συγκόλληση των στρώσεων του, στο εφελκυσμό και την επιμήκυνση, στην ευκολία διπλώματος και λουπά. Με βάση τα πιο πάνω κριτήρια και τις απαιτήσεις στην εφοδιαστική αλυσίδα, επιλέγονται και το βάρος (g/m^2) και πάχος του χαρτιού για κάθε εφαρμογή.

Μια ιδιαίτερη αντοχή που είναι επιθυμητή σε πολλές εφαρμογές, κυρίως στην συσκευασία ακριβών προϊόντων και προϊόντων με υψηλές αισθητικές απαιτήσεις όπως τα καλλυντικά, είναι η αυξημένη αντίσταση του χαρτιού στην αποσύνθεση του μέσω οξειδοαναγωγών αντιδράσεων παρουσία, κυρίως, ηλιακού φωτός. Η υπέρυθη ακτινοβολία, ειδικά σε χαρτιά που δεν έχουν υποστεί χημική λεύκανση (κυρίως για λόγους φιλικής προς το περιβάλλον διαχείρισης και επεξεργασίας) μπορεί να προκαλέσει έντονο κιτρίνισμα σε λευκά χαρτιά, όταν

εκτίθενται στο ηλιακό κυρίως, φως. Το αποτέλεσμα κρίνεται αντιαισθητικό από τον καταναλωτή και μπορεί να αποτρέψει την επιλογή του προϊόντος.

- Χαρακτηριστικά εκτύπωσης και διακόσμησης

Η κατάληξη του εικαστικού και η επιλογή της εκτύπωσης βάσει της απόδοσης που επιθυμούμε να πετύχουμε, του κόστους και των δυνατοτήτων του προμηθευτή, οδηγεί στην εκτύπωση του χαρτιού. Για να έχουμε το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα θα πρέπει και το χαρτί να χαρακτηρίζεται από ένα επίπεδο λείανσης της επιφάνειάς του, αντοχής του επιχρίσματος, στιλπνότητας του μελανιού και του βερνικιού που θα χρησιμοποιηθεί, αντοχής στον αποχρωματισμό και στην επιδεικτικότητα του μελανιού.

Πέραν των εκτυπώσεων στα χαρτιά εφαρμόζονται και άλλες διαδικασίες διακόσμησης με κύριες την θερμοτυπία, την ψυχοτυπία, την ολογραφία, την πλαστικοποίηση-βερνικοποίηση και την εκτύπωση ανάγλυφου. Η συμπεριφορά του χαρτονιού και οι ιδιότητες του θα πρέπει να είναι στα αποδεκτά όρια για την εφαρμογή της κάθε μιας από τις μεθόδους αυτές, και άρα η επιλογή χαρτιού, εκτύπωσης και λοιπών κατευθύνσεων διακόσμησης θα πρέπει να γίνονται παράλληλα κατά την ανάπτυξη του προϊόντος.

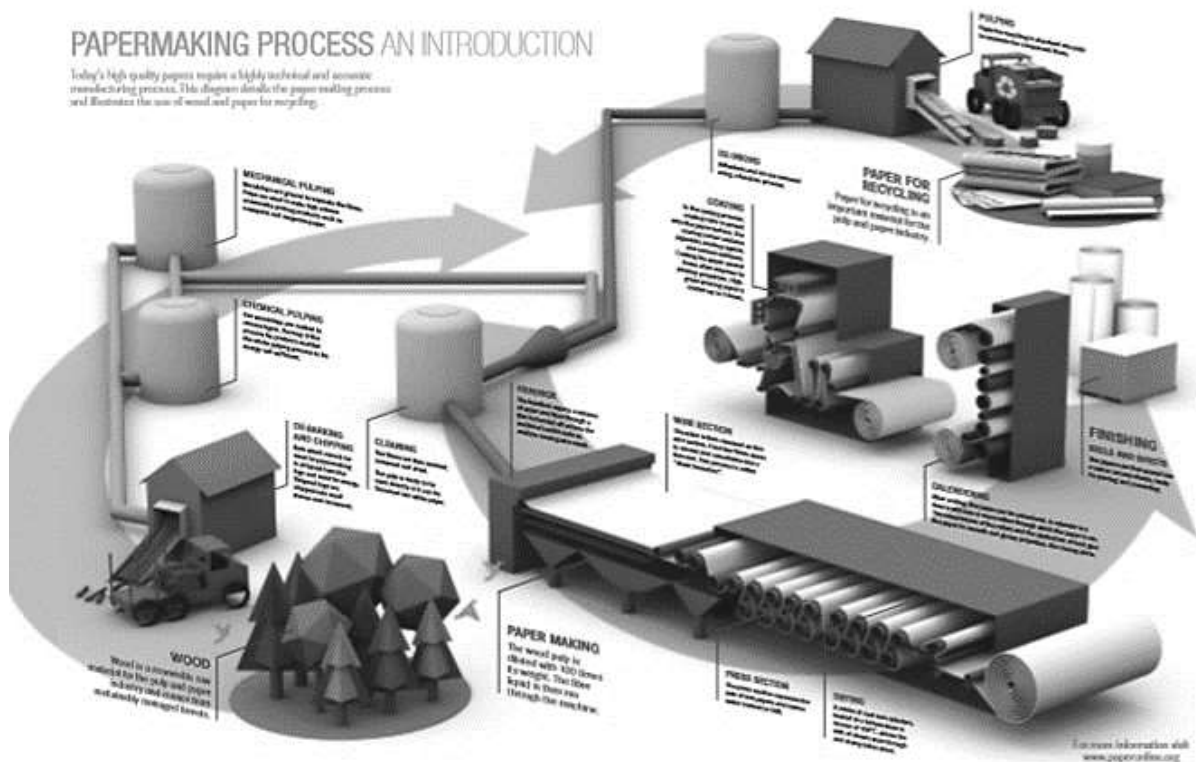
- Προστασία

Οι κύριοι παράγοντες από τους οποίους προστατεύονται τα προϊόντα μέσω της χάρτινης συσκευασίας τους, είναι η υγρασία, τα λίπη και τα έλαια. Η επιλογή του προστατευτικού υλικού και η μέθοδος εφαρμογής του επηρεάζουν την επιλογή του χαρτονιού.

- Απορροφητικότητα

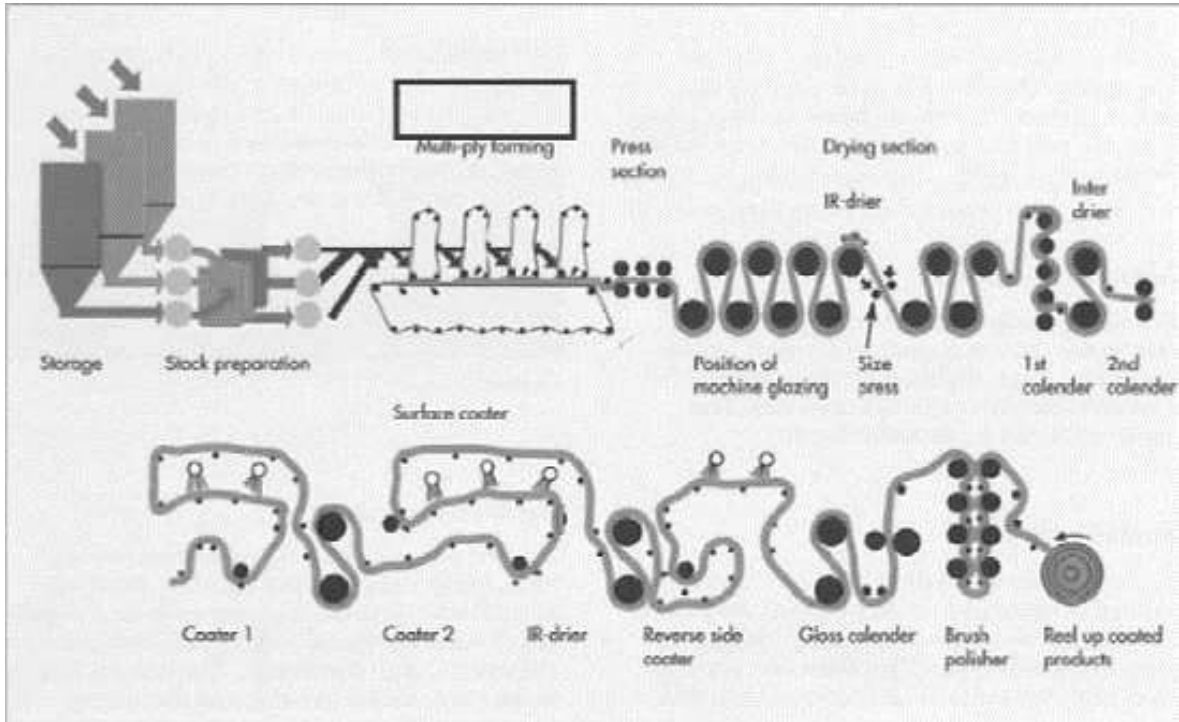
Η απορροφητικότητα του χαρτιού παίζει ρόλο κατά την συγκόλληση του με άλλα υλικά (χαρτί ή πολυμερές) καθώς και κατά την εκτύπωση του και την δυνατότητα συγκράτησης των μελανιών και βερνικιών. Συνήθως η εσωτερική πλευρά του χαρτονιού παρουσιάζει πιο υψηλή απορροφητικότητα σε σχέση με την εξωτερική. Έτσι, απορροφά κάποια υγρασία κατά την διάρκεια της συγκόλλησης με πιθανή επίδραση στις ιδιότητες του χαρτιού ή και των διαστάσεων του. Η έκταση των αλλαγών εξαρτάται από την παραγωγική διαδικασία και τις συνθήκες που επικρατούν κατά την διάρκειά της και την δομή της. Μεταξύ των προβλημάτων αλλαγών στις διαστάσεις είναι αυτά που παρουσιάζονται στην διαδικασία της εκτύπωσης. Στη ίδια διαδικασία, η απορροφητικότητα των μελανιών επηρεάζει την ταχύτητα στεγνώματος καθώς και την στιλπνότητα της εκτύπωσης. Γενικά προτιμώνται χαρτιά όπου φέρουν απορροφητικό επίχρισμα με μικρούς πόρους ώστε να απορροφώνται τα λεπτόρρευστα διαλυτικά αλλά όχι και το υπόλοιπο μέρος του μελανιού.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΧΑΡΤΙΟΥ



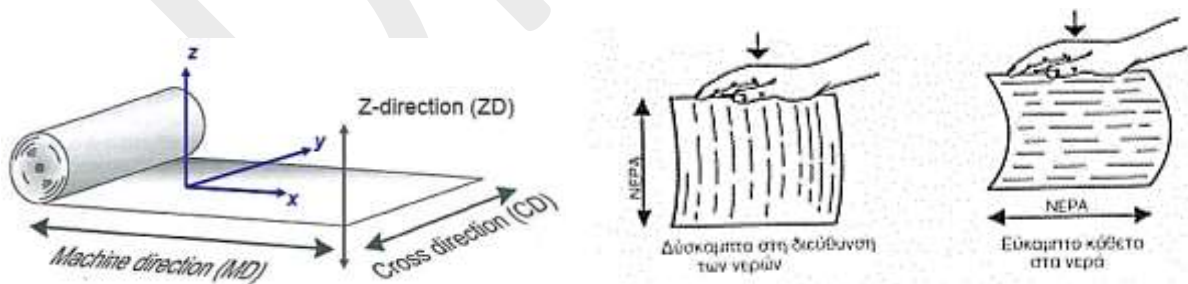
Χαρτί συσκευασίας

Το χαρτί συσκευασίας χρησιμοποιείται για την συσκευασία προϊόντων σε αρτοποιία, ζαχαροπλαστεία, κρεοπωλεία, τυροπωλεία, καταστήματα μαναβικής και καταστήματα με είδη δώρων. Ειδικά στη συσκευασία τροφίμων, εκτός από το απλό χαρτί, χρησιμοποιείται και το πλαστικοποιημένο, όπου η εσωτερική πλευρά του χαρτιού είναι καλυμμένη με φιλμ πλαστικού. Οι διαστάσεις και το βάρος του χαρτιού συσκευασίας που χρησιμοποιείται για την περιτύλιξη τροφίμων καθορίζονται ανάλογα με το βάρος του προϊόντος.

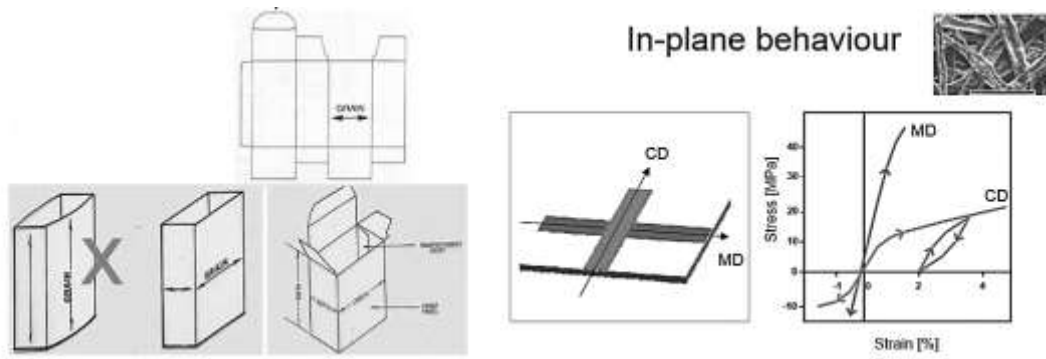


Προσανατολισμός ινών χαρτιού

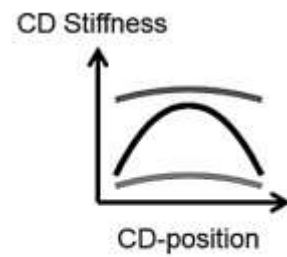
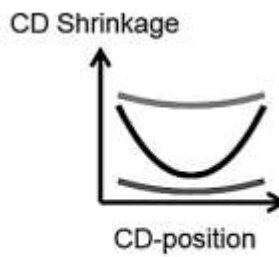
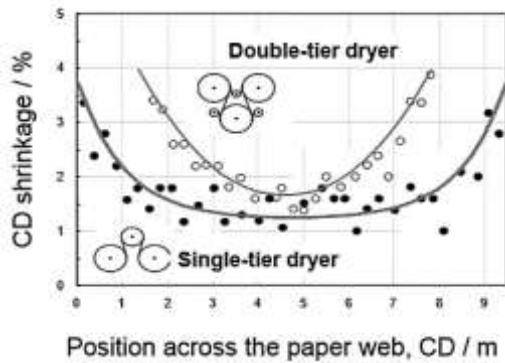
Ο τρόπος παραγωγής των επιφανειών χαρτιού αλλάζει καθώς η χαρτόμαζα κινείται κατά την φορά της μηχανής. Αποτέλεσμα είναι ο προσανατολισμός των ινών παράλληλα προς την φορά κίνησης της χαρτόμαζας η οποία ονομάζεται φορά μηχανής (machine direction, MD), ενώ η κάθετη σε αυτή ονομάζεται διαμήκης φορά (cross direction, CD).



Οι ιδιότητες του χαρτιού και άρα και των προϊόντων που σχηματίζονται με το χαρτί αυτό, εξαρτώνται από την κατεύθυνση των ινών (νερά) του χαρτιού και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον σχεδιασμό των χάρτινων περιεκτών.



Shrinkage in CD



ΤΥΠΟΙ ΧΑΡΤΙΝΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ

ΕΙΔΗ ΧΑΡΤΙΩΝ

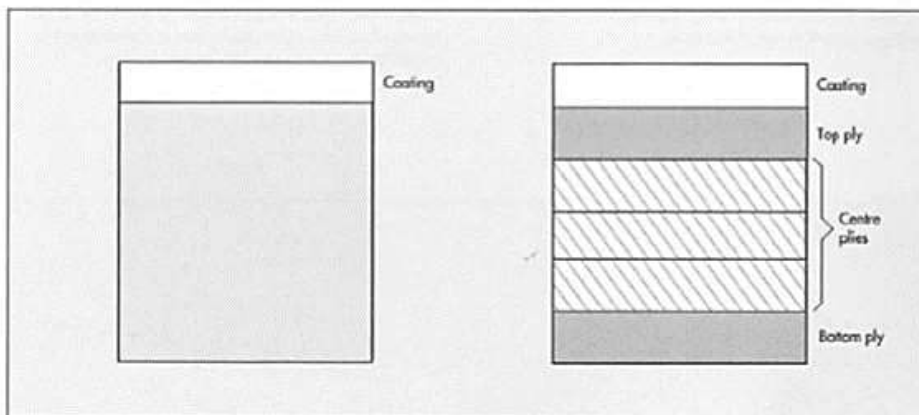
Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του ISO, ως χαρτί ορίζεται το χαρτί που έχει βάρος πάνω από 250 g/m². Σε μερικές χώρες, όπως η Μ. Βρετανία, ως χαρτόνι θεωρείται εκείνο το χαρτί του οποίου το βάρος υπερβαίνει τα 200 250 g/m² (πάχος 0,25 mm). Σήμερα γίνεται διεθνώς αποδεκτό ότι χαρτόνια ονομάζονται τα χαρτιά βάρους 180 – 600 250 g g/m².

Τα πιο συνηθισμένα είδη χαρτονιών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή κουτιών είναι:

ΣΥΜΠΑΓΕΣ ΧΑΡΤΟΝΙ

Το συμπαγές χαρτόνι: αποτελείται από ένα ή περισσότερα στρώματα λευκασμένης ή μη χαρτομάζας.

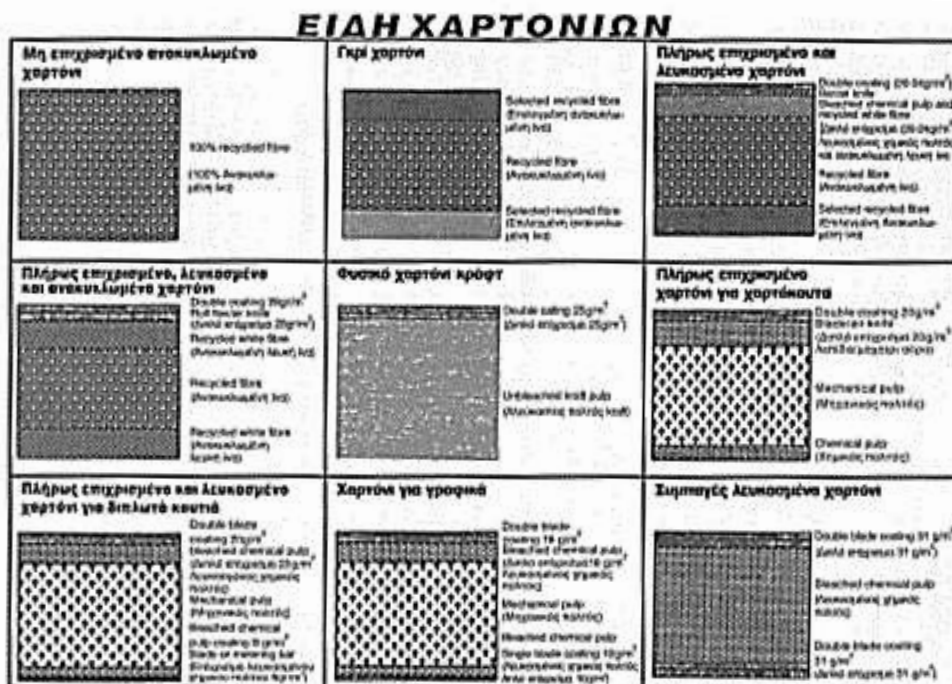
ply = layer



Multi-ply paperboard is a LAMINATE structure

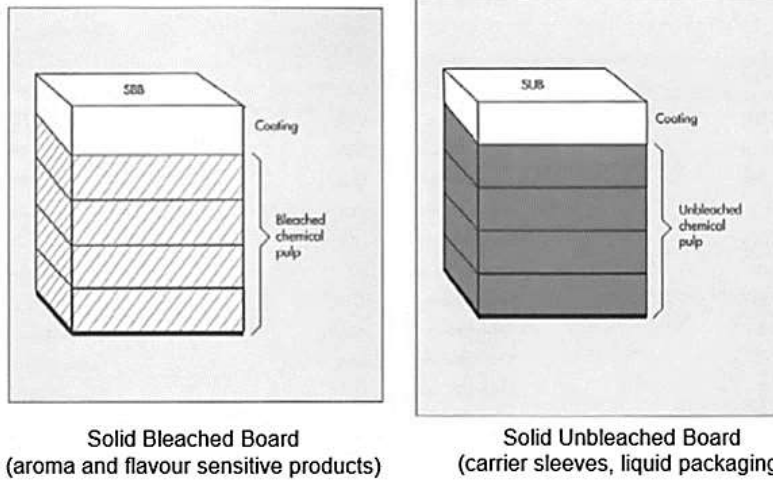
Διακρίνονται δύο είδη:

- Συμπαγές λευκασμένο χαρτόνι (solid bleached board) – Αποτελείται αποκλειστικά από λευκασμένη χαρτομάζα και είναι σκληρό και ανθεκτικό. Χρησιμοποιείται στην συσκευασία καλλυντικών, φαρμακευτικών ειδών, τροφίμων και τσιγάρων, σε βάρος που κυμαίνεται από 180 - 400 g/m². Χαρτόνι αυτού του τύπου με 150 – 400 g/m² χρησιμοποιείται λαμιναρισμένο με πολυμερή (π.χ. πολυαιθυλένιο) ή/και αλουμινίου, για την συσκευασία γάλακτος, φρούτων, υγρών τροφίμων όπως σούπες και χυμών (συσκευασία tetra pack) λόγω των ιδιαίτερα καλών ιδιοτήτων (αδιαπερατότητα σε φως, υγρασία, οξυγόνο).
- Αλεύκαστο συμπαγές χαρτόνι (unbleached solid board) – έχει λευκασμένη μόνο την εξωτερική του πλευρά και καφέ τα ενδιάμεσα ή/και εσωτερικά του στρώματα. Είναι ανθεκτικό, σκληρό, και κατάλληλο για τη συσκευασία βαρέων και ακριβών αντικειμένων, όπως οι οικιακές συσκευές, ηλεκτρονικά και άλλα. Το βάρος του κυμαίνεται από 300 – 520 g/m².



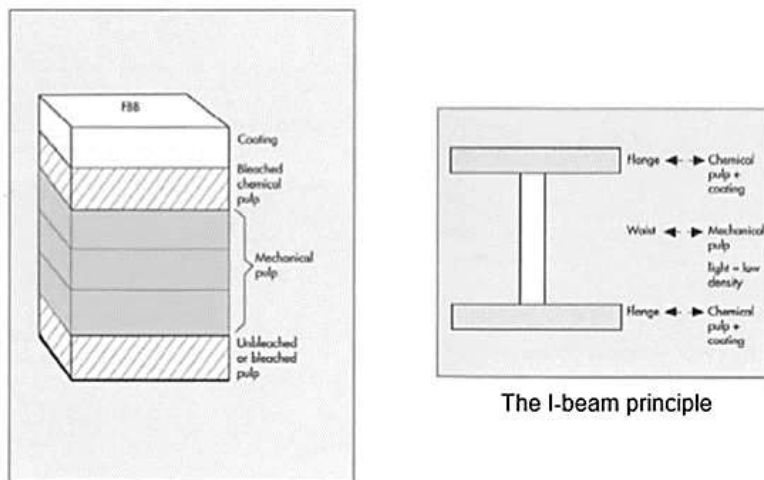
- Διπλό χαρτόνι (duplex board ή folding – boxboard): Η εξωτερική πλευρά του χαρτονιού αυτού είναι συνήθως σιδερωμένη (machine glazed) και συνήθως επιχρισμένη, για καλύτερη εκτύπωση, ενώ η εσωτερική του πλευρά είναι λευκή ή κρεμ. Τα χαρτόνια αυτά γίνονται με τη συσσωμάτωση δύο ή και τριών υγρών ακόμα ιστών, που δημιουργούνται από ανεξάρτητες χαρτοποιητικές μηχανές, οπότε υπάρχει και η επιλογή της ομοιομορφίας ή της διαφορετικής σύστασης των ιστών ανά μηχανή, ενώ υπάρχει και η περίπτωση χρήσης λευκασμένων ιστών. Τα χαρτιά αυτά έχουν βάρη μεταξύ 200 - 400 g/m² και χρησιμοποιούνται συνήθως στην συσκευασία τροφίμων.

Solid Box Board (SBB)



- Τριπλό χαρτόνι (triplex board ή foodboard): Η διαφορά του με το προηγούμενο είναι ότι και τα δύο εξωτερικά του στρώματα είναι από λευκασμένο πολτό. Χρησιμοποιείται στην συσκευασία ακριβών προϊόντων, όπως τσιγάρων και καλλυντικών, γλυκισμάτων, κατεψυγμένων κ.α.

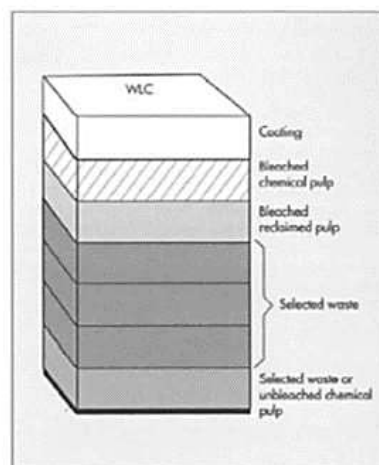
Folding Box Board (FBB)



- Φθινό χαρτόνι με λευκασμένη την εξωτερική πλευρά (Whiteline Chipboard): Το χαρτόνι αυτό είναι λευκασμένο από την μια του μεριά, συχνά επιχρισμένο και γκρι ή ελαφρώς γκρι στην εσωτερική του πλευρά. Η εξωτερική του πλευρά αποτελείται από λευκασμένη χαρτομάζα, ενώ οι εσωτερικές τους στρώσεις (όπως και πολύ συχνά και η εσωτερική του πλευρά) από χαρτομάζα ανακύκλωσης. Είναι χαρτόνι λιγότερο άκαμπτο από το διπλό χαρτόνι (folding – boxboard) (για το ίδιο βάρος επιφάνειας) και φθηνότερο. Κατά μέσο όρο έχουν βάρος περί τα 300 g/m². Χρησιμοποιείται στην συσκευασία απορρυπαντικών, ειδών οικιακής χρήσης και χειροτεχνίας κ.α., ενώ δεν είναι κατάλληλο στην συσκευασία τροφίμων (κυρίως λόγω του ανακυκλωμένου μέρους του).

White Lined Chipboard (WLC)

- Wide range of different qualities
- Used in general packaging



ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Εξισώσεις με την χρήση της επιφάνειας του υλικού που χρησιμοποιείται για κάθε κουτί, επιτρέπουν τον υπολογισμό της πιο αποδοτικής εφαρμογής. Παράξενα σχήματα ετικετών, κουτιών και περιεκτών είναι παραδείγματα όπου η απόδοση εξαρτάται από το ποσό του υλικού που πετιέται σαν μη-εμπλεκόμενο στο τελικό προϊόν, και ορίζεται ως:

$$\% \text{ θράσματα απόρριψης} = (\text{υλικό που πετιέται} / \text{μέγεθος συνολικής επιφάνειας}) \times 100$$

Ως μέγεθος συνολικής επιφάνειας ορίζεται εδώ το υλικό από το οποίο θα παραχθεί το τελικό προϊόν/περιέκτης. Τα κιβώτια από κυματοειδές χαρτί συνήθως χρειάζονται ένα παραλληλόγραμο αρχικό υλικό διαστάσεων ανάλογων του μέγιστου πλάτους και μήκους του ανοιγμένου και επιπεδα τοποθετημένου περιέκτη.

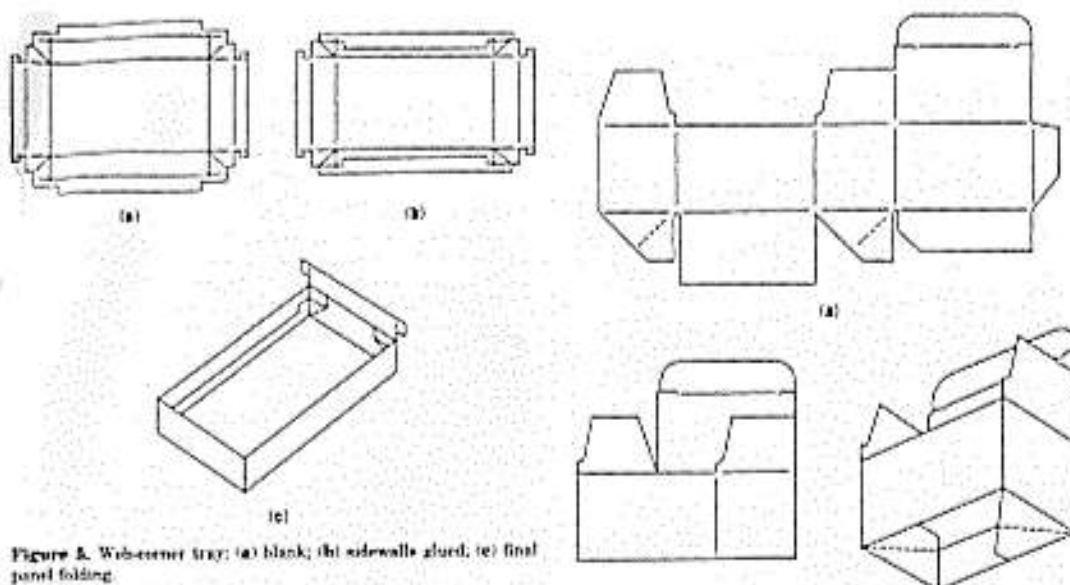
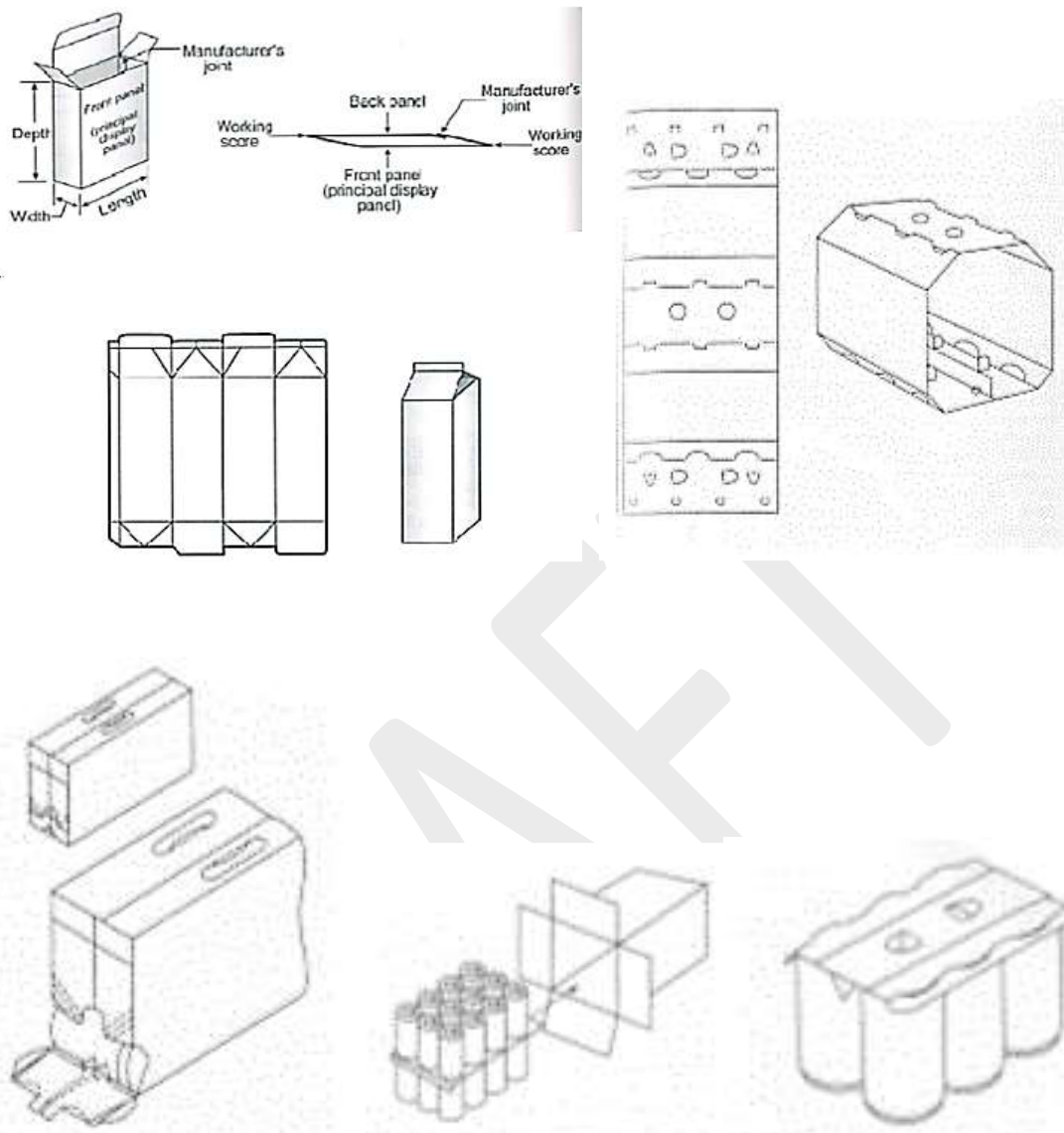
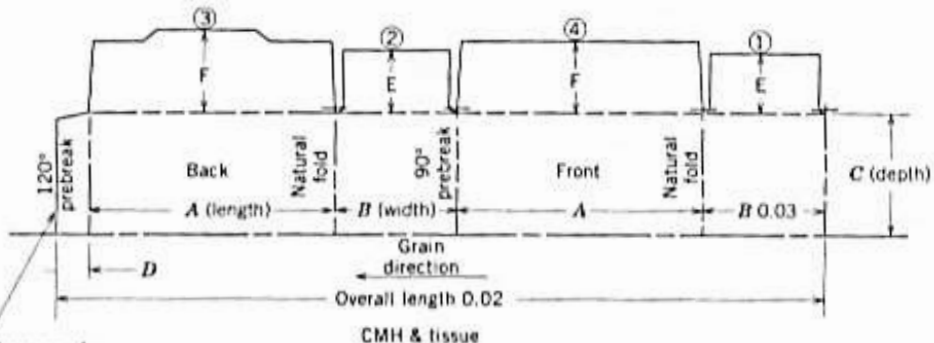
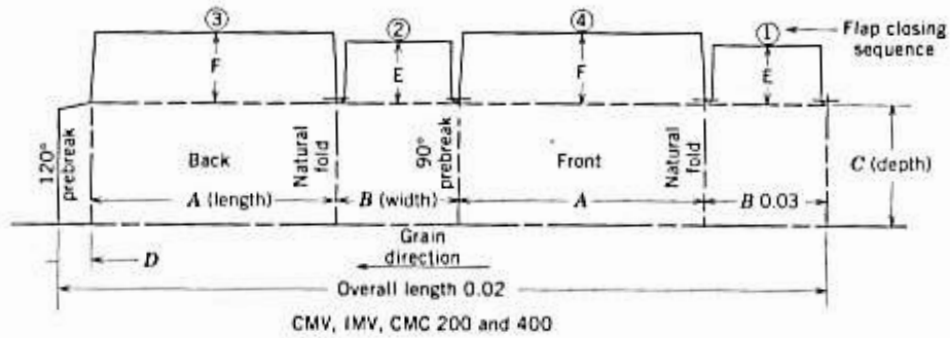


Figure 8. Web-corner tray: (a) blank; (b) sidewalls glued; (c) final panel folding



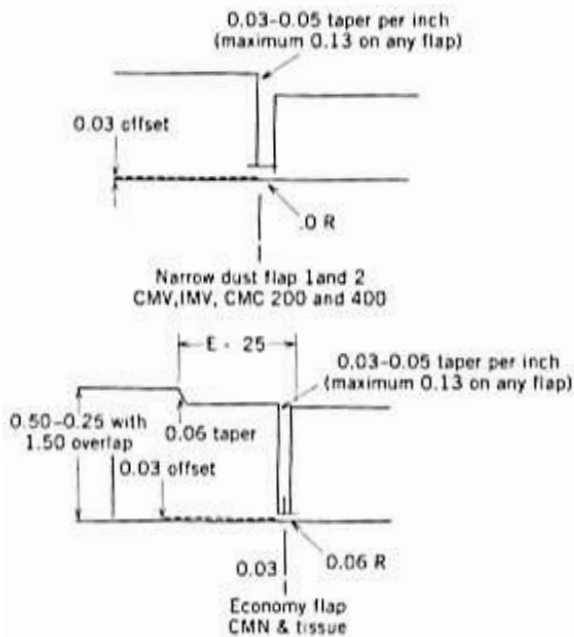
Το μέγεθος του κουτιού ορίζεται από τις εσωτερικές (ωφέλιμες) διαστάσεις μήκους X πλάτους X ύψους (LXWXD). Το L X W αντιστοιχεί στο άνοιγμα του κιβωτίου με το L να είναι η μεγαλύτερη διάσταση. Από όλα τα χαρτοκιβώτια RSC που χρησιμοποιούν το ίδιο ποσό κυματοειδούς υλικού, αυτό που προσφέρει τον μέγιστο εσωτερικό ωφέλιμο όγκο είναι αυτό με διαστάσεις $L = 2W = D$. Επίσης για όλα τα RSC χαρτοκιβώτια με τον ίδιο όγκο, αυτό που χρησιμοποιεί το ελάχιστο υλικό είναι αυτό με τις ίδιες διαστάσεις $L = 2W = D$.



Position of glue seam for optimum results to be determined in conjunction with RAJ, dependent on hand and type of cartoning machine.

Economy flap with single gun inner/outer gluing

Note: Dimensions are in inches.



Note: For development of tuck flaps, see drawing no CMV- 10132-A

Development key:

- A Length of carton
- B Width of carton
- C Depth of carton
- D 50 Minimum glue flap
- K F- 0.13 minimum for CMV and IMV dust flap
- F- 0.38 minimum for CMH
- F 1/2 of B dimension + 0.25 minimum

Note: The Length of E should be adjusted to ensure
-That $2 \times E = A$ 0.13 minimum or gap
-That $2 \times E = A$ 0.25 minimum or overlap

These are general guidelines to improve machine performance these dimensions and recommendations are for boards up to 24-point; for other points, contact R.A. Jones.

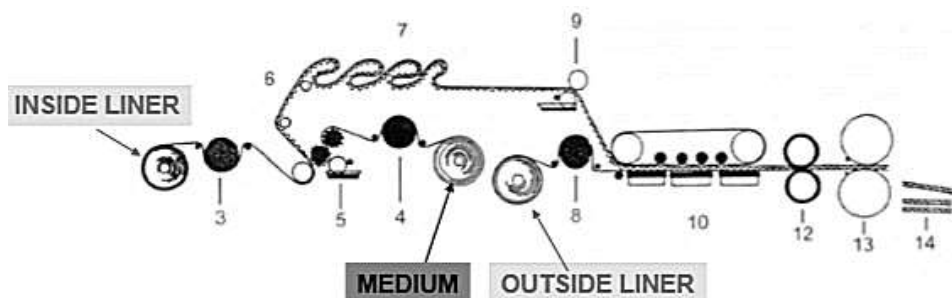
Offset score lines improve carton appearance and are more necessary on heavy boards.

General notes:

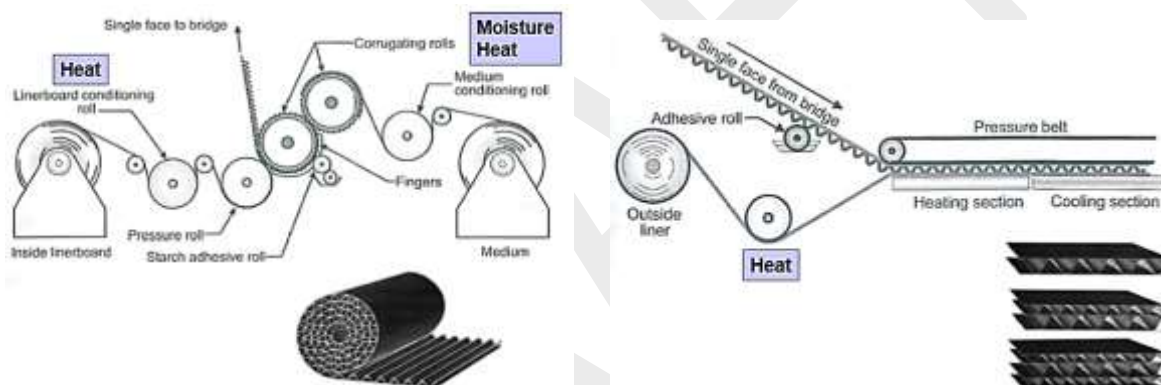
1. Score lines must be deep and accurate.
2. Cartons must be prebroken if preglued.
3. Glue seams must be consistently straight.
4. Carton to be furnished on edge and loosely packed to retain prebreaks.
5. Flat blanks should be protected on a skid with a flat board on top to prevent warping.
6. Skids of blanks should be brought to ambient temperature 24 hours before use.

ΚΥΜΑΤΟΕΙΔΕΣ ΧΑΡΤΟΝΙ

ΠΑΡΑΓΩΓΗ



- | | |
|---|---------------------------------|
| 3. Inside liner conditioning roll (preheating) | 9. Glue |
| 4. Medium conditioning roll (heat & steam) | 10. Heating and cooling section |
| 5. Glue | 12. Slitting and scoring |
| 7. Bridge | 13. Cut off |
| 8. Outside liner conditioning roll (preheating) | 14. Piled delivery |



ΤΥΠΟΙ

Οι περιέκτες αυτοί παράγονται από φύλλα (ή ρολά) χαρτονιού τα οποία διπλώνονται στα επιθυμητά σχήματα αφού υποστούν πίκμανση ή χάραξη στα σημεία του διπλώματος. Χρησιμοποιούνται ευρέως καθώς προσφέρουν:

- Προστασία

Σε σχετικά ήπια περιβάλλοντα και διαχειρίσεις τα κουτιά αυτά μπορούν αν προσφέρουν προστασία από μηχανικές παραμορφώσεις, μολύνσεις, υγρασία, επαφή με λιπαρές ουσίες και έλαια.

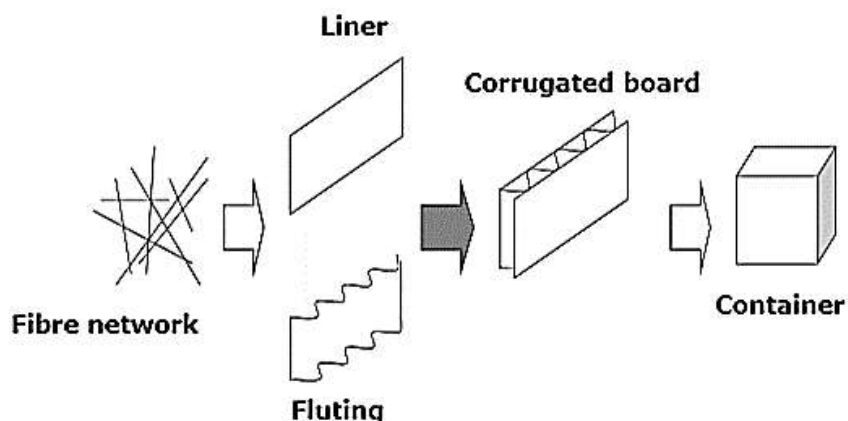
- Λειτουργικότητα

Τα κουτιά αυτά συνήθως χρησιμοποιούνται σε αυτόματες μηχανές με υψηλές ταχύτητες, δεν δημιουργούν προβλήματα κατά την αποθήκευση ή μεταφορά τους και για τον τελικό χρήστη και καταναλωτή προσφέρουν μια εύκολη κατά το άνοιγμα ή κλείσιμο τους.

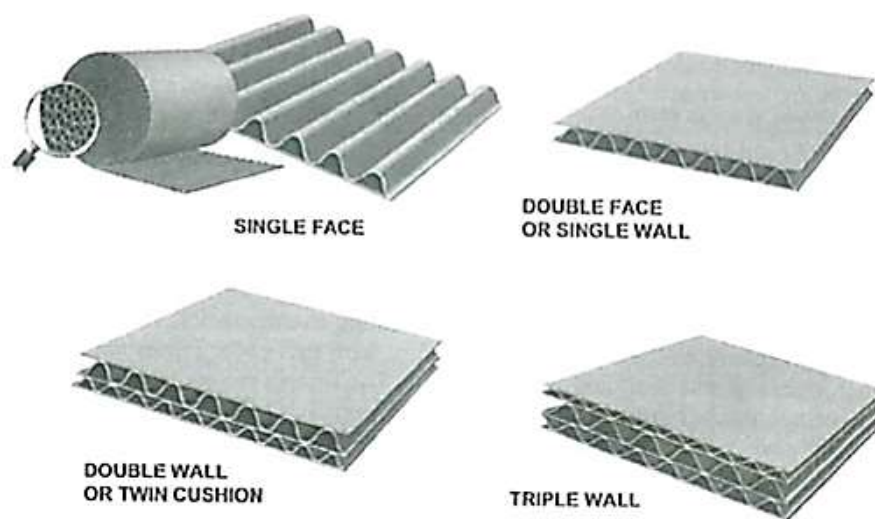
- Εμφάνιση

Τα κουτιά αυτά είναι ιδιαίτερα ελκυστικά ειδικά μέσω των εκτυπώσεων που τους προσδίδουν εξαιρετική παρουσία, ενώ μπορούν να έχουν εντυπωσιακά και ομοιόμορφα σχήματα. Αποτελούν έτσι ισχυρό χαρτί των τμημάτων και των στρατηγικών προώθησης (marketing) προϊόντων, παρουσίας στα ράφια και διαφήμισης και επικοινωνίας.

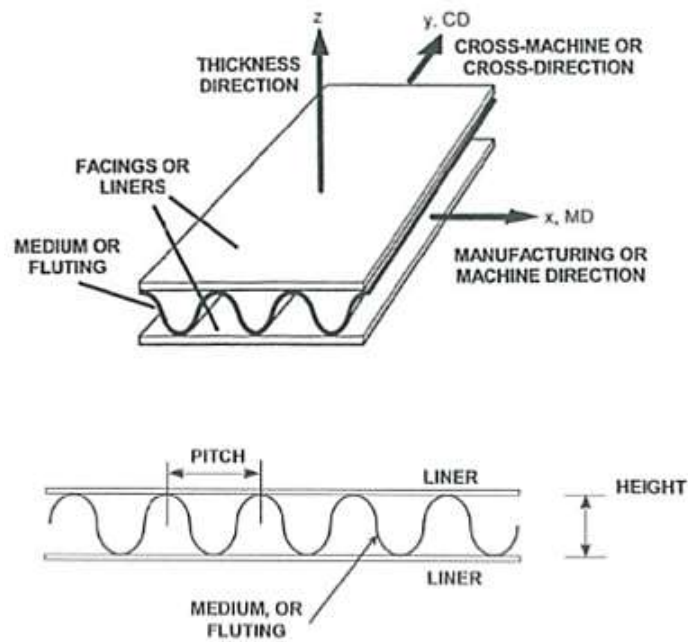
Τα διπλωτά κουτιά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν άμεσες συσκευασίες, δηλαδή σε άμεση επαφή με το προϊόν (π.χ. απορρυπαντικά, μεταλλικά αντικείμενα, κ.λπ.) καθώς και σαν εξωτερικές συσκευασίες (δευτερογενείς) όπου το προϊόν βρίσκεται σε πρωτογενή περιέκτη ή κάλυμμα για καλύτερη προστασία (πχ. τσιγάρα, ποτά κ.λπ.) Χρησιμοποιούνται στην συσκευασία καλλυντικών, φαρμάκων, υγρών και ξηρών τροφίμων, ποτών, τσιγάρων, υφασμάτων, ρούχων, απορρυπαντικών κ.λπ.



Το κυματοειδές χαρτί χρησιμοποιείται στην πλέον διαδεδομένη μορφή συσκευασίας, τα χαρτοκιβώτια δευτερογενούς αλλά και πρωτογενούς συσκευασίας. Πάνω από το 90% των προϊόντων διακινούνται σήμερα σε χαρτοκιβώτια κυματοειδούς χαρτιού. Το κυματοειδές χαρτόνι γίνεται κολλώντας ένα κυματοειδές χαρτί πάνω σε ένα, ή μεταξύ δύο επίπεδων χαρτιών. Αυτή η δομή είναι που προσδίδει την εξαιρετική αντοχή του υλικού σε πιέσεις. Η αντοχή αυτή είναι η μέγιστη δυνατή εφ' όσον η δύναμη εφαρμόζεται παράλληλα με την ράχη των κυμάτων και τα κύματα είναι προσανατολισμένα κάθετα στο κουτί. Διακυμάνσεις στην αντοχή επιτυγχάνονται με την επιλογή περισσότερων στρωμάτων αλλά και μέσα από τη χρήση κυματοειδών υλικών διαφορετικής αντοχής (ειδικοί τύποι χαρτιού –«Kraft», μη ανακυκλωμένα ή «παρθένα» υλικά). Ο τύπος των κυμάτων έχει επίσης πολύ σημαντικό ρόλο στην αντοχή του υλικού. Τα στοιχεία που περιγράφουν τον κάθε τύπο είναι κυρίως ο αριθμός των κυμάτων ανά μονάδα μήκους, το ύψος του κόμματος και το συνολικό του πάχος.

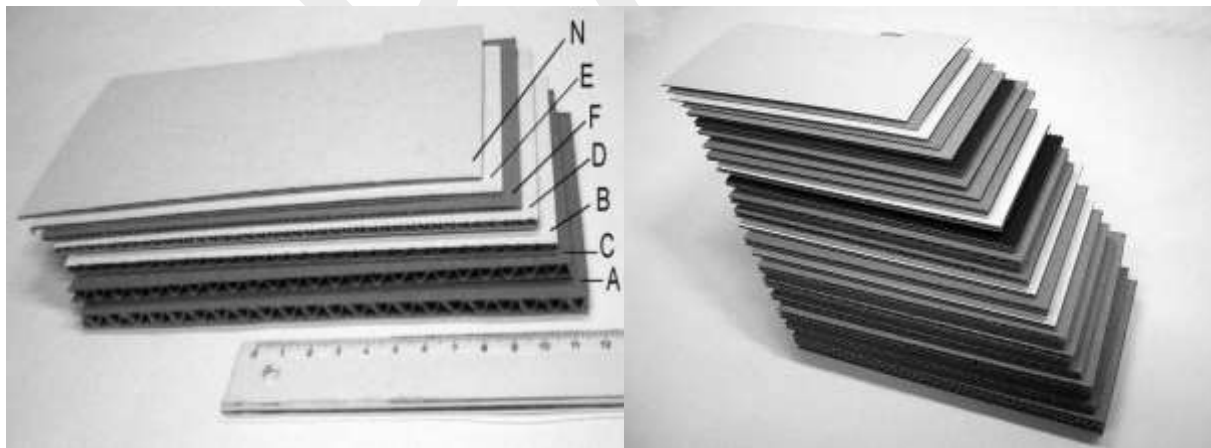


Όσο μικρότερος ο αριθμός των κυμάτων ανά μονάδα μήκους, τόσο πιο ισχυρή η δομή σε κάθετη πίεση (π.χ. αντοχή σε στοίβαγμα πάνω σε παλέτα), με αποτέλεσμα να καμπουριάζουν και να σπάνε δύσκολα, καθιστώντας τα πολύ καλά προστατευτικά υλικά κυρίως κατά τη στοίβαξη. Δομές με μεγάλους αριθμούς κυμάτων ανά μονάδα μήκους (E, F), επιδεικνύουν μεγαλύτερη αντοχή όταν η πίεση ασκείται κάθετα στην επιφάνεια των κυμάτων (π.χ. κατά την εκτύπωση της επιφάνειας των χαρτοκιβωτίων).



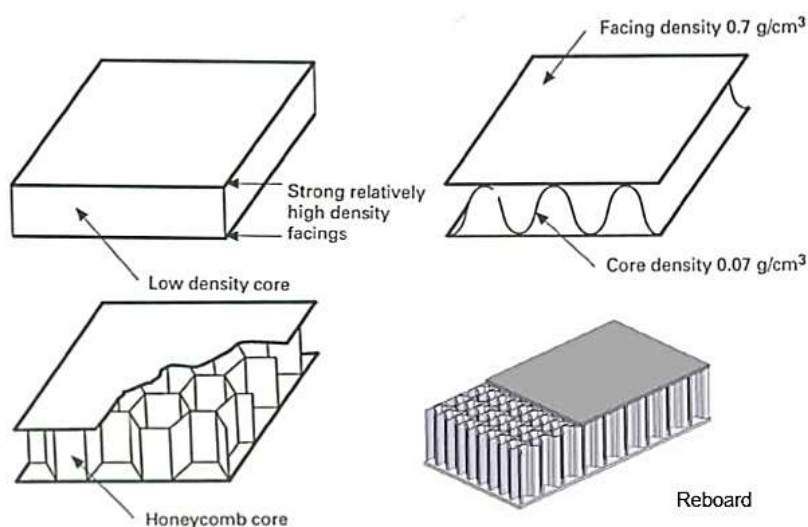
Πίνακας των διαθέσιμων ειδών κυματοειδών χαρτονιών

| ΕΙΔΟΣ | ΚΥΜΑΤΑ/ΜΟΝΑΔΑ ΜΗΚΟΥΣ | ΥΨΟΣ | ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ |
|-------|----------------------|----------|--------------------|
| A | 110+10 / m | 0.467 cm | 1.54 |
| B | 155+10 / m | 0.246 cm | 1.32 |
| C | 130+10 / m | 0.361 cm | 1.43 |
| E | 295+10 / m | 0.157 cm | 1.27 |
| F | 420+10 / m | 0.114 cm | 1.23 |
| N | 170+10 / m | 0.104 cm | 1.20 |



Δομές προστατευτικών υλικών από κυματοειδές χαρτόνι μπορούν να κατασκευαστούν σε διάφορα σχήματα, με ανάλογη κοπή και αναδίπλωση του χαρτονιού ώστε να γεμίσει τα κενά μεταξύ περιέκτη και προϊόντος επιτυγχάνοντας παράλληλα και τον σωστό προσανατολισμό των κυμάτων ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη αντοχή στους κινδύνους κατά την διακίνηση.

Corrugated board - a sandwich structure



Τα χαρτοκιβώτια, με βάση τα χαρακτηριστικά τους, διακρίνονται στα χαρτοκιβώτια RSC και στα χαρτοκιβώτια DIE. RSC χαρακτηρίζονται όλα τα απλά ορθογώνια χαρτοκιβώτια κλειστού τύπου. Τα RSC χρησιμοποιούνται στη δευτερογενή και τριτογενή συσκευασία τροφίμων, ποτών, χρωμάτων, απορρυπαντικών, φαρμάκων, καλλυντικών κ.α. DIE θεωρούνται όλα τα χαρτοκιβώτια ειδικού τύπου, δηλαδή χαρτοκιβώτια με διάφορα χαρακτηριστικά όπως ανοιχτά, με χειρολαβές, με οπές κ.α. Τα DIE χρησιμοποιούνται στη δευτερογενή συσκευασία μπίρας, αναψυκτικών και τροφίμων, που φυλάσσονται σε ψυγεία ή καταψύκτες (γαλακτοκομικά, αλλαντικά, κ.α.). Επίσης, βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή στη συσκευασία αγροτικών προϊόντων (χαρτοτελέρα), περιορίζοντας τη ξύλινη και πλαστική συσκευασία στο συγκεκριμένο χώρο. Κατασκευαστικά, τα RSC και τα DIE χαρτοκιβώτια αποτελούνται από κυματοειδές χαρτόνι τριών φύλλων, όπου το εσωτερικό φύλλο είναι ημιμηχμικό χαρτόνι και τα εξωτερικά φύλλα είναι χαρτόνι κرافτ. Σε περιπτώσεις όπου απαιτείται μεγάλη ανθεκτικότητα, όπως στη συσκευασία αγροτικών προϊόντων, χρησιμοποιείται κυματοειδές χαρτόνι πέντε φύλλων, όπου συνδυάζονται εναλλάξ κرافτ και ημιμηχμικό. Ως πρώτη ύλη, στην παραγωγή των RSC χρησιμοποιείται σε μεγάλο ποσοστό το ανακυκλωμένο χαρτί, ενώ στην παραγωγή των DIE προτιμάται το χαρτί από χημική χαρτομάζα.

- **Χαρτόνι Microwelle:**

Το χαρτόνι αυτό αποτελεί ένα είδος κυματοειδούς χαρτονιού, που ως γνωστό χρησιμοποιείται στην κατασκευή χαρτοκιβωτίων. Το χαρτόνι αυτό είναι ανθεκτικό, και αποτελείται από τρία στρώματα: το εσωτερικό, που είναι συνήθως αλεύκαστο χαρτί, το ενδιάμεσο που είναι από αλεύκαστο κυματοειδές χαρτί (συγκολλημένο με το εσωτερικό στρώμα) και το εξωτερικό, από λευκασμένο χαρτόνι το οποίο εκτυπώνεται πριν την συγκόλληση του με το ενδιάμεσο φύλλο.

ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ

- **Χαρτοκωτία**

Τα χάρτινα κωτία χρησιμοποιούνται στην πρωτογενή και δευτερογενή συσκευασία τροφίμων, ποτών, απορρυπαντικών, καλλυντικών, φαρμάκων, τσιγάρων, ενδυμάτων, χαρτιών υγιεινής κ.α.

Παράγονται σε μία μεγάλη ποικιλία σχημάτων και διαστάσεων, από συμπαγές χαρτόνι κرافτ ή από κυματοειδές microwelle χαρτόνι. Στην κυτιοποιία, ανάλογα με την ποιότητα του προϊόντος χρησιμοποιείται και ανακυκλωμένο χαρτί.

Η κυτιοποιία συνδέεται άμεσα με την τέχνη της εκτύπωσης χάρτινων κωτιών, καθώς η ελκυστική εμφάνιση του κωτιού έχει έντονη επίδραση στην εμπορική επιτυχία του συσκευασμένου προϊόντος.

- **Χάρτινες τσάντες**

Οι χάρτινες τσάντες χρησιμοποιούνται κυρίως στα καταστήματα λιανικής πώλησης για την συσκευασία ενδυμάτων, υποδημάτων, καλλυντικών, ειδών δώρων, αλλά και στα καταστήματα έτοιμου φαγητού.

Διακρίνονται σε πολλές κατηγορίες ανάλογα με το εάν είναι πλαστικοποιημένες ή όχι, ανάλογα με το χερούλι που διαθέτουν (κορδόνι ή χάρτινο) και τέλος ανάλογα με το εάν φέρουν τη φίρμα ή όχι του πελάτη.

Παράγονται σε διάφορες διαστάσεις και είναι συνήθως από παρθένο χαρτί κرافτ.

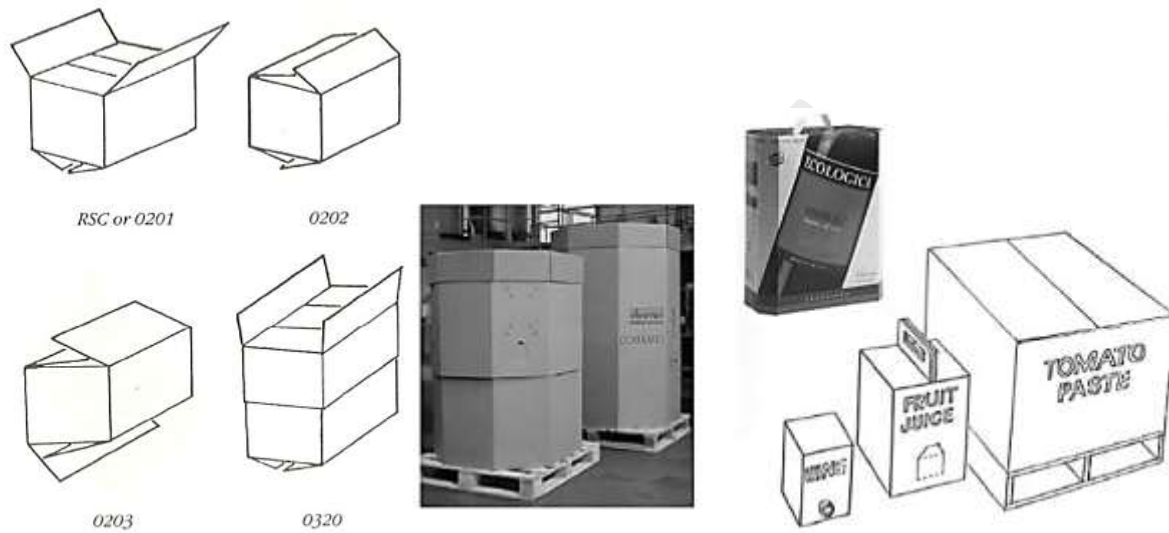
- **Χαρτοσακούλες**

Οι χάρτινες σακούλες χρησιμοποιούνται στην πρωτογενή συσκευασία ειδών αρτοποιίας, ζαχαροπλαστικής, μαναβικής, ξηρών καρπών και έτοιμου φαγητού. Οι διαστάσεις τους ποικίλλουν ανάλογα με τη χρήση από 8,5 X 21 εκ. έως 17 X 40 εκ. και στην παραγωγή τους χρησιμοποιείται χαρτί κραφτ.

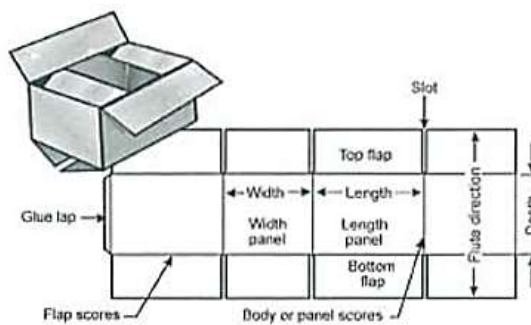
- **Χαρτόσακοι**

Οι χαρτόσακοι χρησιμοποιούνται στην πρωτογενή συσκευασία τσιμέντου, δομικών υλικών, αλευριού, ζάχαρης και ζωοτροφών.

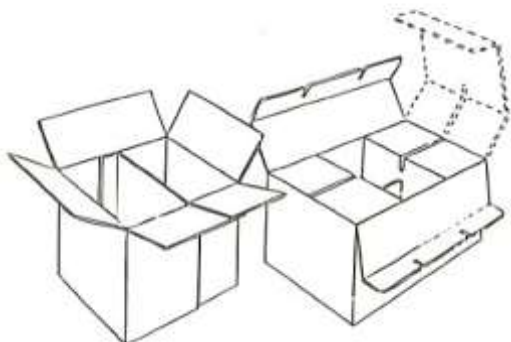
ΤΥΠΟΙ ΧΑΡΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΔΙΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ



Regular Slotted Container (RSC)



Special purpose packaging



ΧΑΡΤΟΚΙΒΩΤΙΑ ΣΤΗΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΧΑΡΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ

Η φυσική διακίνηση συμπεριλαμβάνει την συσκευασία, την μεταφορά και τοποθέτηση σε αποθηκευτικούς χώρους, τα τελικά προϊόντα, τους αποθηκευτικούς χώρους, την περαιτέρω μεταφορά σε εξωτερικό περιβάλλον, τις φορτώσεις και εκφορτώσεις. Η διαχείριση της φυσικής διακίνησης συμπεριλαμβάνει όλες εκείνες τις ενέργειες οι οποίες θα οδηγήσουν στην αποτελεσματικότερη και οικονομικότερη μεταφορά των παραγόμενων προϊόντων, από το σημείο παραγωγής στον τελικό καταναλωτή.

Η διακίνηση είναι ουσιαστικά μια υπηρεσία με του ακόλουθους στόχους οι οποίοι είναι άμεσα συνδεδεμένοι με τα λοιπά στοιχεία της οργάνωσης της παραγωγής της κάθε εταιρίας:

- **Μεταφορές.** Η διαχείριση και ο συντονισμός της μεταφοράς των αγαθών και των υπηρεσιών που παράγονται από τον οργανισμό από το σημείο παραγωγής μέχρι την κατανάλωση.
- **Μείωση κόστους.** Η διαχείριση της διακίνησης θα πρέπει να εξασφαλίζει ότι το παραγωγικό σύστημα χρησιμοποιείται στα όρια της απόδοσης του μειώνοντας έτσι το κόστος ανά μονάδα προϊόντος κατά την μεταφορά του.

Ανάγκες της επιχείρησης. Η διαχείριση της διακίνησης θα πρέπει να εξασφαλίζει ότι το σύστημα που εφαρμόζεται ικανοποιεί τις ανάγκες της επιχείρησης σχετικά με την μέθοδο μεταφοράς, το κόστος της, την χρονική περίοδο διανομής, την εργατική δύναμη που απαιτείται και λοιπά.

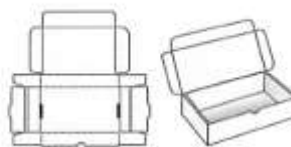
Η έκθεση ενός συσκευασμένου προϊόντος στο δυναμικό περιβάλλον της αποθήκευσης και διακίνησης είναι ικανή να επιφέρει ανεπανόρθωτες ζημιές στην φυσική του κατάσταση, μέχρι και την πλήρη καταστροφή του προϊόντος.

Η ελλιπής συσκευασία (*under-packaging*) ενός προϊόντος ευθύνεται κατά κύριο λόγο για ζημιές υψηλού κόστους κατά την αποθήκευση, μεταφορά και διαχείριση συσκευασμένων προϊόντων, ενώ οι πέραν του αναγκαίου συσκευασίες (*over-packaging*), αν και (υπερ)προστατεύουν το προϊόν, το επιβαρύνουν με επιπλέον κόστος το οποίο καταλήγει στον καταναλωτή.

Στόχος είναι ο σχεδιασμός τόσο ενός ανθεκτικότερου προϊόντος, όσο και μιας επαρκούς συσκευασίας με την οποία το προϊόν θα ανταπεξέλθει στους κινδύνους κατά τον χειρισμό, την αποθήκευση και την διακίνηση του στο εκάστοτε φυσικό περιβάλλον, συντελώντας στην οικονομικότερη παραγωγή και διακίνηση του απαλλάσσοντας την παρουσία του στην αγορά από περιττά κόσθη και ζημιές

- **Συμπίεση.** Τα συσκευασμένα προϊόντα θα πρέπει να είναι σχεδιασμένα ώστε να αντέχουν τις δυνάμεις συμπίεσης που υφίστανται κατά την αποθήκευση και μεταφορά τους. Οι δυνάμεις αυτές επηρεάζουν κυρίως τα κουτιά που βρίσκονται στη βάση της παλέτας ή του ραφιού. Στο στατικό περιβάλλον της αποθήκης οι δυνάμεις αυτές είναι σταθερές και άρα εύκολα περιγράψιμες και μετρήσιμες, όμως έντονα επηρεασμένες από τις κλιματικές συνθήκες και το χρόνο αποθήκευσης. Στο δυναμικό περιβάλλον της διακίνησης όμως οι δυνάμεις που θα υποστεί το χαρτοκιβώτιο τη βάσης μπορεί να είναι πολλαπλάσιες του βάρους του προϊόντος και να ποικίλουν ανάλογα με την ποιότητα του οδοστρώματος.
- **Απότομη μεταβολή της κατάστασης (shock).** Τα προϊόντα υπόκεινται σε απότομη μεταβολή της κατάστασης τους κατά την πτώση τους. Ανάλογα με το πόσο εύθραυστο είναι το προϊόν, η προστατευτική συσκευασία με τη μορφή κυματοειδών χαρτονιών, αφρωδών υλικών και άλλων δομών, μπορεί να μειώσει την απότομη και έντονη αλλαγή της κατάστασης του και έτσι να προστατεύσει το προϊόν.
- **Δόνηση (vibration).** Τα συσκευασμένα προϊόντα υπόκεινται σε συνεχή δόνηση κατά την μεταφορά. Οι τρόποι προστασίας περιλαμβάνουν προστατευτικά στοιχεία εσωτερικά του περιέκτη, περιορισμό της

Die cut box



Wrap around box (IKEA)



κίνησης και σωστή σταθεροποίηση με δέσιμο των συσκευασιών και των παλετών, ακόμα και επανασχεδιασμό των προϊόντων ή εξοπλισμό των μεταφορικών μέσων με συστήματα απορρόφησης των κραδασμών.

- **Αλλαγή υψομέτρου.** Με την αύξηση του υψομέτρου, τόσο η θερμοκρασία όσο και η πίεση μειώνονται. Ο φυσιολογικός ρυθμός είναι περί το 1,5 psi και 6°C για κάθε 1000m υψομετρικής διαφοράς. Απότομες μεταβολές του υψομέτρου μπορεί να προκαλέσουν την διάρρηξη πακέτων, καθώς ο εσωτερικά έγκλειστος αέρας προσπαθεί να εκτονωθεί προς το εξωτερικό περιβάλλον χαμηλότερης πίεσης, ενώ η αντίστροφη πορεία αλλαγής του υψομέτρου μπορεί να προκαλέσει την σύνθλιψη του προϊόντος καθώς η συσκευασία συρρικνώνεται.
- **Στατικός ηλεκτρισμός.** Ο στατικός ηλεκτρισμός αυξάνει με την τριβή μεταξύ των συσκευασιών είτε με την απευθείας επαφή με φορτισμένα σώματα. Ο στατικός ηλεκτρισμός είναι συνήθως ιδιαίτερα καταστροφικός για μικρά και ακριβά ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Τα ξηρά περιβάλλοντα μεγεθύνουν το πρόβλημα ενισχύοντας την αύξηση του ηλεκτρικού φορτίου.
- **Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.** Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προερχόμενη από γραμμές ηλεκτρικού ρεύματος, ηλεκτρικές συσκευές, μηχανές και άλλα, περνά σχεδόν από όλα τα υλικά συσκευασίας συσσωρεύοντας ηλεκτρικά φορτία εσωτερικά του περιέκτη και επάνω στο προϊόν μέχρι του σημείου της ηλεκτρικής εκκένωσης.
- **Ζέστη και κρύο.** Οι περισσότερες χημικές και μικροβιολογικές μεταβολές επιταχύνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας και επιβραδύνονται με τη μείωση της. Αέρια υπό συμπίεση όπως τα αεροζόλ, μπορεί να εκραγούν και πλαστικά να χάσουν το σχήμα τους όταν εκτεθούν σε περιβάλλον υψηλών θερμοκρασιών.

Από την άλλη μεριά η ψύξη των τροφίμων μπορεί να αλλάξει την δομή τους μέσα από τη δημιουργία κρυστάλλων οι οποίοι αυξάνουν τον όγκο τους με την περαιτέρω μείωση της θερμοκρασίας, οδηγώντας σε διάρρηξη της δομής του προϊόντος. Οι χαμηλές θερμοκρασίες μπορούν να κάνουν τα περισσότερα πλαστικά εύθρυπτα πράγμα το οποίο θα επηρεάσει τόσο τη συσκευασία όσο και το προϊόν.

Μια παράπλευρη συνέπεια της πτώσης της θερμοκρασίας είναι και η συμπύκνωση υδρατμών στην επιφάνεια εσωτερικά της συσκευασίας και επάνω στο προϊόν. Συμπύκνωση υδρατμών μπορεί να λάβει χώρα και εξωτερικά της συσκευασίας, επηρεάζοντας τις ιδιότητες της επιφάνειας στην οποία θα πρέπει να συγκολληθεί μια ετικέτα, την κόλλα και το υλικό της ετικέτας που θα πρέπει να αντέχουν στην υγρασία. Η υγρασία αυτή μπορεί ακόμα να μεταφερθεί στην εσωτερική επιφάνεια του χαρτοκιβωτίου που βρίσκεται σε άμεση επαφή με το προϊόν επηρεάζοντας την αντοχή του, ενώ υγρασία συμπυκνώνεται και στην εξωτερική επιφάνεια του με ανάλογα αποτελέσματα.

- **Το περιβάλλον διαχείρισης** χαρακτηρίζεται από τα shock που δέχεται το προϊόν, ενώ το περιβάλλον μεταφοράς από τις δονήσεις. Ένα φορτηγό ή ένα βαγόνι τρένου σε κίνηση δονείται και μεταφέρει τη δόνηση και στο περιεχόμενο του τόσο κατά την κάθετη όσο και κατά τις οριζόντιες διευθύνσεις (εμπρός-πίσω και δεξιά-αριστερά). Η δυσμενής επίδραση των δονήσεων αυτών μπορούν να μελετηθούν τοποθετώντας μετρητές επιτάχυνσης σε διάφορα σημεία και καταγράφοντας και αναλύοντας τις κινήσεις των μεταφορικών μέσων. Καθώς υπάρχει περίπτωση η κίνηση να συνεχίζεται για ώρες, μέρες ή ακόμα και περισσότερο, η καταγραφή θα πρέπει να γίνεται καθ' όλη τη διάρκεια του συγκεκριμένου ταξιδιού. Κάθε μετρητής τοποθετημένος σε οποιοδήποτε σημείο θα καταγράφει ένα συνεχές σήμα κυματοειδούς μορφής.

Τραχείς δρόμοι προκαλούν μεγαλύτερα G από ότι οι εθνικές οδοί. Το δάπεδο του μεταφορικού μέσου παράγει επίπεδα shock μέχρι 20 G όταν βρεθεί σε λακκούβες ή χτυπήσει σε σαμαράκια. Η μέση όμως επιτάχυνση στην κάθετη κατεύθυνση που διαρκεί και μεγάλο χρονικό διάστημα, είναι της τάξης των 0,5 G. Το χειρότερο σημείο στο μεταφορικό μέσο αναφορικά με τα επίπεδα G είναι συνήθως το πίσω μέρος. Αυτό οφείλεται στην ελαστικότητα του δαπέδου το οποίο πάλλεται καθώς βρίσκεται μακριά από τον πίσω άξονα. Αλλά και η επιτάχυνση του δαπέδου ακριβώς επάνω από τους άξονες μπορεί να είναι εξίσου μεγάλη. Φορτηγά αυτοκίνητα εξοπλισμένα με αναρτήσεις αέρα, συνήθως παρουσιάζουν χαμηλότερα επίπεδα G από τα φορτηγά με αναρτήσεις ελατηρίων.

ΓΕΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗΣ

Η περιγραφή της αντοχής ενός προϊόντος στις διάφορες συνθήκες που μπορούν να προκαλέσουν την καταστροφή του, τείνει να περιγράφεται με ένα αριθμό, την κρίσιμη τιμή του G, ο οποίος εκφράζει την ευθραυστότητα του συσκευασμένου ή μη συσκευασμένου προϊόντος. Αν και η χρήση αυτού του αριθμού είναι σημαντική και περιγράφει την κατάσταση αρκετά καλά, εν τούτοις από μόνος του δεν είναι αρκετός εάν δεν λάβουμε υπόψη κυρίως την τιμή της κρίσιμης αλλαγής της ταχύτητας, κάτω από την οποία η τιμή του G δεν έχει

απολύτως καμία σημασία. Υπάρχουν εξίσου σημαντικοί παράγοντες οι οποίοι θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όπως:

- **Προσανατολισμός του προϊόντος κατά την κρούση.** Η μελέτη της αντοχής κατά την πτώση και κρούση με ένα σταθερό επίπεδο, θα πρέπει να περιλαμβάνει τη μελέτη των συνεπειών της πτώσης του προϊόντος κατά διάφορους προσανατολισμούς, ώστε να χτυπήσει τόσο με τις βάσεις, όσο και με τις πλευρές και τις γωνίες του. Το shock είναι γενικά μεγαλύτερο κατά την τέλεια επίπεδη πτώση, αφού σε αυτή την περίπτωση η επιφάνεια επαφής του προϊόντος με την επιφάνεια κρούσης είναι η μεγαλύτερη και τα προϊόντα θα πρέπει να ελέγχονται σε αυτές τις συνθήκες.
- **Ταυτοποίηση της ζημιάς.** Αν και είναι γενικά αποδεκτό ότι μια ζημιά μπορεί εύκολα να προσδιοριστεί και να περιγραφεί, υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες είτε η ζημιά είναι σε πολύ μικρό μέγεθος, και άρα δύσκολα αναγνωρίσιμη χωρίς τον κατάλληλο τεχνικό/εργαστηριακό εξοπλισμό, είτε βρίσκεται σε σημείο του προϊόντος το οποίο είναι δύσκολο προσπελάσιμο από το ανθρώπινο μάτι και άρα δεν γίνεται άμεσα και εύκολα αντιληπτό. Ακόμα υπάρχουν προϊόντα στα οποία η ζημιά συσσωρεύεται με επαναλαμβανόμενους λάθος χειρισμούς και ενώ αρχικά δεν μπορεί να γίνει αντιληπτή, με τον καιρό εκδηλώνεται καθιστώντας το προϊόν ακατάλληλο για χρήση. Σε πιο σημείο της αλυσίδας διακίνηση είναι το προϊόν κατεστραμμένο και ακατάλληλο για χρήση; Προκύπτει λοιπόν η ανάγκη προσδιορισμού του κριτηρίου καταστροφής και άρα της ευθραυστότητας του κάθε αντικειμένου.

Το είδος της καταστροφής και άρα η παρατήρηση και εκτίμηση της εξαρτάται από τον τύπο του υλικού ή των υλικών που εμπλέκονται. Ευθραυστα υλικά όπως το γυαλί, τα κεραμικά, το χαρτί και τα σκληρά μέταλλα αποτυγχάνουν με απότομα και άμεσα ορατά αποτελέσματα, ενώ πιο εύκαμπτα και ελατά υλικά όπως τα μέταλλα και τα πλαστικά μπορούν να αντέξουν και να εμφανίσουν διαφορετικά πιο «ελαστικά» σημεία καταστροφής. Δυστυχώς δεν μπορούμε να αναγνωρίσουμε εύκολα τις ζημιές σε προϊόντα όπου χρησιμοποιούνται διάφορα υλικά με διαφορετική συμπεριφορά κατά τις απότομες μεταβολές της κατάστασης τους. Γι' αυτό και δεν είναι εύκολο να προσδιορίσουμε το ακριβές εξάρτημα ή σημείο του προϊόντος που θα αποτύχει απέναντι τις δυνάμεις καταστροφής.

- **Αποτέλεσμα πολλαπλών πτώσεων.** Η συσσώρευση της ζημιάς η οποία γίνεται με την επαναλαμβανόμενη έκθεση του προϊόντος σε συνθήκες που το επηρεάζουν, όπως η πτώση, είναι μια ακόμα παράμετρος στον υπολογισμό της ευθραυστότητας του αντικειμένου. Αυτό που πρέπει να γνωρίζουμε για να προστατεύσουμε αποτελεσματικά το κάθε προϊόν είναι, πόσες δηλαδή δυναμικές μεταβολές της κατάστασης του μπορεί να αντέξει πριν την οριστική του καταστροφή, πώς θα προσδιοριστεί η επίδραση αυτών των εν δυνάμει καταστροφικών συσσωρευμένων μεταβολών όταν το προϊόν το ίδιο δεν δείχνει τα σημάδια του αποτελέσματος της επίδρασης τους και πόσες δυναμικές μεταβολές της κατάστασης του και μέχρι ποιο όριο μπορεί να αντέξει και ποιο το κρίσιμο όριο πάνω από το οποίο έστω και μία απότομη μεταβολή θα καταστρέψει το προϊόν.
- **Κλιματικοί παράγοντες.** Σημαντικό ρόλο στην αντοχή των υλικών παίζουν και οι κλιματικοί παράγοντες στους οποίους εκτίθεται το προϊόν και η συσκευασία του κατά την παραγωγή, αποθήκευση και διακίνηση των προϊόντων. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να επηρεάσουν τόσο την αντοχή των υλικών, όπως η απορρόφηση υγρασίας από το χαρτί, όσο και τη συμπεριφορά των διαφορετικών στοιχείων, κυρίως των ηλεκτρολογικών εξαρτημάτων στο προϊόν. Επιπλέον η θερμοκρασία επηρεάζει τη συμπεριφορά της συσκευασίας τόσο σε σχέση με τα υλικά, των οποίων οι ιδιότητες μεταβάλλονται με τη θερμοκρασία, όσο και σε σχέση με τη διάρκεια ζωής μέσα από την ενίσχυση (υψηλές θερμοκρασίες) ή την επιβράδυνση και καταστολή (χαμηλές θερμοκρασίες) των βιοχημικών και μικροβιολογικών αντιδράσεων και παραγόντων που αλλοιώνουν διάφορα προϊόντα, κυρίως τα τρόφιμα και τα φάρμακα. Η διαφορά στην ατμοσφαιρική πίεση μερικών συσκευασιών μεταξύ του εσωτερικού τους και του εξωτερικού περιβάλλοντος μπορούν να προκαλέσει φούσκωμα ή κατάπτωση της συσκευασίας καταλήγοντας είτε στην διάρρηξη (σκάσιμο) του πακέτου είτε στην πίεση και θραύση του προϊόντος μέσα, αντίστοιχα.
- **Αντοχή της συσκευασίας.** Η συσκευασία αποτελείται από τον περιέκτη και το συσκευασμένο προϊόν ή προϊόντα. Η αντοχή αυτού του συνολικού συστήματος είναι τελικά αυτό που ενδιαφέρει. Η αντοχή αυτή ορίζεται ως το συνολικό βάρος που θα κάνει είτε το χαρτοκιβώτιο είτε το προϊόν μέσα να αποτύχει, όποιο από τα δύο συμβεί πρώτο. Συνήθως, το σπασμένο χαρτοκιβώτιο δίνει την εντύπωση ότι και το περιεχόμενο έχει πάθει ζημιά, αν και αυτό δεν είναι απαραίτητο να έχει συμβεί, οπότε επηρεάζει την γενική εικόνα του προϊόντος.

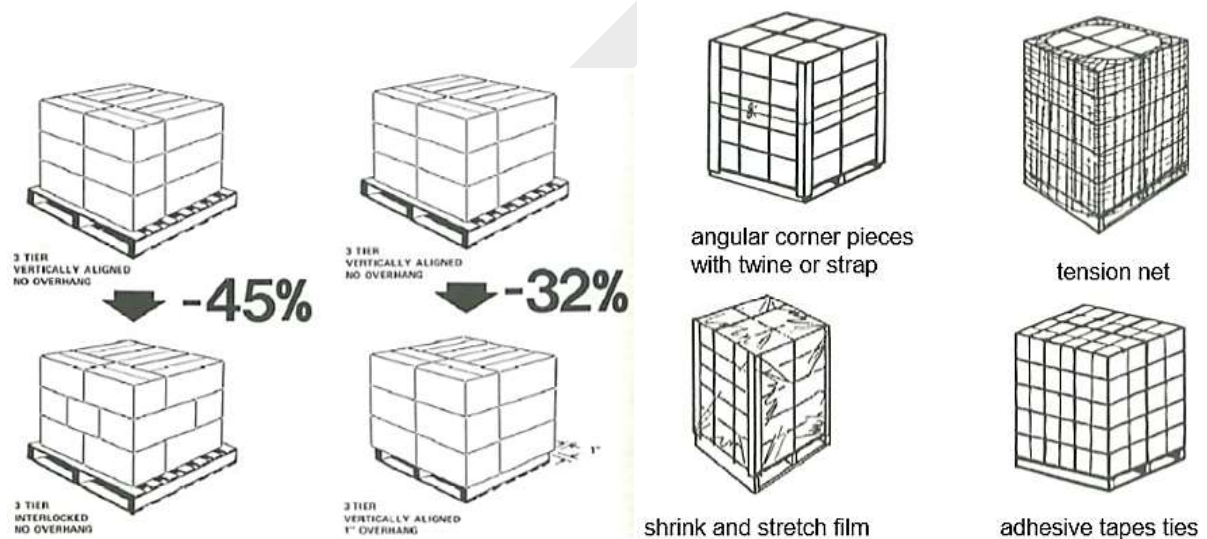
Δεν είναι πάντα αποδεκτό να επιφορτίσουμε το προϊόν με ένα μέρος της συμπίεσης που εφαρμόζεται στην κορυφή του πακέτου. Η φύση του προϊόντος θα καθορίσει και την απόφαση αυτή. Οι μεταλλικοί περιέκτες για παράδειγμα μπορούν να αντέχουν και έτσι να προσδώσουν σημαντική αντοχή στη συσκευασία. Οι γυάλινοι περιέκτες από την άλλη δεν αντέχουν γενικά σε συμπίεση. Οι πλαστικές συσκευασίες μπορούν να φέρουν μέρος

του βάρους και έτσι να προσφέρουν σημαντικά στην αντοχή της συσκευασίας, εφ' όσον η συμβολή αυτή κρίνεται απαραίτητη.

Παράγοντες κιβωτίου. Οι πιο σημαντικές εξωτερικές επιδράσεις που επηρεάζουν την αντοχή του χαρτοκιβωτίου είναι:

- **Η παρουσία υγρασίας** μειώνει την αντοχή του χαρτοκιβωτίου, καθώς το χαρτί απορροφά την υγρασία και χάνει την στιβαρότητα του. Το χαρτοκιβώτιο επίσης αδυνατίζει με το χρόνο με τρόπο ανάλογο του φαινομένου της «χαλάρωσης». Ο τελευταίος παράγοντας που επηρεάζει την αντοχή είναι ο τρόπος στοίβαξης. Μία στοίβα από όμοια κουτιά τοποθετημένα κατακόρυφα με τέλεια ευθυγράμμιση ώστε να σχηματίζουν μια κολώνα όπου όλες οι γωνίες βρίσκονται στην ίδια ευθεία, θα επιδείξει πολύ μεγαλύτερη αντοχή από μια στοίβα όπου οι γωνίες δεν είναι ευθυγραμμισμένες αλλά βρίσκονται πάνω από τις πλευρές του υποκείμενου κιβωτίου. Αυτό συμβαίνει γιατί οι γωνίες του κιβωτίου επιδεικνύουν πάντα μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με τις πλευρές του. Ανάλογο αποτέλεσμα παρατηρείται και στην περίπτωση τοποθέτησης μεικτών, δηλαδή ανομοιόμορφου σχήματος χαρτοκιβωτίων όπου δεν είναι δυνατή η τέλεια ευθυγράμμιση των γωνιών.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΧΑΡΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΣΤΙΣ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ (ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΑΘΕΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ)



Οι τέσσερις βασικές μηχανικές ιδιότητες που επηρεάζουν την δομική συμπεριφορά του κυματοειδούς υλικού είναι:

- α) τα χαρτιά και οι προσανατολισμοί των ινών τους,
- β) το ύψος των κυμάτων,
- γ) ο αριθμός των κυμάτων και η μεταξύ τους απόσταση, και
- δ) η αξιοπιστία των γραμμών κόλλας.

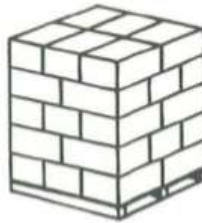
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΧΑΡΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΣΕ ΠΑΛΕΤΕΣ

Η βελτιστοποίηση του διαθέσιμου χώρου της παλέτας είναι επίσης μια ιδιαίτερη απαίτηση μείωσης του κόστους και αύξησης της απόδοσης. Συνήθως τα όμοια χαρτοκιβώτια τοποθετούνται σε κάθετες στήλες με την τοποθέτηση σε κάθε επίπεδο να είναι ίδια με τις υπόλοιπες. Η τοποθέτηση ονομάζεται πρότυπο παλλετοποίησης (pallet pattern).

Τα τετράγωνα κουτιά μπορούν να τοποθετηθούν επί της παλέτας μόνο με έναν τρόπο, ενώ τα υπόλοιπα μπορούν να τοποθετηθούν με διάφορους προσανατολισμούς. Βασικοί τρόποι παρουσιάζονται πιο κάτω:



column stack



Interlocking 2 top layers only

Interlocking layers of boxes

Interlock stack patterns has 37 %
less potential strength than
column stacks.

P. G. Wright, P.R. McKinlay, E.Y.N. Shaw
Corrugated Fibreboard Boxes, 4th Ed., Amcor Fibre Packaging, 1992.

Η επιλογή του προτύπου εξαρτάται κυρίως από δύο παράγοντες. Ο πρώτος ότι η παλλέτα θα πρέπει να περιέχει όσο το δυνατόν περισσότερους περιέκτες και δεύτερον όπου είναι δυνατόν θα πρέπει να προτιμάται ο διασταυρούμενος τρόπος για μεγαλύτερη σταθερότητα. Η τοποθέτηση των κιβωτίων σε διασταυρούμενη θέση μπορεί να μειώσει αρκετά την αντοχή σε κάθετη συμπίεση αφού δεν έρχονται σε επαφή οι γωνίες τους αλλά οι πλευρές με τις γωνίες.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ

Οι παράγοντες που ισχύουν για τα χαρτοκιβώτια, δεν ισχύουν γενικά για τα πλαστικά υλικά, αφού το περιβάλλον επηρεάζει τα δύο υλικά διαφορετικά. Στην περίπτωση των πλαστικών μπουκαλιών, ο παράγοντας χρόνος επηρεάζει τη συμπεριφορά του πολυμερούς, ενώ δεν επηρεάζεται από την υγρασία. Τα μεταλλικά κουτιά και τα γυάλινα μπουκάλια είναι πολύ πιο ανθεκτικά.

Η προστατευτική συσκευασία, όπως τα προστατευτικά μαξιλαράκια, μπορούν να έχουν συνήθως αξιοσημείωτη συνεισφορά στην αντοχή του κιβωτίου στην συμπίεση, και άρα θα πρέπει να συνηθίζονται κατά την αξιολόγηση της αντοχής του συσκευασμένου προϊόντος. Το αντίστροφο όμως σπάνια συμβαίνει, δηλαδή το κιβώτιο δεν συνεισφέρει στην δράση της προστατευτικής συσκευασίας έναντι των shocks και των δονήσεων παρά μόνο κρατά το όλο σύστημα στη θέση του. Από την άλλη μεριά παρά την αξιολόγηση συνεισφορά της προστατευτικής συσκευασίας, το συνήθως υψηλό κόστος της την τοποθετεί στις πρώτες θέσεις της λίστας των επιβαρύνσεων του τελικού προϊόντος.

Πολύ ελαφριά (0-10 kg) προϊόντα μεταφέρονται συνήθως είτε με τα χέρια προτεταμένα στο ύψος της μέσης, κάτω από τη μασχάλη ή επάνω στον ώμο στηριζόμενα με το ένα χέρι. Αυτό ακριβώς φαίνεται και στον πίνακα στα αναγραφόμενα ύψη πτώσης. Καθώς το βάρος του προϊόντος αυξάνεται, το κατά μέσο όρο ύψος πτώσης μειώνεται καθώς τα προϊόντα αυτά είτε μεταφέρονται από δύο ανθρώπους στο ύψος της μέσης το πολύ ή τοποθετημένα σε ένα καροτσάκι κ.λπ. Το αναμενόμενο ύψος πτώσης για πολύ βαριά προϊόντα είναι λιγότερο από 30 cm με μισό μέτρο, καθώς αυτά μετακινούνται συνήθως με μηχανικά μέσα.

Ο αριθμός των φορών που ένα συσκευασμένο προϊόν μετακινείται έχει επίσης σημαντικό ρόλο στον σχεδιασμό, καθώς κάθε μετακίνηση αποτελεί και έναν επιπρόσθετο κίνδυνο, μια ακόμα πιθανότητα πτώσης. Ο αριθμός των φορών αυτών ποικίλει με το μέγεθος του πακέτου και είναι συνήθως τουλάχιστον τρεις (μία μέσα στο μέσο μεταφοράς, μία έξω από αυτό και μία από τον πελάτη μέσα στο μαγαζί). Εάν μεσολαβεί μεταφορά σε αποθήκη ή διακομιστικό κέντρο οι φορές αυξάνονται ανάλογα, φτάνοντας κατά μέσο όρο στις 3-5.

Οι βασικές διαφορές μεταξύ συμπίεσης και shock που δεν επιτρέπουν τον συσχετισμό είναι ότι κατά πρώτον κατά την δοκιμή για τον υπολογισμό της αντοχής στη συμπίεση, και οι δύο πλευρές του περιέκτη συμπίεζονται εξ ίσου και ταυτόχρονα, ενώ η δύναμη κατά την πρόσκρουση εφαρμόζεται μόνο στην μια πλευρά και επικεντρώνεται στο σημείο επαφής με την επιφάνεια πρόσκρουσης. Κατά δεύτερον, η δύναμη πρόσκρουσης εμφανίζεται μόνο για απειροελάχιστο χρόνο, κλάσματα του δευτερολέπτου. Και τρίτον, κατά την πρόσκρουση όλο το προϊόν και τα στοιχεία που το αποτελούν δέχονται την επίδραση της επιβράδυνσης και κάθε ένα από αυτά τα στοιχεία μπορεί να δεχθεί το shock. Αυτού του είδους της ζημιάς δεν μπορεί να αναπαραχθεί με κατά την δοκιμή αντοχής στη συμπίεση παρά μόνο με κατά την πτώση και πρόσκρουση.

Είναι γενικά αλήθεια ότι η τέλεια επίπεδη πρόσκρουση θα προκαλέσει τη μεγαλύτερη ζημιά αφού σε αυτή εμπλέκεται η μέγιστη επιφάνεια επαφής με τη σκληρή επιφάνεια. Πρόσκρουση σε γωνία ή άκρη προκαλούν

χαμηλότερα επίπεδα shock. Έτσι, και ο σχεδιασμός της προστατευτικής συσκευασίας και η ανεύρεση της ευθραυστότητας γίνεται με πτώσεις στην επίπεδη πλευρά.

Η δόνηση του προϊόντος μπορεί να προκαλέσει σοβαρές ζημιές στο προϊόν ή σε επιμέρους εξαρτήματα του, όπως τα ηλεκτρονικά κυκλώματα συσκευών ή λόγω τριβής να δημιουργήσει στατικά ηλεκτρικά φορτία τα οποία και μπορούν να προκαλέσουν βλάβες σε ευαίσθητα ηλεκτρονικά προϊόντα. Η δόνηση και η απότομη και έντονη μεταβολή της κατάστασης (shock) ενός προϊόντος μοιάζουν υπό μία έννοια, καθώς και οι δύο οφείλονται σε έντονη κίνηση του αντικειμένου. Η κύρια διαφορά τους όμως έγκειται στο γεγονός ότι στην περίπτωση της δόνησης έχουμε πολλές μικρές και επαναλαμβανόμενες προσκρούσεις ενώ στην άλλη το φαινόμενο περιγράφεται με μια μεγάλης έντασης σύγκρουση. Το κύριο χαρακτηριστικό ενός προϊόντος το οποίο προκαθορίζει την αντίδραση του σε συνθήκες δόνησης είναι η φυσική του συχνότητα (f_n), δηλαδή ο ρυθμός με το οποίο ένα αντικείμενο τείνει να δονείται όταν τεθεί σε κίνηση από μια στιγμιαία αναστάτωση της κατάστασης του.

Τα αφρώδη υλικά με κλειστά κελιά συνήθως ακολουθούν τη σχέση δύναμης με συμπίεση που φαίνεται στο σχεδιάγραμμα. Καθώς η κλίση της καμπύλης αυξάνει με την αύξηση της συμπίεσης, αυτά τα υλικά τείνουν να γίνονται πιο σκληρά με την αύξηση της συμπίεσης. Τα προστατευτικά που γίνονται από κυματοειδές χαρτόνι εμφανίζουν αντίθετη συμπεριφορά. Όσο αυξάνεται η συμπίεση τόσο μειώνεται η σκληρότητα των υλικών αυτών, αφού το κυματοειδές χαρτόνι συνθλίβεται.

Η φυσική συχνότητα

κάθε αντικείμενου εξαρτάται από το βάρος του που βρίσκεται επάνω στο ελατήριο και λιγότερο από την κίνηση του. Αύξηση του βάρους μειώνει την ταχύτητα του αντικειμένου και άρα μειώνει τη φυσική του συχνότητα. Η αύξηση της σκληρότητας του ελατηρίου επιταχύνει την κίνηση του αντικειμένου και άρα αυξάνει τη φυσική του συχνότητα. Μια αύξηση της διανυόμενης απόστασης αυξάνει την φυσική συχνότητα αλλά μόνο λίγο, γιατί αν και η μεγαλύτερη απόσταση που διανύει το αντικείμενο είναι μεγαλύτερη το αντικείμενο την διανύει με μεγαλύτερη ταχύτητα αφού το ελατήριο πιέζει με μεγαλύτερη δύναμη το βάρος, και άρα ο χρόνος για την ολοκλήρωση ενός κύκλου είναι ο ίδιος. Όταν διεγερθούν, τα περισσότερα συστήματα μάζας-ελατηρίου θα συμπληρώσουν μόνο λίγους κύκλους πριν η κίνηση σταματήσει. Κατά τη διάρκεια της κίνησης αυτής το αντικείμενο συνεχίζει να κινείται με τη φυσική του συχνότητα.

Αλλάζοντας το τρόπο που ένα αντικείμενο συγκρατείται, αλλάζει και η φυσική του συχνότητα αφού αλλάζει η σκληρότητα του ελατηρίου στο συγκεκριμένο σύστημα μάζας-ελατηρίου. Σε γενικές γραμμές όσο περισσότερο υποστηρίζεται ένα αντικείμενο τόσο αυξάνεται η φυσική του συχνότητα. Η αλλαγή στο σχήμα επίσης αλλάζει και τη φυσική του συχνότητα, όπως για παράδειγμα η αύξηση της φυσικής συχνότητας ενός κυρτωμένου πιάτου σε σχέση με ένα επίπεδο. Ακόμα ένα μεταλλικό πιάτο έχει μεγαλύτερη φυσική συχνότητα από ένα πλαστικό, επειδή το μέταλλο είναι και το σκληρότερο και λιγότερο εύκαμπτο υλικό. Η τοποθέτηση ενός συστήματος μάζας-ελατηρίου επάνω σε ένα άλλο, όπως η περίπτωση της στοιβαξης χαρτοκιβωτίων παράγει ένα νέο διαφορετικό σύστημα, του οποίου η φυσική συχνότητα θα είναι πάντα μικρότερη από την φυσική συχνότητα των μεμονωμένων χαρτοκιβωτίων.

Ο συντονισμός

είναι γενικό φαινόμενο και αναφέρεται στην απορρόφηση ενέργεια από ένα σύστημα που μπορεί να ταλαντώνεται, όταν ή ενέργεια προσφέρεται με συχνότητα ίση με τη φυσική του συχνότητα (ιδιο-συχνότητα, f_n). Αναπήδηση του αντικειμένου συμβαίνει όταν σε κάποιο εύρος συχνοτήτων εξαναγκασμένης ταλάντωσης, το προς εξέταση αντικείμενο αρχίζει να αντιδρά βίαια και εάν το αντικείμενο δεν είναι σταθεροποιημένο αρχίζει να χάνει την επαφή με την επιφάνεια-φορέα για λίγο διάστημα.

Η διόρθωση της προστατευτικής συσκευασίας είναι ευκολότερη και φθηνότερη συγκριτικά με την διόρθωση του ίδιου του προϊόντος στην περίπτωση προβλημάτων κατά τη δόνηση. Αλλά αυτή η διόρθωση δεν θα πρέπει να παραβλέπει ότι η προστατευτική συσκευασία υπάρχει για να προσφέρει προστασία τόσο απέναντι στη δόνηση όσο και απέναντι στα shock από πτώσεις, πράγμα που σημαίνει πολλές φορές αρκετά διαφορετικές απαιτήσεις στο σχεδιασμό. Για την προστασία από shock, όσο πιο πολύ το προστατευτικό υλικό τόσο το καλύτερο, ενώ για προστασία από τη δόνηση το αντίστροφο είναι συνήθως το απαιτούμενο. Πιο πολύ προστατευτικό υλικό μπορεί να μειώσει την φυσική συχνότητα στην περιοχή 2 – 10 Hz, όπου ο συντονισμός θα αποτελεί πρόβλημα. Στην απόμακρη περίπτωση που η προστατευτική συσκευασία δεν μπορεί να προστατεύσει ταυτόχρονα και από shock και από δόνηση, ο επανασχεδιασμός του ίδιου του προϊόντος είναι απαραίτητος.

Η καταστροφή των προϊόντων λόγω δόνησης.

Μπορεί να έχει πολλές μορφές, ανάλογα το προϊόν, αλλά όλες εντείνονται στη περιοχή του συντονισμού. Μερικές συνήθειες ζημιές είναι:

- **Εσωτερικές βλάβες.** Μεμονωμένα στοιχεία μέσα στο προϊόν μπορεί να δονούνται βίαια κατά τη μεταφορά, ενώ το προϊόν εξωτερικά να φαίνεται ήρεμο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ζημιάς σε προϊόν λόγω βίαιης δόνησης ενός εξαρτήματος του είναι τα ψυγεία όπου ο συμπιεστής υπόκειται σε δόνηση. Τα βαριά προϊόντα δεν ανασηκώνονται από το δάπεδο του μεταφορικού μέσου εύκολα κατά την δόνηση, ενώ τα προϊόντα τα οποία δεν δένονται καλά και αναπηδάν σε έντονες δονήσεις βοηθούν στην απελευθέρωση μέρους της ενέργειας, οδηγώντας όμως δυστυχώς πολλές φορές σε εξωτερικές ζημιές.
- **Εξωτερικές ζημιές.** Εξωτερικές ζημιές με τη μορφή ρωγμών και γδαρσιμάτων στην εξωτερική επιφάνεια αποτελεί μεγάλο πρόβλημα για την βιομηχανία αυτοκινήτων όταν τα μεταλλικά αντικείμενα μετακινούνται τρίβονται το ένα στο άλλο, εάν δεν είναι δεμένα και σταθεροποιημένα σωστά, χωρίς να προκαλούν οποιαδήποτε έντονη κίνηση εσωτερικών στοιχείων τους.
- **Ξεβίδωμα πωμάτων.** Τα καπάκια στα μπουκάλια και τις φιάλες σταθεροποιούνται με σχετικό σφίξιμο μεταξύ των κατάλληλα διαμορφωμένων πτυχώσεων στις περιοχές επαφής τους. Αυτό το σφίξιμο μπορεί να χαλαρώσει στην περίπτωση που υποστούν έντονη δόνηση. Το φαινόμενο αυτό είναι πολύ πιο έντονο σε πλαστικά μπουκάλια τα οποία παρουσιάζουν σχετικά μεγαλύτερη ευκαμψία σε σχέση με τα γυάλινα και μεταλλικά. Η ευκαμψία των περιεκτών οφείλεται για τις ζημιές αυτές καθώς κατά την δόνηση οι περιοχές που ενδιαφέρουν αλλάζουν ελάχιστα το σχήμα τους από κυκλικό σε πιο οβάλ. Έτσι, η επαφή με το καπάκι χάνεται σε κάποια σημεία και το καπάκι υποχωρεί ελάχιστα από την αρχική σφιχτή του θέση. Σε ακραίες περιπτώσεις το καπάκι φεύγει τελείως. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την τοποθέτηση συρρικνούμενων λωρίδων και άλλων ενώσεων οι οποίες πέρα από την ασφάλεια έναντι κλοπών και επεμβάσεων στο προϊόν, κρατάν και το καπάκι πιο σταθερά επάνω στον περιέκτη.
- **Χαλάρωμα δεσμών.** Βίδες και συνδέσεις χαλαρώνουν κατά την δόνηση με τον ίδιο τρόπο που χαλαρώνουν και τα καπάκια. Ειδικές βίδες και συνδέσεις με σχήμα που να τις δίνει μια πιο μεγάλη αντοχή χρησιμοποιούνται σε έντονες συνθήκες. Ακόμα κόλλες και συνδετικά μπορούν να τοποθετηθούν στις βίδες για να αποφύγουμε το πρόβλημα.
- **Επιφανειακή απόξεση.** Η τριβή του προϊόντος με τον περιέκτη ή την προστατευτική συσκευασία μπορεί να γίνει στις συνήθειες συχνότητες των 5 Hz (συχνότητα αναρτήσεων), όπου το προϊόν ακουμπά μέχρι και 5 φορές το δευτερόλεπτο με τη συσκευασία ή μέχρι 18.000 φορές για κάθε ώρα ταξιδιού. Η προστατευτική συσκευασία μπορεί εύκολα να γδάρει την επιφάνεια ετικετών, να σβήσει γράμματα ή ακόμα και να γδάρει την επιφάνεια γυαλιού εάν ανάμεσα τους υπάρχει κάποια βρωμιά ή μικρο-αντικείμενο, τα οποία εντείνουν το φαινόμενο. Οι τρόποι με τους οποίους μπορούμε να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα είναι α) ο σχεδιασμός καλής επαφής μεταξύ του προϊόντος, του κουτιού και της προστατευτικής συσκευασίας, β) η χρήση πλαστικών ή χάρτινων φύλλων μεταξύ του προϊόντος και της προστατευτικής συσκευασίας και γ) η εξάλειψη της επαφής μεταξύ των ευαίσθητων σημείων του προϊόντος και της συσκευασίας.
- **Μετατόπιση συσκευασίας.** Συμβαίνει λόγω του ότι η επιτάχυνση την οποία δέχεται ένα προϊόν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από την επιτάχυνση του δαπέδου του μεταφορικού μέσου (συνήθως 0,5 G). Έτσι όταν το προϊόν δεχθεί πάνω από 1 G, θα χάσει την επαφή του με το δάπεδο και αναπηδά ανά διαστήματα. Καθώς δεν υπάρχει τριβή μεταξύ του προϊόντος και του δαπέδου όταν το προϊόν έχει αποσπαστεί από το δάπεδο σε μια αναπήδηση, δεν υπάρχει καμία δύναμη που να το συγκρατεί, οπότε το προϊόν μπορεί να μεταβεί σε άλλη θέση. Αυτό τελικά οδηγεί στην μετατόπιση του φορτίου, ειδικά σε μεταφορικά μέσα τα οποία δεν είναι πλήρως γεμάτα (Less than Truck Load – LTL). Η κατάσταση αντιμετωπίζεται με την σταθεροποίηση του φορτίου χρησιμοποιώντας δέστρες και σχοινιά, β) την σωστή παλετοποίηση και τη χρήση περιτυλίγματος σταθεροποίησης, γ) πλήρωση του μεταφορικού μέσου (Truck Load – TL) και δ) επανασχεδιασμός του προϊόντος ή της προστατευτικής συσκευασίας για την απορρόφηση των κραδασμών και τη κατακράτηση του φορτίου.
- **Σπάσιμο λόγω ευλυγισίας της συσκευασίας.** Τα πλαστικά και τα μεταλλικά φύλλα μπορεί να ραγίσουν με την επαναλαμβανόμενη ευλύγιστη κίνηση εμπρός – πίσω κατά την δόνηση. Οι σχηματιζόμενες ρωγμές είναι δυνατόν να εκθέσουν το συσκευασμένο προϊόν στο εξωτερικό περιβάλλον. Ακόμα και αν δεν υπάρξουν ρωγμές είναι δυνατόν να εμφανιστούν σπασίματα όπως κυρίως συμβαίνει στα μέταλλα. Στα σημεία που εμφανίζεται το φαινόμενο το υλικό λεπταίνει και μπορεί να επηρεαστεί η διαπερατότητα των υλικών σε οξυγόνο και υδρατμούς. Το φαινόμενο εντείνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες όπου τα πλαστικά γίνονται πιο εύθραπτα.
- **Συμπίεση των κιβωτίων.** Το επάνω κιβώτιο σε μια παλέτα συνήθως δέχεται τα περισσότερα G κινούμενο πάνω κάτω, χτυπώντας τα κιβώτια που βρίσκονται από κάτω του αλλά κυρίως μεταφέροντας τα G στο

προϊόν μέσα του όπου μπορούν να παρατηρηθούν έντονες ζημιές. Αντίθετα στα χαρτοκιβώτια βάσης η ζημιά είναι συνήθως στον περιέκτη ο οποίος δέχεται επιπλέον συμπίεση όταν το φορτίο μετακινείται πάνω κάτω. Αυτό το «ζωντανό φορτίο» είναι μεγαλύτερο από το στατικό φορτίο κατά 6 φορές.

DRAFT

ΔΙΑΚΙΝΗΣΗ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΟΥΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ.

ΜΟΝΑΔΕΣ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ (UNIT LOADS)

Οι μονάδες διακίνησης δευτερογενούς συσκευασίας περιλαμβάνουν τη «συσκευασία που δημιουργείται ώστε να αποσταλεί στην αγορά μια ομαδοποίηση ορισμένων ποσοτήτων των μονάδων πώλησης δηλαδή των μονάδων του τελικού προϊόντος, όπως πωλείται στον τελικό χρήστη ή τον καταναλωτή, ή αλλιώς εξυπηρετεί στο να ξαναγεμιστούν τα ράφια στο σημείο πώλησης και μπορεί να αφαιρεθεί από το προϊόν χωρίς να επηρεαστούν τα χαρακτηριστικά του» (94/62/EC). Άλλοι όροι που χρησιμοποιούνται σε αυτό το πλαίσιο περιλαμβάνουν την συσκευασία «μεταφοράς» ή «διανομής». Οι μονάδες διακίνησης δευτερογενούς συσκευασίας είναι κιβώτια, κλουβιά και δίσκοι, φτιαγμένοι από διάφορα υλικά όπως κυματοειδές χαρτόνι, χαρτί, πλαστικό, φύλλο αλουμινίου, σύνθετα υλικά, ή ακόμη και συνδυασμούς υλικών. Σχεδιάζονται για μία χρήση ή για επαναχρησιμοποίηση. Στην δεύτερη περίπτωση, η συσκευασία είναι πιθανό να αποτελείται από συνθετικά υλικά λόγω της διάρκειας και αντοχής των, της υγιεινής και του γενικά χαμηλότερου κόστους.

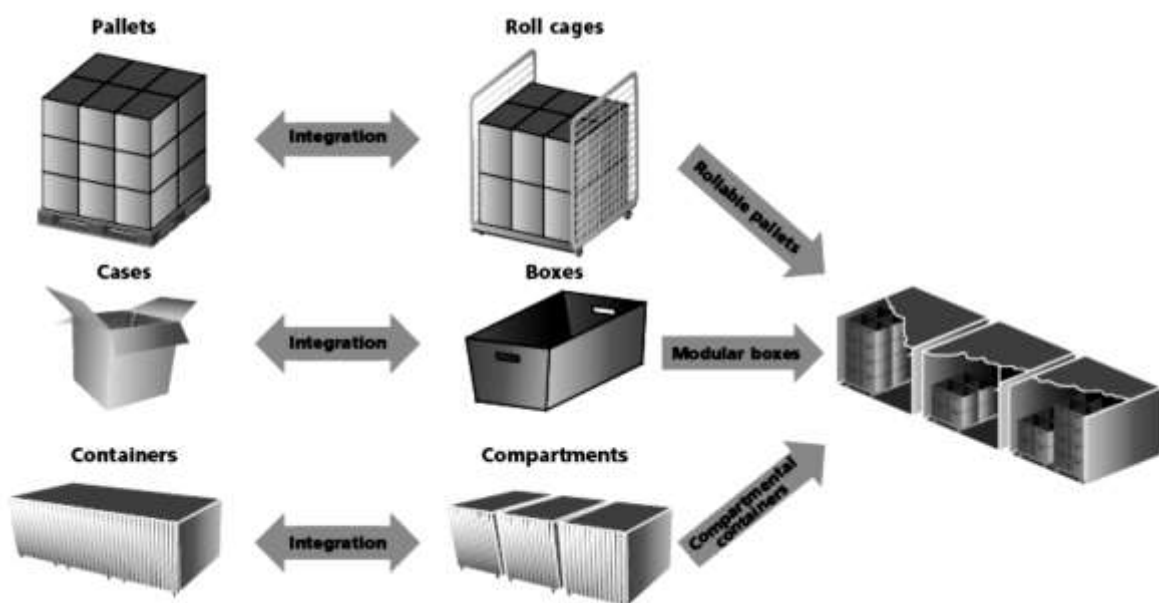
Οι μονάδες διακίνησης δευτερογενούς συσκευασίας χρησιμοποιούνται σε πέντε κύριες δραστηριότητες κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού,:

- Συσκευασία
- Παλλετοποίηση
- Κατάταξη των προϊόντων
- Πλήρωση ραφιών
- Ανακύκλωση/διάθεση.

Από αυτά προκύπτουν και πέντε βασικές απαιτήσεις:

- Αποτελεσματική χρήση χώρου
- Αποδοτικότητα διαχείρισης
- Προστασία πρωτογενών προϊόντων
- Αποδοτική χρησιμοποίηση του υλικού συσκευασίας
- Ανακυκλωσιμότητα/απόρριψη.

Οι μονάδες διακίνησης (unit loads) διαδραματίζουν βασικό ρόλο σε ολόκληρη τη αλυσίδα εφοδιασμού μέσω της ομαδοποίησης των συσκευασιών των προϊόντων για να διευκολύνουν τη μεταφορά και το χειρισμό. Οι μονάδες διακίνησης είναι βασικοί οδηγοί δαπανών και χρησιμοποιούνται από τους κατασκευαστές, τους λιανοπωλητές και τους διάφορους φορείς παροχής υπηρεσιών όπου εμπλέκονται θέματα μεταφοράς, αποθήκευσης, χειρισμού και συσκευασίας, τα οποία όλα μαζί, αντιπροσωπεύουν το 12-15% της τιμής των λιανικών πωλήσεων. Η ανάπτυξη των αποδοτικότερων μονάδων διακίνησης είναι κρίσιμη για την επιτυχία μιας επιχείρησης διακίνησης και υπολογίζεται για να μειώσει την τιμή των λιανικών πωλήσεων κατά 1.2%.



Ένα αποδοτικό πρόγραμμα μονάδων διακίνησης συνδράμει σημαντικά στην ολοκλήρωση των αλυσίδων εφοδιασμού, μέσω της εναρμόνισης των φυσικών πτυχών της αλυσίδας εφοδιασμού. Η παραδοσιακή προσέγγιση στη διαχείριση των αλυσίδων εφοδιασμού ήταν η βελτιστοποίηση του κάθε μέρος, συχνά εις βάρος της συνολικής αποδοτικότητας της αλυσίδας. Χαρακτηριστικά τις παραγωγικές μονάδες έχουν χρησιμοποιήσει τις παλέτες για να βελτιστοποιήσουν τη χρήση χώρου και οι λιανοπωλητές έχουν βελτιώσει τη διαχειριζόμενη παραγωγικότητα με τη χρησιμοποίηση άλλων μέσω όπως κλουβιών κ.α. Αυτή η ξεχωριστή προσέγγιση έχει οδηγήσει σε έναν περιττό, μη προστιθέμενης αξίας χειρισμό, όπου τα φορτία επανασυσκευάζονται ή επανατοποθετούνται σε μέσα διακίνησης εκ νέου, συχνά περισσότερο από 10 φορές, στα διαφορετικά στάδια στη αλυσίδα εφοδιασμού. Το πρόβλημα εντείνεται και από την ευρεία ποικιλία των διαστάσεων των μονάδων διακίνησης σε ολόκληρη την Ευρώπη και φυσικά σε όλο τον υπόλοιπο εμπορικό κόσμο. Υπάρχουν πάρα πολλά πρότυπα και διαφορές από χώρα σε χώρα. Τα καθιερωμένα διεθνή πρότυπα δεν χρησιμοποιούνται πάντα οπότε και απαιτείται ένα ευρέως εφαρμοσμένο, συνεπές στο σύνολο του ευρωπαϊκό πρότυπο. Αυτό θα πρέπει να βασίζεται στην αρχή των δεδομένων διαμόρφωσης το οποίο βελτιώνει εντυπωσιακά τη χρησιμοποίηση του χώρου. Μέσα στην ευρωπαϊκή βιομηχανία η κύρια ενότητα που γίνεται αποδεκτή είναι η παλέτα 600x400 χιλ. και συστήνεται ως βάση για τις διαστάσεις των μονάδων διακίνησης. Αν και η εναρμόνιση των μονάδων διακίνησης είναι βασική στη αλυσίδα εφοδιασμού και στα αναμενόμενα αποτελέσματα ολοκλήρωσης και σημαντικής βελτίωσης της, εξακολουθεί να υπάρχει ένα ευρύ φάσμα διαστάσεων δευτερογενούς συσκευασίας λόγω του μεγέθους των πρωτογενών προϊόντων. Αυτό προσθέτει επιπλέον στην πολυπλοκότητα τυποποίησης των μονάδων διακίνησης.

Περισσότεροι από 30 διαφορετικοί μεγέθη και τύποι παλετών είναι σε λειτουργία σε ολόκληρη την Ευρώπη. Αυτοί πρέπει να οργανωθούν ορθολογικά σε τέσσερις συνιστώμενες διαστάσεις. Τα συνήθη τρέχοντα ύψη παλετών κάνουν λιγότερο αποδοτική την χρήση των εσωτερικών υψών των οχημάτων διακίνησης. Κατά συνέπεια, απαιτούνται περίπου 15% περισσότερα φορτηγά. Δεδομένου ότι η τεχνολογία οχημάτων αναπτύσσεται και το πρόσθετο εσωτερικό ύψος φορτηγών μπορεί να εξασφαλιστεί, θα μπορούν κατά συνέπεια και τα πρότυπα ύψη παλετών να αυξηθούν ανάλογα με το εσωτερικό ύψος των φορτηγών.

ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΑΠΟ ΤΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΕΚΤΩΝ

Η συμπίεση των συσκευασμένων προϊόντων λαμβάνει χώρα συνήθως κατά την αποθήκευση σε αποθήκες αλλά και τη διανομή των προϊόντων. Η συσκευασία θα πρέπει να είναι σε θέση να αντέχει την επιβάρυνση που θα δεχθεί το κουτί στη βάση ενός σωρού, στη βάση της παλέτας, στη βάση του μέσου μεταφοράς ή της αποθήκης και κάτω από δυσχερείς κλιματικές συνθήκες για ένα μακρύ χρονικό διάστημα.

Δοκιμές

Η αντοχή ενός προϊόντος, της συσκευασίας του ή του συνδυασμού τους, μπορεί να προσδιοριστεί με τη χρήση συγκεκριμένων μηχανών οι οποίες είναι ουσιαστικά υδραυλικές πρέσες μεταξύ των οποίων τοποθετούνται τα υπό δοκιμή αντικείμενα. Τα δύο επίπεδα, στοιχεία, πλάκες, της πρέσας εφαρμόζουν μια συνεχώς αυξημένη δύναμη στο αντικείμενο με την κίνηση του επάνω επιπέδου προς τα κάτω. Οι περισσότερες μηχανές μετράν ταυτόχρονα την δύναμη και την παραμόρφωση (deformation) που αυτή προκαλεί και απεικονίζουν αυτόματα την μεταξύ τους σχέση ως ένα διάγραμμα την οθόνη ενός καταγραφέα (strip chart recorder).

- **Σταθερά και κινούμενα επίπεδα συμπίεσης.** Αν και οι συσκευές μέτρησης της πίεσης και παραμόρφωσης μπορούν να δώσουν μια αρκετά καλή εικόνα της αντοχής σε πίεση ενός αντικειμένου, εν τούτοις δεν μπορούν αν αντιγράψουν επακριβώς το πραγματικό περιβάλλον διότι: α) οι περισσότερες συσκευές είναι σταθερών επιπέδων, δηλαδή τα δύο άκρα παραμένουν οριζόντια και παράλληλα μεταξύ τους καθ' όλη την διάρκεια της δοκιμής. Εάν οι γωνίες του υπό έλεγχο κιβωτίου δεν είναι του ίδιου ύψους, τότε η ψηλότερη γωνία θα έχει την πρώτη και την καλύτερη επαφή με τις πλάκες και άρα θα δεχθεί το σύνολο της πίεσης μέχρι και η επόμενη σε ύψος γωνία, να έρθει σε επαφή με τα επίπεδα, πράγμα που θα συμβεί με την συμπίεση λόγω βάρους της ψηλότερης γωνίας, και ούτω καθεξής. Στην πραγματικότητα όμως όλες οι γωνίες δέχονται το ίδιο βάρος ταυτόχρονα. Για την καλύτερη και αντιπροσωπευτικότερη περιγραφή της κατάστασης υπάρχουν οι μηχανές με τα κινούμενα επίπεδα. Σε αυτή την εφαρμογή το επάνω επίπεδο μπορεί να περιστρέφεται (swiveled) αυτόματα έως ότου έρθει σε επαφή με όλες τις γωνίες του κιβωτίου ταυτόχρονα, πριν την εφαρμογή οποιασδήποτε πίεσης. Αυτό προσομοιάζει την φόρτωση κιβωτίων πιο ρεαλιστικά και επιτρέπει την εξαγωγή ακριβότερων συμπερασμάτων. Γεγονός πάντως είναι ότι οι διαφορές μεταξύ των δύο μεθόδων είναι σχετικά μικρές και κοντά στα όρια λάθους που φυσιολογικά παρατηρούνται σε ανάλογες μετρήσεις χαρτοκιβωτίων.
- **Νεκρό φορτίο.** Η προσδιδόμενη πίεση εφαρμόζεται για να περιγράψει τη σταθερή πίεση την οποία δέχεται ένα χαρτοκιβώτιο σε στοίβαξη. Εάν λοιπόν θέλουμε να εφαρμόσουμε ένα δεδομένο φορτίο σε

ένα χαρτοκιβώτιο, το τοποθετούμε μεταξύ των επιπέδων της μηχανής και αφού αυξήσουμε την δύναμη μέχρι το επιθυμητό επίπεδο, την διατηρούμε σταθερή για το υπόλοιπο χρονικό διάστημα. Στην πράξη όμως η πίεση που εφαρμόζουμε με αυτό τον τρόπο δεν μένει σταθερή αλλά μειώνεται με τον χρόνο λόγω του φαινομένου της «χαλάρωσης». Μετά από λίγα δευτερόλεπτα αφότου η μηχανή σταματήσει στην επιθυμητή πίεση, το φορτίο θα μειωθεί άμεσα κατά μερικά κιλά, και κατόπιν θα συνεχίσει να μειώνεται σταθερά, σταθεροποιούμενο τελικά σε κάποια τιμή. Αυτό συμβαίνει γιατί σταματώντας την μηχανή ουσιαστικά επιβάλλουμε στο κιβώτιο κάποια σταθερή ποσότητα παραμόρφωσης και όχι πίεσης. Αυτό το πρόβλημα παρακάμπτεται με την τοποθέτηση ενός καταμετρητή στη μηχανή με τον οποίο ανά πάσα στιγμή μετράμε την εφαρμοζόμενη πίεση και αυτομάτως ρυθμίζουμε, προσθέτουμε, το ποσό εκείνο που θα φέρει το φορτίο στο επιθυμητό επίπεδο, εξισορροπώντας το χάσιμο λόγω της χαλάρωσης. Σε τελική ανάλυση η βέλτιστη μέθοδος εκτίμησης της αντοχής ενός αντικειμένου σε πίεση είναι να εφαρμόσουμε πάνω του το πραγματικό βάρος και να παρατηρήσουμε το αποτέλεσμα με το χρόνο.

- **Πρότυπα δοκιμών.** Το κύριο πρότυπο για τη δοκιμή χαρτοκιβωτίων είναι το ASTM D-642 (Compression Test for Shipping Containers - Δοκιμή Συμπίεσης για περιέκτες μεταφοράς). Αυτό το πρότυπο συνιστά τη χρήση είτε σταθερών είτε μετακινούμενων πλακών και απαιτεί την εφαρμογή αρχικά 25 kg (50lb) στο κιβώτιο για να εξασφαλιστεί η πλήρης επαφή μεταξύ πλακών και όλων των γωνιών του περιέκτη, πριν την εφαρμογή οποιουδήποτε άλλου φορτίου. Για διπλότοιχα και τριπλότοιχα χαρτοκιβώτια τα αρχικά βάρη είναι αντίστοιχα 50 και 250 kg (100 και 500lb). Ο έλεγχος συνίσταται στην συμπίεση του κιβωτίου μέχρι να αποτύχει στο να αντέχει στο βάρος, και την καταγραφή της δύναμης (kg, lb) και της συσχετιζόμενης παραμόρφωσης (cm, in) μετρούμενη σε σχέση με το αρχικό ύψος.

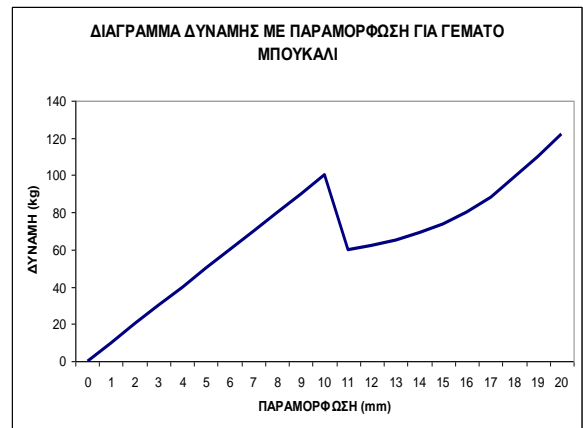
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ – ΣΥΝΕΠΕΙΣ – ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Η αντοχή στη συμπίεση ενός συσκευασμένου προϊόντος ορίζεται ως η δύναμη που απαιτείται ώστε να συμπιεστεί η συσκευασία σε σημείο που να καταρρεύσει, δηλαδή να αποτύχει. Αυτή η τιμή συνήθως συνοδεύεται και από την αντίστοιχη παραμόρφωση. Δηλαδή εάν η αντοχή στην πίεση ενός χαρτοκιβωτίου είναι 250 kg στα 5 cm σημαίνει ότι το χαρτοκιβώτιο θα αποτύχει εάν δεχθεί βάρος 250 κιλών και θα συμπιεστεί κατά 5 εκατοστά. Αποτυχία στη συσκευασία δεν σημαίνει ότι θα αποτύχουν ταυτόχρονα τόσο το κιβώτιο όσο και το συσκευασμένο αντικείμενο. Αποτυχία είναι οποιαδήποτε ποσότητα ζημιάς θεωρείται ως μη αποδεκτή. Αυτό μπορεί να σημαίνει καταστροφή του περιέκτη, καταστροφή του αντικειμένου ή και των δύο. Σε κάθε περίπτωση η συσκευασία θεωρείται κατεστραμμένη.

Δύναμη των επιμέρους στοιχείων της συσκευασίας.

Είναι μερικές φορές πλεονέκτημα να μετρείται η αντοχή του περιέκτη και η αντοχή του συσκευασμένου αντικειμένου χωριστά. Οι ξεχωριστές για τα δύο στοιχεία καμπύλες δύναμης με παραμόρφωση, θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην πρόβλεψη της αντοχής της συνολικής συσκευασίας, αλλά και να προτείνουμε αλλαγές στο σχεδιασμό του κιβωτίου με σκοπό την αύξηση συνολικά της αντοχής της συσκευασίας.

Τυπικό παράδειγμα διαγραμμάτων δύναμης με παραμόρφωση για ένα άδειο κουτί και ένα γεμάτο μπουκάλι παρατίθενται εδώ. Στο πρώτο διάγραμμα της δύναμης με την παραμόρφωση για το άδειο κουτί, αποτυχία περιγράφεται ως κύρτωση όπου μία ή περισσότερες από τις κάθετες άκρες του κιβωτίου θα σπάσει. Το χαρτοκιβώτιο κρατά το σχήμα του μέχρι 13 εκατοστά παραμόρφωση και μετά με βάρος 600 kg, κυρτώνει και σπάει. Αφού τώρα το χαρτοκιβώτιο έχει αδυνατίσει, αρκούν μόνο 200 kg για να το συμπιέσουν στη συνέχεια. Στην περίπτωση της συμπίεσης ενός γεμάτου μπουκαλιού, η κατάσταση είναι διαφορετική, αφού με 100 kg βάρος το μπουκάλι υποχωρεί κατά 11 mm, που εμφανίζεται με μια καμπύλωση συνήθως στην περιοχή του λαιμού. Μετά από αυτό η αντίσταση πέφτει και μετά σταδιακά επανακάμπει μέχρι το μπουκάλι να εκτιναχθεί. Αποτυχία σε κάθε περίπτωση είναι το πρώτο σημάδι καταστροφής η οποία έχει σαν αποτέλεσμα την αλλαγή στην δομική μορφή και την ακεραιότητα του σχήματος του κάθε στοιχείου. Η ευθεία συνάρτηση μεταξύ δύναμης και παραμόρφωσης μέχρι το σημείο της αποτυχίας είναι τυπική συμπεριφορά των υλικών και έτσι θα πρέπει να λαμβάνεται στις δοκιμές.



Αντοχή της συσκευασίας

Η συσκευασία αποτελείται από τον περιέκτη και το συσκευασμένο προϊόν ή προϊόντα. Η αντοχή αυτού του συνολικού συστήματος είναι τελικά αυτό που ενδιαφέρει. Η αντοχή αυτή ορίζεται ως το συνολικό βάρος που θα κάνει είτε το χαρτοκιβώτιο είτε το προϊόν μέσα να αποτύχει, όποιο από τα δύο συμβεί πρώτο. Ο λόγος που συμπεριλαμβάνεται και η αποτυχία του χαρτοκιβωτίου στον ορισμό αυτό είναι ότι το σπασμένο χαρτοκιβώτιο δίνει την εντύπωση ότι και το περιεχόμενο έχει πάθει ζημιά, αν και αυτό δεν είναι απαραίτητο να έχει συμβεί. Για να εκτιμήσουμε την συνολική αντοχή της συσκευασίας μπορούμε να υπολογίσουμε την αποτυχία του κάθε στοιχείου, δηλαδή του προϊόντος και της συσκευασίας, ξεχωριστά. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι η συσκευασία μας αποτελείται από έξι μπουκάλια τα οποία δεν αφήνουν ελεύθερο χώρο μεταξύ αυτών και του επάνω μέρους του κλειστού χαρτοκιβωτίου. Με γνώμονα τα πιο πάνω γραφήματα συμπεραίνουμε ότι σε περίπτωση πίεσης το μπουκάλι θα καταρρεύσει πρώτο αφού αρκεί μόνο 11 mm σε σχέση με τα 12 cm του χαρτοκιβωτίου. Επειδή σε αυτή την περίπτωση το χαρτοκιβώτιο δεν έχει συμπιεστεί κατά τη μέγιστη συμπίεση που μπορεί να αντέξει, η δύναμη που απαιτείται για να το συμπιέσει κατά 11 mm είναι μόνο ένα ποσοστό της συνολικής δύναμης των 600 kg. Και εφ' όσον υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ δύναμης και παραμόρφωσης σε όλη εξέλιξη έως το σημείο της κατάρρευσης, μπορούμε να υπολογίσουμε αναλογικά την δύναμη αυτή ως $0,1/12 = 0,0085$. Η αντοχή στη συμπίεση για όλο το πακέτο λοιπόν θα είναι το συνδυασμένο αποτέλεσμα της αντοχής του καθενός από τα έξι μπουκάλια που εμπεριέχονται σε αυτό συν το $0,0085$ της συνολικής αντοχής του χαρτοκιβωτίου. Έτσι η συνολική αντοχή της συσκευασίας αυτής θα είναι

$$\text{Αντοχή Συμπίεσης, } A\sigma = (100 \times 6) + (0,0085 \times 600) = 605 \text{ kg στα } 11 \text{ mm}$$

Αυτό δείχνει ότι η συσκευασία έχει αποτύχει όταν έχουν αποτύχει τα μπουκάλια μέσα της.

Δεν είναι πάντα αποδεκτό να επιφορτίζουμε το προϊόν με ένα μέρος της συμπίεσης που εφαρμόζεται στην κορυφή του πακέτου. Η φύση του προϊόντος θα καθορίσει και την απόφαση αυτή. Οι μεταλλικοί περιέκτες για παράδειγμα μπορούν να αντέχουν και έτσι να προσδώσουν σημαντική αντοχή στη συσκευασία. Οι γυάλινοι περιέκτες από την άλλη δεν αντέχουν γενικά σε συμπίεση. Οι πλαστικές συσκευασίες μπορούν να φέρουν μέρος του βάρους εάν έχουν αν προσφέρουν σημαντικά στην αντοχή της συσκευασίας και εφ' όσον η συμβολή αυτή κρίνεται απαραίτητη. Αναλόγως σχεδιάζονται και τα χαρτοκιβώτια ώστε να έχουν το βέλτιστο κενό. Αλλιώς, τα πλαστικά δεν χρησιμοποιούνται γι' αυτό το λόγο, επιτρέποντας οικονομία στα υλικά του χαρτοκιβωτίου όπως περιεγράφηκε πιο πάνω.

Οι οπές στα χαρτοκιβώτια μειώνουν κατά μέσο όρο γύρω στο 20% την αντοχή του χαρτοκιβωτίου. Κατασκευές από κυματοειδές χαρτόνι, εσωτερικά διαχωριστικά και άλλες προσθήκες μπορούν να αυξήσουν την αντοχή του χαρτοκιβωτίου σε πίεση καθώς προσφέρουν μεγαλύτερη επιφάνεια για την υποστήριξη του βάρους, αν και η περίμετρος του χαρτοκιβωτίου είναι αυτή που παρέχει την μεγαλύτερη υποστήριξη. Θεωρητικά, από την συνολική περίμετρο του χαρτοκιβωτίου τα 2/3 του βάρους υποστηρίζονται από τις τέσσερις γωνίες και μόνο το υπόλοιπο 1/3 σηκώνεται από τις τέσσερις πλευρές. Αυτό μπορεί να εξηγήσει και την μείωση της αντοχής κατά 20% που παρατηρείται με την δημιουργία οπών. Αφού οι τέσσερις πλευρές υπομένουν το 1/3 της πίεσης, δύο οπές στις απέναντι πλευρές θα αφαιρούσαν την υποστήριξη αυτών των πλευρών, αθροίζοντας την απώλεια σε $1/6 = 17\%$. Πιθανόν, το πιο βασικό κριτήριο σχεδιασμού για την μεγιστοποίηση της αντοχής ενός χαρτοκιβωτίου σε κάθετη πίεση είναι το να είναι παράλληλες οι πλευρές του. Από εκεί και μετά υπάρχουν και οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή, αλλά βρίσκονται εκτός της περιοχής ελέγχου του κατασκευαστή.

Κλιματικοί παράγοντες

Ασφαλές ύψος στοίβαξης. Η αντοχή σε κάθετη πίεση ενός περιέκτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην εκτίμηση της συμπεριφοράς κατά τη στοίβαξη σε μια αποθήκη ή σε ένα μεταφορικό μέσο. Το αριθμός των κιβωτίων που μπορούν να τοποθετηθούν σε μια στοίβα, καθορίζεται από την συνθήκη κατά την οποία η στοίβα αποτυγχάνει όταν το συνολικό βάρος που υπάρχει πάνω από το κουτί στη βάση υπερβαίνει το συνολικό βάρος που αυτό μπορεί να αντέξει. Εάν για παράδειγμα η αντοχή σε κάθετη πίεση είναι 1200 kg στα 12 cm και κάθε κουτί ζυγίζει 70 kg, ο μέγιστος αριθμός χαρτοκιβωτίων θα είναι $1200/70 + 1 = 18$ κουτιά, όπου 16 κουτιά βάρους 1120 kg, τοποθετούνται πάνω στο 17^ο χαρτοκιβώτιο της βάσης. Εάν τα 1120 kg κιλά είναι κάτω από την αντοχή του χαρτοκιβωτίου κατά λιγότερο από 70 kg δεν υπάρχει πρόβλημα. Εάν είναι κατά περισσότερο από 70 kg, τότε μπορεί να προστεθεί επιπλέον αριθμός σειρών όσο το επιπλέον δια του 70.

Το εάν 17 σειρές είναι τελικά χρήσιμο ή δυνατόν να γίνουν εξαρτάται από το ύψος των διαθέσιμων παλέτα-θέσεων των αποθηκών, το ύψος του ωφέλιμου χώρου των μέσων μεταφοράς, τον όγκο και το βάρος της συσκευασίας ώστε να μπορεί να διαχειριστεί από το προσωπικό χωρίς εργονομικά προβλήματα, κ.λπ.

Στην περίπτωση που το χαρτοκιβώτιο βάσης μπορεί να αντέξει 16 χαρτοκιβώτια αλλά λόγω κάποιου άλλου παράγοντα θα πρέπει να τοποθετηθούν λιγότερα, τότε το σύστημα κερδίζει κατά ένα παράγοντα ασφαλείας ίσο με το λόγο του 16 προς τον τελικό αριθμό της στοίβας. Π.χ. εάν τελικά τοποθετηθούν 7 χαρτοκιβώτια, ο παράγοντας ασφαλείας θα είναι $16/7 = 2,28$. Μένει να εκτιμηθεί εάν αυτός ο παράγοντας είναι ικανός να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις σε αντοχή που δημιουργούνται από την παρουσία κλιματικών και άλλων παραγόντων οι οποίοι υποβαθμίζουν ανάλογα την αρχική αντοχή του χαρτοκιβωτίου, αλλάζοντας τα όρια ασφαλούς στοίβαξης.

Παράγοντες κιβωτίου.

Οι πιο σημαντικές εξωτερικές επιδράσεις που επηρεάζουν την αντοχή του χαρτοκιβωτίου είναι

- α) η υγρασία,
- β) ο χρόνος και
- γ) ο τρόπος στοίβαξης.

Η παρουσία υγρασίας μειώνει την αντοχή του χαρτοκιβωτίου, καθώς το χαρτί απορροφά την υγρασία και χάνει την στιβαρότητα του. Το χαρτοκιβώτιο επίσης αδυνατίζει με το χρόνο με τρόπο ανάλογο του φαινομένου της «χαλάρωσης» που περιγράφηκε στην δοκιμή αντοχής των χαρτοκιβωτίων. Ο τελευταίος παράγοντας που επηρεάζει την αντοχή είναι ο τρόπος στοίβαξης. Μία στοίβα από όμοια κουτιά τοποθετημένα κατακόρυφα με τέλεια ευθυγράμμιση ώστε να σχηματίζουν μια κολώνα όπου όλες οι γωνίες βρίσκονται στην ίδια ευθεία, θα επιδείξει πολύ μεγαλύτερη αντοχή από μια στοίβα όπου οι γωνίες δεν είναι ευθυγραμμισμένες αλλά βρίσκονται πάνω από τις πλευρές του υποκείμενου κιβωτίου. Αυτό συμβαίνει γιατί οι γωνίες του κιβωτίου επιδεικνύουν πάντα μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με τις πλευρές του. Ανάλογο αποτέλεσμα παρατηρείται και στην περίπτωση τοποθέτησης μεικτών, δηλαδή ανομοιόμορφου σχήματος χαρτοκιβωτίων όπου δεν είναι δυνατή η τέλεια ευθυγράμμιση των γωνιών. Λαμβάνοντας υπ όψη τα πιο πάνω, η πραγματική αντοχή ενός χαρτοκιβωτίου δίνεται από την σχέση

$$\text{Πραγματική αντοχή χαρτοκιβωτίου} = (\text{αντοχή από εργαστηριακές δοκιμές}) \times \text{Χρόνο} \times \text{Υγρασία} \times \text{Τρόπο στοίβαγματος}$$

Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D-642, οι εργαστηριακές δοκιμές θα πρέπει να γίνονται σε σταθερές συνθήκες των 23°C (73°F) και 50% σχετικής υγρασίας (RH). Έτσι για σχετική υγρασία 50% ο σχετικός παράγοντας στην πιο πάνω σχέση θα έχει την τιμή 100%. Οι παράγοντες του κουτιού για κάποιες άλλες συνθήκες παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα.

| ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΧΡΟΝΟΣ | | ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΥΓΡΑΣΙΑ | | ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΣΤΟΙΒΑΞΗ | |
|-------------------|------|--------------------|------|---------------------|------|
| ΔΙΑΡΚΕΙΑ | ΤΙΜΗ | RH | ΤΙΜΗ | ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ | ΤΙΜΗ |
| Μικρή | 100% | Ξερό | 125% | Τέλεια | 100% |
| 10 μέρες | 65% | 25% | 110% | Ακανόνιστη | 50% |
| 30 μέρες | 60% | 50% | 100% | | |
| 100 μέρες | 55% | 75% | 80% | | |
| 1 χρόνος | 50% | 85% | 60% | | |
| | | 90% | 50% | | |

Συντελεστής ασφάλειας (f)

Η φιλοσοφία πίσω από τον πολλαπλασιασμό του αναμενόμενου βάρους με ένα συντελεστή ασφαλείας, δεν σχετίζεται τόσο με την πιθανότητα το συσκευασμένο προϊόν να δεχθεί τόσο βάρος, όσο με την επίδραση της υγρασίας, του χρόνου, του τρόπου στοιβάξης και την επίδραση της δόνησης κατά τη μεταφορά, τα οποία θα αδυνατίσουν τη συσκευασία με το ανάλογο ποσοστό. Έτσι λοιπόν είναι λογικό το να αναγκάζουμε ένα καινούργιο πακέτο να αντέξει F φορές το αναμενόμενο φορτίο, $W(H-h)/h$, να προσομοιάζει με την περίπτωση του να τοποθετούμε το αναμενόμενο φορτίο σε ένα συσκευασμένο προϊόν το οποίο έχει αδυνατίσει F φορές. Άρα ο συντελεστής ασφαλείας F θα πρέπει να σχετίζεται με τους προαναφερθέντες παράγοντες περιβάλλοντος. Εφόσον η εργαστηριακά υπολογιζόμενη αντοχή σε πίεση ενός περιέκτη μειώνεται με της επίδραση των διάφορων παραγόντων του περιβάλλοντος, ή κατά F φορές, η σχέση μεταξύ των δύο διαφορετικών προσεγγίσεων που περιγράφηκαν θα πρέπει να είναι περίπου

$$F = 1 / \text{Χρόνο} \times \text{Υγρασία} \times \text{Τρόπο στοιβάγματος}$$

| ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΕΡΙΕΚΤΗ | ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ | | |
|--|-------------------|-----|-----|
| | I | II | III |
| Κυματοειδές χαρτόνι, χαρτόνι ή πλαστικός περιέκτης με ή χωρίς προϊόν που να αντέχει κάποια πίεση και το προϊόν δεν υποστηρίζει καθόλου πίεση | 8,0 | 4,5 | 3,0 |
| Κυματοειδές χαρτόνι, χαρτόνι ή πλαστικός με εσωτερικά προϊόντα που αντέχουν σε κάποια πίεση, κατασκευασμένα από σταθερά πρόσθετα κομμάτια ή ξύλινα | 4,5 | 3,0 | 2,0 |
| Περιέκτες φτιαγμένοι από υλικά εκτός του κυματοειδούς χαρτονιού, χαρτόνι ή πλαστικό τα οποία δεν παρουσιάζουν ευαισθησία στη θερμοκρασία ή την υγρασία ή το προϊόν μπορεί να δεχθεί και να υποστηρίξει κάποια άμεσα εφαρμόσιμη πίεση | 3,0 | 2,0 | 1,5 |

Οι συντελεστές ασφαλείας F είναι για γενική χρήση (συνήθως άγνωστες ή ποικίλες συνθήκες) και γι' αυτό αντιπροσωπεύουν το συνδυασμένο αποτέλεσμα των συνθηκών του περιβάλλοντος που τυπικά αντιμετωπίζουν τα συσκευασμένα προϊόντα κατά την διακίνηση τους.

Σχεδιασμός δευτερογενούς περιέκτη

Το πρώτο βήμα στην επιλογή ενός δευτερογενούς περιέκτη για ένα προϊόν καθορίζεται από τον σκοπό χρήσης του σε σχέση με την ποσότητα που θα τοποθετηθεί σε αυτό και την προστασία που απαιτείται. Το μέγεθος και το βάρος που θα φέρει το χαρτοκιβώτιο θα καθορίσει και την απαιτούμενη αντοχή του. Η ευθραυστότητα του προϊόντος θα καθορίσει την προστασία που απαιτείται έναντι των διάφορων περιβαλλοντικών κινδύνων στους οποίους θα εκτεθεί, ενώ η σύσταση του προϊόντος θα οδηγήσει στην επιλογή επιπλέον μέτρων ασφαλείας από διαρροές και λοιπές κακές διαχειρίσεις.

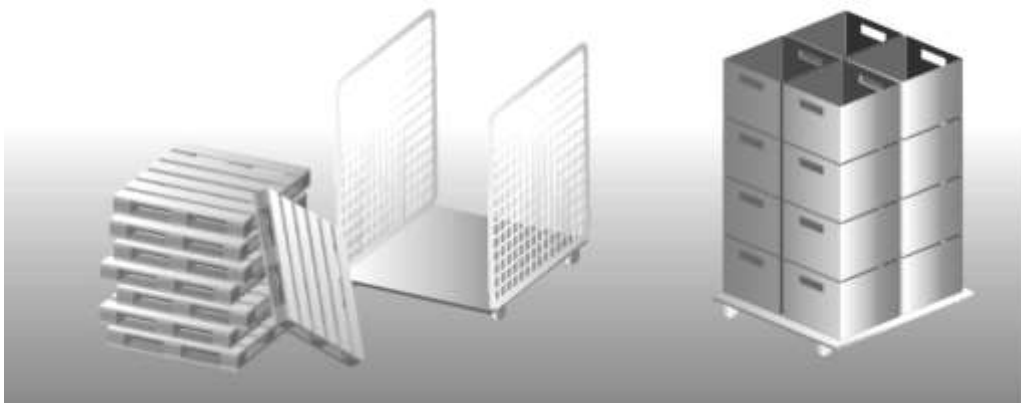
Ο τρόπος με τον οποίο θα τοποθετηθούν τα χαρτοκιβώτια, θα διαμετακομιστούν και θα αποθηκευτούν μπορεί επίσης να επηρεάσουν το βαθμό προστασίας και αντοχής των χαρτοκιβωτίων που θα επιλεγούν.

- **Σχέδιο δευτερογενούς περιέκτη.** Τα πλέον χρησιμοποιούμενα χαρτοκιβώτια σήμερα είναι τα RSC (regular slotted cases), χαρτοκιβώτια με αναδιπλούμενα φύλλα στο επάνω και κάτω μέρος για να κλείνουν, ορθογώνια παραλληλόγραμμα στην τελική τους μορφή που κλείνουν με την εφαρμογή συνήθως κολλητικής ταινίας. Για περισσότερη προστασία χρησιμοποιούνται περιέκτες με διπλό πάτο ή αλληλεπικαλυπτόμενα πτερύγια κλεισίματος, επιπλέον εσωτερικές κυψέλες και λοιπά εσωτερικά τα οποία χαρίζουν πέρα από την αντοχή και σταθερότητα κατά την μεταφορά. Ανοίγοντας τα χαρτοκιβώτια αυτά μόνο από το επάνω μέρος τους, μπορούμε να αφαιρέσουμε τα προϊόντα και να ξαναχρησιμοποιήσουμε το χαρτοκιβώτιο για μία ή περισσότερες ακόμα φορές (επιστρεφόμενα χαρτοκιβώτια). Εάν η επιλογή της εταιρίας είναι προς αυτή την κατεύθυνση, θα πρέπει να γίνεται ιδιαίτερη ενημέρωση ώστε να επιτευχθεί ο τεκμηριωμένος οικονομικότερος σχεδιασμός και επιλογή υλικών για αυτή την εφαρμογή.
- **Μέγεθος δευτερογενούς περιέκτη.** Σε πολλές περιπτώσεις είναι δυνατή η προμήθεια χαρτοκιβωτίων δεδομένων διαστάσεων από τη γκάμα επιλογής του προμηθευτή, ώστε να μην οδηγούμαστε σε σχεδιασμό ιδιαιτέρων για την περίπτωση χαρτοκιβωτίων, που αυξάνουν το κόστος και μειώνουν την ευκολία παραγγελιών και παραδόσεων. Σε κάθε περίπτωση, η επιλογή θα πρέπει να γίνεται με γνώμονα την προστασία των προϊόντων αλλά και λοιπά εργονομικά στοιχεία χειρισμού των κιβωτίων, ειδικά στην περίπτωση χειρωνακτικών χειρισμών. Σε περιπτώσεις αλλαγής των διαστάσεων θα πρέπει να ρυθμίζονται ανάλογα και οι όποιες μηχανές από τις οποίες διέρχεται το χαρτοκιβώτιο, ενώ για υψηλής απόδοσης και άρα και για αποδεδειγμένα οικονομικό όφελος, θα πρέπει να εξετάζεται και η αγορά νέων μηχανών.

- **Υλικά.** Τα χαρτοκιβώτια αυτά κατασκευάζονται συνήθως από κυματοειδές χαρτόνι τοποθετημένο ανάμεσα σε δύο επίπεδα φύλλα. Η πληθώρα επιλογών σε υλικά και σχέδια κυματοειδούς χαρτονιού για την επίτευξη των επιθυμητών ιδιοτήτων τους, κάνει αυτά τα υλικά ιδιαίτερα δημοφιλή. Για αυξημένη αντοχή μπορούν να συνδυαστούν δύο ή και σε πιο σπάνιες περιπτώσεις απαιτήσεων εξαιρετικής αντοχής, περισσότεροι κυματοειδείς σχηματισμοί σε ένα χαρτοκιβώτιο. Αυτό μειώνει την ικανότητα χειρισμού τους από αυτοματοποιημένες μηχανές, οι οποίες απαιτούν ιδιαίτερους χειρισμούς, ρυθμίσεις και προσοχή κατά την λειτουργία τους, καθώς τα χαρτοκιβώτια αυτά γίνονται πιο σκληρά, δύσκαμπτα και δύσκολα στο να πάρουν και να κρατήσουν το τελικό τους σχήμα. Σε γενικές γραμμές μεγάλα κύματα προσδίδουν μεγαλύτερη αντοχή στην κάθετη πίεση όπως κατά την στοίβαξη, ενώ μικρότερα δίνουν μεγαλύτερη αντοχή σε πλαϊνή πίεση, όπως κατά την εκτύπωση. Ένας συνδυασμός για την απόκτηση και των δύο ιδιοτήτων είναι η χρήση κυματοειδούς χαρτονιού με μεγάλα κύματα εσωτερικά και μικρά εξωτερικά, καταλήγοντας έτσι σε ένα πεντάφυλλο χαρτόνι. Τέλος, για να αυξηθεί η αντοχή τους σε υγρασία, τα χαρτοκιβώτια επικυρώνονται εξωτερικά, ή χρησιμοποιούνται «παρθένα» δηλαδή μη-ανακυκλωμένα υλικά μεγαλύτερης αντοχής στην απορρόφηση υγρασίας ή και λουπά χημικά.
- **Κλείσιμο.** Η τεχνική που θα επιλεγεί για το κλείσιμο των χαρτοκιβωτίων μπορεί να προσδώσει επιπλέον δύναμη αλλά και να προστατεύσει το προϊόν αλλά και να είναι εύκολα χρησιμοποιούμενα από τους διαχειριστές τους σε όλη την εφοδιαστική αλυσίδα. Έτσι, μπορούν κολληθούν με κατάλληλες κόλλες, θερμές ή ψυχρές, πράγμα που δεν κλείνει το κενό ανάμεσα στα πτερύγια πράγμα το οποίο επιτυγχάνεται με τη χρήση κολλητικών ταινιών κατά μήκος των ανοιγμάτων αυτών, ενώ σε πιο βαριά χαρτοκιβώτια μπορούν να χρησιμοποιηθούν δέστρες ή συνδετήρες.

ΤΡΙΤΟΓΕΝΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ.

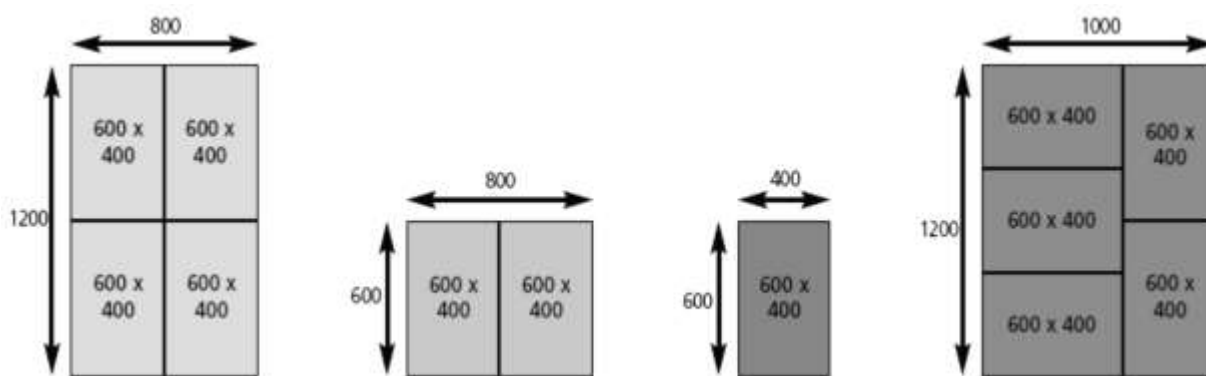
Η τριτογενής συσκευασία είναι «η συσκευασία που δημιουργείται ώστε να διευκολυνθούν ο χειρισμός και η μεταφορά των διάφορων μονάδων πώλησης ή η οποιαδήποτε ομαδοποιημένη συσκευασία η οποία έχει σαν στόχο να αποτρέψει την φυσική ζημία λόγω χειρισμού και μεταφορών. Η συσκευασία διακίνησης δεν περιλαμβάνει τα εμπορευματοκιβώτια μεταφοράς σε ξηρά, θάλασσα και αέρα» (94/62/EC), αλλά περιλαμβάνει τις παλέτες, τα κυλιόμενα κλουβιά, τα χάρτινα παλετο-φύλλα, τα παλετοκιβώτια και τις παλέτες τοποθέτησης προϊόντων για πώληση σε αυτές (επίδειξης). Η τριτογενής συσκευασία συνενώνει τις ποσότητες των δευτερογενών ή πρωτογενών συσκευασιών για να διευκολυνθούν οι δραστηριότητες της εφοδιαστικής αλυσίδας όπως η λήψη, η αποθήκευση, η φόρτωση, η μεταφορά και η αποστολή, χρησιμοποιώντας εξοπλισμό όπως περνοφόρα οχήματα, φορτηγά, και άλλα, και παρέχουν την απαιτούμενη προστασία και σταθερότητα κατά τη μεταφορά. Εντούτοις, η τριτογενείς συσκευασίες από μόνες τους καταλαμβάνουν πολύτιμο χώρο και βάρος, μειώνοντας έτσι τον αριθμό των δευτερογενών συσκευασιών που θα μπορούσαν να μεταφερθούν ή να αποθηκευτούν.



Οι τριτογενείς συσκευασίες προσφέρουν μια σημαντική δυνατότητα για συνολική αποταμίευση χρημάτων και αποτελούν βασικά σημεία των ολοκληρωμένων λύσεων στις αλυσίδες εφοδιασμού. Η παλέτα είναι η κύρια μορφή τριτογενούς συσκευασίας που χρησιμοποιείται σε ένα εργοστάσιο, με δεύτερα τα καρότσια. Τα κυλιόμενα κλουβιά ρόλων είναι κυρίαρχα στο λιανικό μέρος της αλυσίδας εφοδιασμού. Εντούτοις, οι εξελίξεις στο χώρο της αποτελεσματικότερης διακίνησης, όπως το αποδοτικό ξαναγέμισμα των ραφιών, οδήγησε σε νέες λύσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού, ακόμα και στη περίπτωση διακίνησης μεταξύ διαφορετικών χωρών και εμπορικών διαδρομών.

- **Παλέτες.** Σήμερα, στην Ευρώπη, υπάρχουν περίπου 320 εκατομμύρια παλέτες σε κυκλοφορία, με περισσότερους από 30 διαφορετικούς τύπους και μεγέθη παλετών. Οι ακόλουθες οδηγίες καλύπτουν διαστάσεις, προεξοχές, μεικτό ύψος (φορτίο συν παλέτα), βάρος φορτίων, και ύψος των ίδιων των παλετών.
- **Διαστάσεις παλετών.** Ο ευρωπαϊκός πληθυσμός των παλετών πρέπει να οργανωθεί ορθολογικά, πράγμα που συμφωνήθηκε να γίνει στη βάση των κύριων διαστάσεων 600x400 mm, την μισή ευρωπαϊκά, 800x600 mm. και το τέταρτο της ευρωπαϊκά 600x400 mm (χρησιμοποιείται κυρίως για αυτούσια τοποθέτηση), Η βιομηχανική παλέτα βιομηχανίας 1200x1000 mm επίσης συνιστάται καθώς τα πλεονεκτήματα της χρήσης της περιλαμβάνουν τα μεγαλύτερα φορτία, την αποδοτικότητα της διαχείρισης και το ότι επιτρέπει την σταθερή τοποθέτηση παλετών 300x400 mm.

Αν και αναγνωρίζεται ότι η χρήση της μισής βιομηχανικής παλέτας σε μια υποδομή που σχεδιάζεται για τη χρήση της πλήρους βιομηχανικής παλέτας έχει κάποια πλεονεκτήματα στην αποδοτικότητα της διαχείρισης, η μισή παλέτα δεν είναι μια συνιστώμενη διάσταση, κυρίως επειδή η μισή παλέτα είναι ασυμβίβαστη με παλέτες 400x600 mm. Επιπλέον, τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν ήδη για την πλήρη βιομηχανική παλέτα δεν ισχύουν για τη μισή. Συστήνονται τέσσερις διαστάσεις παλετών: 1200x800, 800x600, 600x400 και 1200x1000mm.



- **Προεξοχές παλετών.** Αποτελούν μια βασική αιτία ζημίας των προϊόντων καθώς τα φορτία που προεξέχουν από τις άκρες των παλετών μπορεί να καταστραφούν από τα μηχανήματα χειρισμού δημιουργώντας προβλήματα στις αυτοματοποιημένες διαδικασίες χειρισμού των παλετών και της φόρτωσης των οχημάτων. Σε αυτή την βάση επομένως συστήνεται μηδενική προεξοχή του φορτίου από τις παλέτες
- **Ύψος παλετών.** Το ύψος μιας παλέτας - φορτίο συν την παλέτα - καθώς κινείται μέσω της αλυσίδας εφοδιασμού είναι ένα βασικό στοιχείο κόστους. Ποικίλοι παράγοντες και περιορισμοί καθορίζουν το ύψος των παλετών ενώ έχει προσδιοριστεί και η ανάλογη σημασία τους και ο αντίκτυπος τους σε μια ολοκληρωμένη αλυσίδα εφοδιασμού, και πιο συγκεκριμένα στην μεταφορά, την επιλογή της διάταξης του φορτίου, των ραφιών αποθήκευσης, των δαπανών συσκευασίας και των διαδικασιών λειτουργίας των καταστημάτων. Πιο αναλυτικά, η μεταφορά είναι ο βασικός παράγοντας κόστους και λόγω της προκαλούμενης από αυτή ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλείται κυρίως από τις οδικές μεταφορές, οπότε η βελτιστοποίηση του ωφέλιμου όγκου των φορτηγών είναι κυρίαρχης σημασίας. Το ύψος των παλετών πρέπει να προέλθει σε αναλογία με το εσωτερικό ύψος τους φορτηγού ώστε να μεγιστοποιηθεί το ύψος χρήσης. Είναι σύνηθες το φαινόμενο τα τρέχοντα ύψη των παλετών να είναι βασισμένα σε προηγούμενα χαμηλότερου ύψους οχήματα. Σαν συνέπεια αυτού, απαιτούνται 15% πρόσθετα φορτηγά στους ευρωπαϊκούς δρόμους. Το τυπικό διαθέσιμο ύψος είναι σήμερα 2400 mm για τυποποιημένα φορτηγά και 2800 έως 3050 mm. για υψηλότερα οχήματα – “high cube”. Δεδομένου ότι πολλά φορτία δεν έχουν περιορισμό βάρους, τα φορτηγά με ύψος π.χ. μέχρι 3050 mm, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για πιο ελαφριά φορτία. Μόλις διαμορφωθεί ένα φορτίο πρέπει να διατηρηθεί όσο το δυνατόν πιο σταθερό κατά το μεγαλύτερο δυνατόν μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας, και επομένως η βελτιωμένη χρησιμοποίηση του όγκου των φορτηγών να μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές περιβαλλοντικές βελτιώσεις. Δεδομένου ότι το ύψος των παλετών αυξάνει την ποσότητα συσκευασιών στην παλέτα, απαιτείται να προστατευθεί το προϊόν και σε ορισμένες περιπτώσεις να οδηγηθούμε σε αυξημένο κόστος λόγω αυτών των αναγκών.

- **Βάρος καθαρού φορτίων παλετών.** Το βάρος του φορτίου των παλετών δεν είναι ένα κρίσιμο θέμα, εκτός από τις περιπτώσεις χειρονακτικής διαχείρισης παλλετών στα ενδιάμεσα σημεία φορτοεκφόρτωσης και στα καταστήματα λιανικής. Οι ακόλουθες συστάσεις έχουν καθιερωθεί για τα μέγιστα βάρη:

| Μέγιστο βάρος παλέτας (kgs) | | |
|--|--|--------------------------|
| Μεμονωμένες Ευρο παλέτες | Στοιβαγμένες Ευρο παλέτες | Άλλες παλέτες: |
| | Ευρο παλέτες | Μεμονωμένες Ευρο παλέτες |
| · 1000 – χωρίς κατανομή φορτίου | · 4000 – για την παλέτα άλλες βάσης και χρήση άλλες άλλες επιφάνειας | Μισή Ευρο 500 2000 |
| · 1500 – ομοιόμορφη κατανομή φορτίου | | Τέταρτο Ευρο 250 750 |
| · 2000 - συμπαγές βάρος, πλήρως κατανεμημένο στην επιφάνεια της παλέτας. | | Βιομηχανική 1250 6000 |

- a) **Ύψος των ίδιων των παλετών.** Τα περισσότερα ύψη των παλετών ποικίλλουν μεταξύ 145 και 162 mm. Καμία οδηγία για τα ύψη αυτά δεν έχει συστηθεί, δεδομένου ότι αυτό μπορεί ενδεχομένως να εμποδίσει την ανάπτυξη των νέων υλικών για παλέτες, π.χ. παλέτες φτιαγμένες από ανακυκλωμένο δευτερογενές υλικό. Οι βιομηχανικές παλέτες είναι περίπου 10 mm υψηλότερες από τις ευρο-παλέτες. Με δεδομένη την ανάγκη βελτιστοποίησης των όγκων μεταφοράς διάφορες επιλογές είναι διαθέσιμες, για να βελτιστοποιήσουν το νεκρό χώρο όπως τα παλέτες-φύλλα ολίσθησης, Ομοίως, μπορούν να σχεδιαστούν παλέτες μισού ύψους για να αντιστοιχούν σε ανάλογου ύψους φορτηγά
- b) **Σταθερότητα των φορτίων.** Η σταθερότητα των φορτίων είναι ουσιαστική στο να αποτρέψει την αποσύνθεση κατά τη διάρκεια του χειρισμού, της αποθήκευσης και της αποστολής τους. Αυτό ελαχιστοποιεί τη ζημία των προϊόντων και απομακρύνει πιθανούς κινδύνους για το προσωπικό. Το ελάχιστο υλικό θα πρέπει να χρησιμοποιείται για την σταθεροποίηση με όσο το δυνατόν «οικολογικότερη» σχέση και θα πρέπει να είναι εύκολο να αφαιρεθεί χωρίς την καταστροφή του προϊόντος.

Μέγιστος αριθμός κιβωτίων σε παλλέτα

Ανεξάρτητα από την τυποποίηση της παλλέτας, ο μέγιστος αριθμός των κιβωτίων ορίζεται ως η επιφάνεια της παλλέτας διά της επιφάνειας του κουτιού.

$$\text{Μέγιστος αριθμός } \chi/\kappa = \text{επιφάνεια παλλέτας} / \text{επιφάνεια } \chi/\kappa = A \times B / L \times W$$

Αυτός ο αριθμός χ/κ δεν σημαίνει ότι είναι και εφικτός αφού υπάρχουν και διαστάσεις που στην πράξη δεν μπορούν να καλύψουν όλη την επιφάνεια λόγω σχήματος και περιορισμών ανά διάσταση. Έτσι υπάρχει κατά περίπτωση και ένας χώρος στην παλλέτα που μένει κενός, μη χρησιμοποιούμενος.

Απόδοση παλλετοποίησης

Η μέτρηση της απόδοσης χρήσης της παλλέτας ορίζεται ως ο πραγματικός αριθμός χ/κ που τοποθετούνται στην παλλέτα με τον θεωρητικά δυνατό αριθμό, δηλαδή

$$\% \text{ χρήση παλλέτας} = \text{συνολική επιφάνεια χαρτοκιβωτίων} / \text{επιφάνεια παλλέτας} \times 100$$

Κατά αναλογία και η χρήση χώρου σε μία παλλέτα μπορεί να οριστεί ως ο πραγματικός όγκος των προϊόντων προς τον συνολικό όγκο της παλλέτας (επιφάνεια X ύψος διαθέσιμης παλλετοθέσης).

$$\% \text{ χρήση χώρου} = \text{όγκος προϊόντων} / \text{όγκος παλλέτας} \times 100.$$

Αυτός ο όρος αναφέρεται και ως πυκνότητα συσκευασίας και είναι ένας επιπλέον όρος απόδοσης του σχεδιασμού της συσκευασίας.

Το σχήμα του προϊόντος, τα προστατευτικά που πιθανά να χρειάζεται γύρω του, το πάχος των χ/κ και λοιπά ορίζουν την απόδοση της συσκευασίας ακόμη πιο χαμηλά λόγω απωλειών χώρου για να υπάρχουν τα απαιτούμενα βοηθητικά στοιχεία.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ

ΒΑΡΟΣ

ΠΛΑΧΟΣ

ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΕΙΔΟΥΣ ΜΕΣΟΥ
ΣΤΗΝ ΕΠΙΠΕΔΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ

ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΛΙΝΕΡ ΣΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ -
ΔΑΚΤΥΛΙΟΣ

ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΕΙΔΟΥΣ ΜΕΣΟΥ
ΣΕ ΔΥΝΑΜΗ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ

ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΛΙΝΕΡ ΣΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ

ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΛΙΝΕΡ
ΣΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ

ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗΝ ΚΑΘΕΤΗ
ΣΥΝΘΛΙΨΗ

ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ

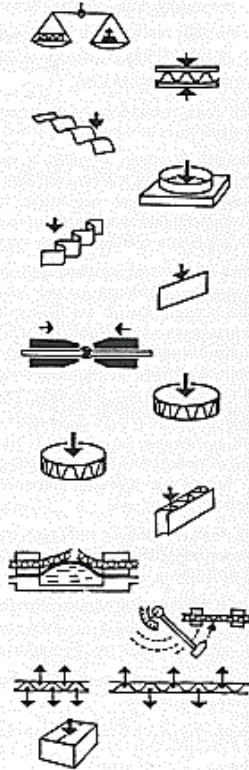
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΥΝΑΜΗ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ
ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΚΥΜΑΤΩΣΗ

ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗ ΔΙΑΡΡΗΣΗ

ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ

ΔΟΚΙΜΗ ΠΡΟΣΦΥΣΗΣ ΤΟΥ ΛΙΝΕΡ

ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΚΙΒΩΤΙΟΥ
ΣΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ



ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΕΙΔΟΥΣ
ΧΑΡΤΙΟΥ ΣΤΗΝ ΚΑΜΨΗ

ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗΝ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΝΕΡΟΥ

ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΟΥ
ΤΡΙΒΗΣ (ΚΕΚΛΙΜ. ΕΠΙΠΕΔΟ)

ΠΟΡΩΔΕΣ

ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ
ΣΤΟ ΝΕΡΟ

FEFCO TEST

LINK TEST

GLUE BOND SHEAR TESTER

ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗ ΣΤΡΕΒΛΩΣΗ

ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΟ ΣΧΙΣΙΜΟ

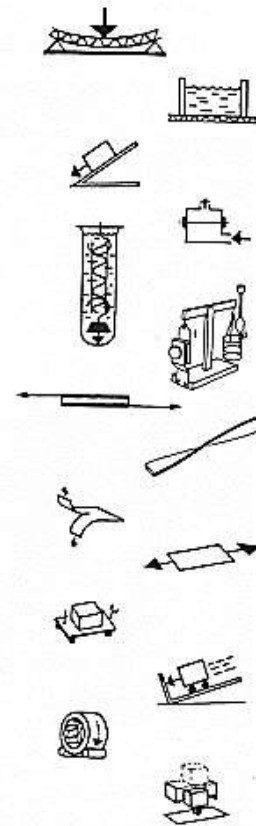
ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΟΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΚΙΒΩΤΙΟΥ
ΣΤΙΣ ΔΟΝΗΣΕΙΣ

ΑΝΤΟΧΗ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗΣ
ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

ΔΟΚΙΜΗ ΣΕ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟ
ΤΥΜΠΑΝΟ

ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗΝ ΠΤΩΣΗ



ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΡΑΜΜΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ

Για την εύρυθμη λειτουργία μιας γραμμής συσκευασίας τα υλικά συσκευασίας που χειριζόμαστε σε κάθε μια από τις μηχανές της γραμμής είναι καθοριστικός και ρυθμιστικός παράγοντας της απόδοσης.

Στις πλέον συνηθισμένες μηχανές υπάρχουν αρκετοί παράγοντες οι οποίοι θα πρέπει να εξετάζονται όταν σχεδιάζεται ή τροποποιείται ένα μπουκάλι, ένα βάζο ή κάποιος παρόμοιος περιέκτης. Σχετίζονται με το σκοπό χρήσης του περιέκτη, τον βαθμό προστασίας που απαιτείται, την εμφάνιση, το κόστος του τελικού προϊόντος, την επιθυμητή ταχύτητα λειτουργίας των μηχανών, την ευκολία χειρισμού, και άλλους σχετικούς παράγοντες. Οι επιλογές αφορούν στην επιλογή του υλικού του περιέκτη, το μέγεθος και το σχήμα του, τον τύπο της μηχανής γεμίσματος που θα χρησιμοποιηθεί, το σχεδιασμό του καπακιού και τη διακόσμηση του περιέκτη. Σε πολλές περιπτώσεις περιλαμβάνεται η χρήση διαθέσιμων μηχανών, η τροποποίηση υπαρχόντων, ή η κάλυψη των αναγκών με νέες. Μια άλλη κατηγορία μηχανών συσκευασίας όπου απαιτείται η προσεκτική επιλογή των υλικών είναι η μηχανές σχηματοποίησης χαρτοκιβωτίων δευτερογενούς συσκευασίας για να γεμιστούν με το τελικό προϊόν, προς μεταφορά και αποθήκευσή του. Ειδικότερα, οι παράγοντες που εμπλέκονται στην επιλογή του υλικού είναι:

- **Η δύναμη και αντοχή του.** Ο περιέκτης θα πρέπει να είναι αρκετά δυνατός ώστε να μπορεί να περιέχει το προϊόν χωρίς να σπάει ή να παραμορφώνεται κατά την διάρκεια των διεργασιών της συσκευασίας. Οι εύκαμπτοι περιέκτες προτιμώνται στην περίπτωση που το προϊόν για να χρησιμοποιηθεί απαιτείται να πιεστεί ο περιέκτης, ο οποίος και θα πρέπει να είναι σχεδιασμένος ανάλογα για αυτόν τον σκοπό. Αυτή η ευκολία κάμψης των τοιχωμάτων του περιέκτη όμως, μπορεί να προκαλέσει προβλήματα κατά το γέμισμα ή την εφαρμογή της ετικέτας επάνω του. Περιέκτες με βάρος πέραν του απαραίτητου είναι πιο ακριβοί, τόσο σαν υλικό, όσο και κατά το κόστος μεταφοράς τους, ή κατά τον χειρισμό τους στις γραμμές συσκευασίας.
- **Ποικιλομορφία σχημάτων και μεγεθών.** Γραμμές συσκευασίας όπου το προϊόν τοποθετείται στους περιέκτες βάσει όγκου του, δεν θα αποδίδουν ομοιόμορφα γεμάτο προϊόν εάν οι περιέκτες δεν είναι ομοιόμορφου και σταθερού σχήματος και μεγέθους. Διαφορές θα έχουν σαν αποτέλεσμα η γραμμή πλήρωσης να μετακινείται πάνω κάτω από περιέκτη σε περιέκτη, πράγμα που πέραν από την εμφάνιση, επηρεάζει την επιλογή του καταναλωτή ειδικά σε πιο ακριβά προϊόντα.
- **Χαρακτηριστικά φραγμών των υλικών.** Κάποια προϊόντα απαιτούν περιέκτες ο οποίοι θα τα προστατεύουν από το φως, άλλα από την υγρασία ή/και το οξυγόνο ή άλλες συνθήκες. Έτσι, τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν οφείλουν να έχουν ανάλογες ιδιότητες φραγμού αυτών των περιβαλλοντικών παραγόντων.
- **Διαφάνεια.** Η ιδιότητα των υλικών αυτών επιλέγεται με βάσει την οπτική του προϊόντος που απαιτείται όπου για να φαίνεται το προϊόν επιλέγονται διαφανείς περιέκτες ενώ στην περίπτωση ανάγκης προστασίας από το φως, ή πλήρους κάλυψης με ετικέτες, επιλέγονται λιγότερο διαφανείς ή και πλήρως αδιαφανείς περιέκτες.
- **Χαρακτηριστικά της επιφάνειας.** Η επιφάνεια σε μερικά υλικά μπορεί εύκολα να χαραχθεί, μπορεί να μην είναι εύκολο να εκτυπωθεί καθώς δεν κατακρατείται το μελάνι σε αυτή, ή δεν έχουν σωστή εφαρμογή οι κόλλες. Για να αποκτήσουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά, οι επιφάνειες αυτές μπορούν να επεξεργαστούν με ειδικούς τρόπους και να μπορούν έτσι να χρησιμοποιηθούν στην επιλεγμένη εφαρμογή.
- **Σχεδιασμός του περιέκτη.** Το χαρακτηριστικό σχέδιο του κάθε περιέκτη αποσκοπεί στο να τον κάνει ελκυστικό και μοναδικό στα μάτια του καταναλωτή, αλλά δεν θα πρέπει να το κάνει ταυτόχρονα και πιο δύσκολο στους χειρισμούς στις γραμμές παραγωγής. Τα χαρακτηριστικά αυτά θα πρέπει να εξετάζονται σε συνδυασμό και με το κόστος, τις διαθέσιμες μηχανές και την ταχύτητα λειτουργίας τους. Ακόμα, ένα τετραγωνισμένο ή στρόγγυλο μπουκάλι είναι πιο εύκολα να περάσει στις γραμμές από ότι ένα οβάλ ή άλλου πιο ακαθόριστου σχήματος, όπου απαιτούνται ειδικές λαβίδες και οδηγοί ώστε να κρατηθεί ο περιέκτης σε σωστή και σταθερή θέση κατά την διεργασία της συσκευασίας. Χειρολαβές και συστήματα παροχής του προϊόντος, όπως λαίμοι ιδιαίτερου σχεδίου ή τοποθέτησης στον περιέκτη, μπορεί να απαιτούν ειδικούς χειρισμούς και προσανατολισμό τους, ενώ κατά περίπτωση ή λαβές μπορεί να διευκολύνουν τον χειρισμό δίνοντας σημεία κρατήματος και ευκολότερης διαχείρισης.
- **Σταθερότητα.** Κάποια χαρακτηριστικά προκαλούν μικρότερη σταθερότητα στον χειρισμό του περιέκτη, όπως τα πολύ ψηλά και λεπτά μπουκάλια, ειδικά τα χαμηλού βάρους, ανάλογου σχεδιασμού καπάκια και άλλα είναι σχετικά παραδείγματα.
- **Τοποθέτηση ετικετών.** Για την διεργασία αυτή απαιτείται να είναι διαθέσιμη η ανάλογη επιφάνεια, να είναι σταθερό το μπουκάλι και στην σωστή θέση σε περίπτωση που απαιτείται προσανατολισμένη τοποθέτηση, να είναι καθαρά τα μπουκάλια εξωτερικά από προϊόν ή άλλες ξένες ύλες, να έχει επιλεγεί η

κατάλληλη για την εφαρμογή κόλλα αλλά και υλικό ετικέτας, που να ανταποκρίνεται τόσο στην λειτουργία της μηχανής όσο και στην μετέπειτα διαχείριση του περιέκτη στην εφοδιαστική αλυσίδα.

DRAFT

ΠΟΛΥΜΕΡΗ

Το πλαστικό καλύπτει μια σειρά συνθετικών ή ημισυνθετικών προϊόντων πολυμερισμού. Αποτελούνται από τα οργανικά πολυμερή σώματα συμπύκνωσης ή προσθήκης και μπορούν να περιέχουν άλλες ουσίες για να βελτιώσουν την απόδοση τους ή το κόστος τους. Υπάρχουν λίγα φυσικά πολυμερή σώματα που θεωρούνται γενικά "πλαστικά". Τα πλαστικά μπορούν να διαμορφωθούν σε αντικείμενα, ταινίες ή ίνες. Το όνομά τους προέρχεται από το γεγονός ότι πολλά είναι ελατά, έχοντας την ιδιότητα της πλαστικότητας.

| <u>Plastics</u> | | |
|---|---------------------------------------|--|
| <u>Polyethylene (PE)</u> | <u>Polypropylene (PP)</u> | <u>Polystyrene (PS)</u> |
| <u>Polyethylene terephthalate (PET or PETE)</u> | <u>Polyamide (PA)</u> | <u>Polyester</u> |
| <u>Polyvinyl chloride (PVC)</u> | <u>Polycarbonate (PC)</u> | <u>Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)</u> |
| <u>Polyvinylidene chloride (PVDC)</u> | <u>Polytetrafluoroethylene (PTFE)</u> | <u>Polymethyl methacrylate (PMMA)</u> |
| <u>Polylactic acid (PLA)</u> | | |

Επισκόπηση πολυμερών

Το πλαστικό μπορεί να ταξινομηθεί από πολλές απόψεις, αλλά η συνηθέστερη είναι βάση της σύστασης της «ραχοκοκαλιάς» τους (πολυβινυλικό χλωρίδιο, πολυαιθυλένιο, methacrylate polymethyl και άλλα acrylics, σιλικόνες, πολυουρεθάνια, κ.λπ.). Άλλες ταξινομήσεις περιλαμβάνουν τα θερμοπλαστικά, θερμοσταθεροποιούμενα (thermoset), τα ελαστομερή, τα πλαστικά εφαρμοσμένης μηχανικής, με βάση τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο πολυμερισμού κατά την παραγωγή τους: με προσθήκη, συμπύκνωση ή polyaddition, και της θερμοκρασίας μετάβασης γυαλιού (Tg). Μερικά πλαστικά είναι μερικώς κρυστάλλινα και μερικώς άμορφα στη μοριακή τους δομή, που τους δίνει και ένα σημείο τήξης (η θερμοκρασία στην οποία οι διαμοριακές δυνάμεις έλξης υπερνικούνται) και μια ή περισσότερες μεταβάσεις γυαλιού (θερμοκρασίες επάνω από τις οποίες οι ενδομοριακές δυνάμεις υπερνικούνται). Τα αποκαλούμενα ημικρυστάλλινα πλαστικά περιλαμβάνουν το πολυαιθυλένιο, το πολυπροπυλένιο, το πολυ(βινιλο)-χλωρίδιο, τα πολυαμίδια (νάυλον), τους πολυεστέρες και μερικά πολυουρεθάνια. Πολλά πλαστικά είναι απολύτως άμορφα, όπως το πολυστυρένιο και συμπολυμερή του, methacrylate poly(methyl), και όλα θερμοσκληρυνόμενα (thermosets).

Τα πλαστικά είναι πολυμερή σώματα: μακριές σειρές ατόμων που συνδέονται το ένα με το άλλο. Τα κοινή θερμοπλαστικά κινούνται από μοριακό βάρος 20.000 έως 500.000, ενώ τα θερμοσκληρυνόμενα υποτίθεται ότι έχουν άπειρο μοριακό βάρος. Αυτές οι αλυσίδες αποτελούνται από πολλές μοριακές μονάδες που επαναλαμβάνονται, γνωστές ως "μονάδες επανάληψης". Προερχόμενη από "μονομερή", κάθε πολυμερής αλυσίδα θα έχει πολλές 1000'ς μονάδες επανάληψης. Η μεγάλη πλειοψηφία των πλαστικών αποτελείται από πολυμερή σώματα άνθρακα και υδρογόνου μόνο, ή και με οξυγόνο, άζωτο, χλώριο ή θείο στη βασική αλυσίδα. Η βασική αλυσίδα συνδέει ένα μεγάλο αριθμό μονάδων επανάληψης. Οι διαφορετικές ιδιότητες των πλαστικών προκύπτουν όταν λόγω της βασικής μονάδας επανάληψης και των διαφόρων μοριακών ομάδων που ενώνονται με αυτή για να διαμορφώσουν την πολυμερή αλυσίδα. Αυτή η προσαρμογή στη μοριακή δομή της μονάδας επανάληψης έχει επιτρέψει στα πλαστικά να γίνουν αναπόσπαστο μέρος της ζωής του εικοστού πρώτου αιώνα με την ικανότητα να προσαρμόζουμε τις ιδιότητες του πολυμερούς σώματος ανάλογα με τις ανάγκες μας. Οι άνθρωποι πειραματίστηκαν με τα πλαστικά βασισμένα στα φυσικά πολυμερή σώματα για αιώνες. Στο δέκατο ένατο αιώνα ανακάλυψαν τα πλαστικά βασισμένα στα χημικά τροποποιημένα φυσικά πολυμερή σώματα: Ο Charles Goodyear ανακάλυψε τη θείωση του λάστιχου (1839) και ο Αλέξανδρος Parkes, αγγλικός εφευρέτης (1813-1890) δημιούργησε την πιό πρόωρη μορφή πλαστικού το 1855. Ανάμιξε την πυροξυλίνη, μια μερικώς επεξεργασμένη με νιτρικό οξύ μορφή κυτταρίνης (η κυτταρίνη είναι το σημαντικότερο συστατικό των τοίχων κυττάρων φυτών), με το οινόπνευμα και την καμφορά. Αυτό παρήγαγε ένα σκληρό αλλά εύκαμπτο διαφανές

υλικό, το οποίο κάλεσε "Parkesine." Το πρώτο πλαστικό βασισμένο σε ένα συνθετικό πολυμερές σώμα έγινε από φαινόλη και φορμαλδεΐδη, με τις πρώτες βιώσιμες και φτηνές μεθόδους σύνθεσης που εφευρέθηκαν από τον Leo Hendrik Baekeland το 1909, το προϊόν είναι γνωστό ως βακελίτης (bakelite). Στη συνέχεια το πολύ(βινιλο) χλωρίδιο, το πολυστυρένιο, το πολυαιθυλένιο (polyethene), το πολυπροπυλένιο (polypropene), τα πολυαμίδια (νάυλον), οι πολυεστέρες, τα ακρυλικά (acrylics), οι σιλικόνες, τα πολυουρεθάνια ήταν μεταξύ των πολλών και ποικιλιών πλαστικών που αναπτύχθηκαν και έχουν μεγάλη εμπορική επιτυχία.

Η ανάπτυξη των πλαστικών έχει εξελιχθεί από τη χρήση των φυσικών υλικών στη χρήση των χημικά τροποποιημένων φυσικών υλικών και τελικά στα απολύτως συνθετικά μόρια. Το 1959, στην επιχείρηση Korpers στο Πίτσμπουργκ, της Φιλαδέλφειας μια ομάδα ανέπτυξε το διογκούμενο αφρό πολυστυρολίου. Σήμερα, το υλικό χρησιμοποιείται σε όλο τον κόσμο και στις χώρες που επιθυμούν εύκολο και γρήγορο φαγητό, δηλαδή, οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Ιαπωνία, η Αυστραλία, και η Νέα Ζηλανδία.

Κυτταρίνη-βασισμένα στο πλαστικά: ζελατίνη και τεχνητό μετάξι

Αυτό που έκανε ο Goodyear με τη θείωση ήταν να βελτιώσει τις ιδιότητες ενός φυσικού πολυμερούς σώματος. Το επόμενο λογικό βήμα ήταν να χρησιμοποιηθεί ένα φυσικό πολυμερές σώμα, η κυτταρίνη, ως βάση για ένα νέο υλικό. Οι εφευρέτες ενδιαφέρθηκαν ιδιαίτερα για την ανάπτυξη των συνθετικών υποκατάστατων των φυσικών υλικών που ήταν ακριβά και λίγα, δεδομένου ότι αυτό σήμανε μια κερδοφόρα αγορά προς εκμετάλλευση. Το ελεφαντόδοντο ήταν ένας ιδιαίτερα ελκυστικός στόχος για μια συνθετική αντικατάσταση. Ένας Άγγλος από ονομασμένο τον το Μπέρμιγχαμ Αλέξανδρο Parkes ανέπτυξε ένα "συνθετικό ελεφαντόδοντο", το "ργοκλίπ" το οποίο εμπορεύτηκε με το εμπορικό φίρμα "Parkesine". Το Parkesine έγινε από την κυτταρίνη με το νιτρικό οξύ και έναν διαλύτη. Η κυτταρίνη μετατρεπόταν σε ένα σκληρό, σα φίλνισι υλικό που θα μπορούσε να μορφοποιηθεί με τη θέρμανση. Εντούτοις, τα προϊόντα που έγιναν από Parkesine στρέβλωναν βλώθηκε και πάγιζαν μετά από μια μικρή χρονική περίοδο χρήσης. Ένας αμερικανικός εκτυπωτής και ερασιτέχνης εφευρέτης ο John Wesley Hyatt ανακάλυψε ότι η καμφορά θα έκανε την εργασία πολύ καλύτερα και προχώρησε στο σχεδιασμό ενός μεγάλου μέρους των βασικών βιομηχανικών μηχανημάτων που απαιτήθηκαν για να παραγάγουν πλαστικά υλικά καλής ποιότητας και σε μεγάλη ποσότητα. Δεδομένου ότι η κυτταρίνη ήταν το κύριο συστατικό που χρησιμοποιήθηκε στη σύνθεση του νέου υλικού του, Hyatt το ονόμασε "ζελατίνη". Εισήχθη το 1863. Ένα από τα πρώτα προϊόντα ήταν οδοντικά κομμάτια, και τα σύνολα ψεύτικων δοντιών και αποδείχθηκαν φτηνότερα από τις υπάρχουσες λαστιχένιες οδοντοστοιχίες. Εντούτοις, οι οδοντοστοιχίες ζελατίνης έτειναν να μαλακώσουν όταν ερχόταν σε επαφή με καυτά υγρά, καθιστώντας δύσκολη την κατανάλωση τσαγιού. Τα πραγματικά σημαντικά προϊόντα της ζελατίνης ήταν αδιάβροχα περιλαίμια πουκάμισων, μανσέτες, οι κορσέδες και άλλα. Μέχρι το 1900, η κινηματογραφική ταινία ήταν μια σημαντική αγορά για τη ζελατίνη.

Ενώ τα άτομα που ανέπτυξαν τη ζελατίνη ενδιαφέρθηκαν για την αντικατάσταση του ελεφαντόδοντου, εκείνοι που ανέπτυξαν τις νέες ίνες ενδιαφέρθηκαν για την αντικατάσταση ενός άλλου ακριβού υλικού, το μετάξι. Το 1884, ένας Γάλλος φαρμακοποιός, ο Comte de Chardonny, εισήγαγε ένα ύφασμα βασισμένο στην κυτταρίνη που έγινε γνωστό ως "μετάξι chardonny". Ήταν ένα ελκυστικό ύφασμα, αλλά όπως τη ζελατίνη ήταν πολύ εύφλεκτο, μια ιδιότητα απολύτως απαράδεκτη στον ιματισμό. Μετά από μερικά τρομακτικά ατυχήματα, το μετάξι chardonny αποσύρθηκε από την αγορά. Το 1894, τρεις βρετανικοί εφευρέτες, ο αστυνόμος Charles Cross, ο Edward Bevan, και ο Clayton, κατοχύρωσαν ένα νέο "τεχνητό μετάξι" που ήταν πολύ ασφαλέστερο. Πούλησαν τα δικαιώματα στη γαλλική επιχείρηση Courtauld, η οποία το έβαλε στην παραγωγή το 1905, χρησιμοποιώντας την κυτταρίνη από τον ξύλινο πολτό ως υλικό "αερίου πετροχημικής βιομηχανίας". Το τεχνητό μετάξι, τεχνικά γνωστό ως οξικό άλας κυτταρίνης, έγινε γνωστό με το εμπορικό όνομα "τεχνητή μέταξα", και παρήχθη σε μεγάλες ποσότητες στα μέσα της δεκαετίας του '30, όταν αντικαταστάθηκε από καλύτερα τεχνητά υφάσματα. Παραμένει ακόμα στην παραγωγή σήμερα, συχνά στα μίγματα με άλλες φυσικές και τεχνητές ίνες. Είναι φτηνό και αισθάνεται ομαλό στο δέρμα, αν και είναι αδύνατο όταν υγρανθεί και κάνει εύκολα πτυχές. Μπορούσε επίσης να παραχθεί σε μια μορφή διαφανών φύλλων γνωστή ως "σελοφάν". Το οξικό άλας της κυτταρίνης έγινε το τυποποιημένο υπόστρωμα για τον κινηματογράφο και την ταινία των φωτογραφικών μηχανών, αντί του πολύ εύφλεκτου προκατόχου του.

Bakelite (φαινολικό).

Οι περιορισμοί της ζελατίνης οδήγησαν στην επόμενη σημαντική πρόοδο στα πλαστικά, τα γνωστά ως "φαινολικά" ή πλαστικά "φαινόλης-φορμαλδεΐδης". Ένας φαρμακοποιός ο Leo Hendrik Baekeland, έψαχνε για μονωτικές ουσίες για να ντύσει τα καλώδια στις ηλεκτρικές μηχανές και τις γεννήτριες. Διαπίστωσε ότι τα μίγματα φαινόλης (C_6H_5OH) και φορμαλδεΐδης ($HCHO$) έδιναν μια κολλώδη μάζα η οποία γινόταν εξαιρετικά σκληρή κατά την ψύξη και ξήρανση της. Συνέχισε τις έρευνές του και διαπίστωσε ότι το υλικό θα μπορούσε να αναμιχθεί με το ξυλάλευρο, αμιάντο, ή σκόνη πλακών για να δημιουργήσει "σύνθετα" υλικά με διαφορετικές ιδιότητες. Οι περισσότερες από αυτές τις συνθέσεις ήταν ισχυρές και ανθεκτικές στην πυρκαγιά. Ανήγγειλε δημόσια την ανακάλυψή του το 1912, την οποία ονόμασε "bakelite". Χρησιμοποιήθηκε αρχικά για ηλεκτρικά

και μηχανικά μέρη, αποκτώντας τελικά διαδεδομένη χρήση σε καταναλωτικά αγαθά στη δεκαετία του '20. Όταν το δικαίωμα ευρεσιτεχνίας έληξε το 1930, η εταιρία Catalin άρχισε το πλαστικό Catalin χρησιμοποιώντας μια διαφορετική διαδικασία που επέτρεψε ένα ευρύτερο φάσμα χρωματισμού. Το Bakelite ήταν το πρώτο αληθινό πλαστικό. Ήταν ένα καθαρώς συνθετικό υλικό, μη βασισμένο σε οποιοδήποτε υλικό ή ακόμα και μόριο της φύσης. Ήταν επίσης το πρώτο "θερμοσκληρυνόμενο" πλαστικό. Τα συμβατικά "θερμοπλαστικά" μπορούν να φορμαριστούν και έπειτα να λειώσουν πάλι, αλλά τα thermoset πλαστικά διαμορφώνουν δεσμούς μεταξύ των πολυμερών σκελών τους δημιουργώντας μια μήτρα που δεν μπορεί να αναστραφεί χωρίς την καταστροφή του πλαστικού. Τα thermoset πλαστικά είναι σκληρά και ανθεκτικά στη θερμοκρασία. Το Bakelite ήταν φτηνό, ισχυρό, και ανθεκτικό. Φορμαρίστηκε σε χιλιάδες μορφές, όπως τα ραδιόφωνα, τα τηλέφωνα, τα ρολόγια, και φυσικά, οι σφαίρες μπιλιάρδου. Η Αμερικάνικη κυβέρνηση έφτιαξε ακόμη και τα νομίσματα ενός-σεντ όταν ο Δεύτερος παγκόσμιος πόλεμος προκάλεσε μια έλλειψη χαλκού. Τα φαινολικά πλαστικά έχουν αντικατασταθεί κατά ένα μεγάλο μέρος από φτηνότερα και λιγότερο εύθραυστα πλαστικά, αλλά χρησιμοποιούνται ακόμα στις εφαρμογές που απαιτούν τις ιδιότητές του στη μόνωση και στην αντοχή στη θερμότητα. Παραδείγματος χάριν, μερικοί ηλεκτρονικοί πίνακες κυκλωμάτων αποτελούνται από φύλλα χαρτιού ή υφάσματος καλυμμένα με φαινολική ρητίνη. Τα φαινολικοί φύλλα, οι ράβδοι και οι σωλήνες παράγονται σε μια ευρεία ποικιλία με διάφορα εμπορικά σήματα.

Συνθετικό λάστιχο

Ένα πολυμερές σώμα που ήταν κρίσιμο για την πολεμική προσπάθεια ήταν "συνθετικό λάστιχο", το οποίο παρήχθη με ποικίλες μορφές. Τα συνθετικά λάστιχα δεν είναι πλαστικά. Τα συνθετικά λάστιχα είναι ελαστικά υλικά. Το πρώτο πολυμερές σώμα συνθετικού λάστιχου έγινε από τον Lebedev το 1910, ενώ πρακτικά το συνθετικό λάστιχο βελτιώθηκε με τις μελέτες που δημοσιεύθηκαν ανεξάρτητα το 1930 από τον Αμερικάνο Wallace Carothers, το Ρώσο Lebedev και το Γερμανό Hermann Staudinger. Αυτές οι μελέτες οδήγησαν το 1931 σε ένα από τα πρώτα επιτυχή συνθετικά λάστιχα, γνωστό ως "νεοπρένιο", το οποίο αναπτύχθηκε από τη DuPont υπό την καθοδήγηση του E.K. Μπόλτον. Το νεοπρένιο είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό στη θερμότητα και τις χημικές ουσίες όπως το πετρέλαιο και η βενζίνη, και χρησιμοποιείται στις μάνικες καυσίμων και ως μονωτικό υλικό σε μηχανήματα. Το 1935, γερμανικοί φαρμακοποιοί σύνθεσαν τα πρώτα μιας σειράς συνθετικών λάστιχων, γνωστά ως "λάστιχα Buna". Αυτά ήταν συμπολυμερή "copolymers", δηλαδή τα πολυμερή σώματά τους αποτελούνταν όχι από ένα αλλά από δύο μονομερή, σε εναλλασσόμενη ακολουθία. Ένα τέτοιο λάστιχο Buna, είναι copolymer του βουταδιενίου και το styrénιο, και έγινε η βάση για την παραγωγή Αμερικάνικου συνθετικού λάστιχου κατά τη διάρκεια του Δεύτερου παγκόσμιου πολέμου. Οι παγκόσμιες προμήθειες φυσικού λάστιχου περιορίστηκαν πιά πολύ από τα μέσα του 1942 καθώς οι παραγωγές περιοχές ήταν υπό ιαπωνικό έλεγχο. Τα στρατιωτικά φορτηγά χρειαζόταν το λάστιχο για τις ρόδες. Η Αμερικανική κυβέρνηση προώθησε μια σημαντική (και κατά ένα μεγάλο μέρος μυστική) προσπάθεια να αναπτύξει και να καθαρίσει το συνθετικό λάστιχο. Ένας κύριος επιστήμονας που ασχολείται με την προσπάθεια ήταν ο Edward Robbins. Μέχρι το 1944 συνολικά 50 εργοστάσια το κατασκεύαζαν, με όγκο ίσο με δύο φορές την παγκόσμια παραγωγή του φυσικού λάστιχου πριν από την αρχή του πολέμου. Το συνθετικό λάστιχο θα έπαιζε επίσης έναν σημαντικό ρόλο στη διαστημική κούρσα και στη κούρσα των πυρηνικών όπλων. Οι στερεοί πύραυλοι που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του Β' παγκόσμιου πολέμου χρησιμοποιούσαν νιτρογλυκερίνη (nitrocellulose) για προώθηση, πράγμα μη πρακτικό και επικίνδυνο. Κατά τη διάρκεια του πολέμου, το ίδρυμα ερευνητών και τεχνολογίας της Καλιφόρνιας, (Caltech) βρήκε νέα στερεά καύσιμα, τα οποία έκαιγαν πιο αργά και ομοιόμορφα από τη νιτρογλυκερίνη, και ήταν πολύ λιγότερο επικίνδυνα κατά την αποθήκευση και τη χρήση. Μετά από τον πόλεμο, οι ερευνητές του Caltech άρχισαν να ερευνούν τη χρήση των συνθετικών λάστιχων ως καύσιμα στο μίγμα. Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του '50, τα μεγάλα βλήματα χρησιμοποιούσαν στερεά καύσιμα βασισμένα στο συνθετικό λάστιχο, αναμεμιγμένο με άλλες ενώσεις αμμωνίου και αλουμινίου. Τελικά, όλοι οι μεγάλοι στρατιωτικοί πύραυλοι και τα βλήματα θα χρησιμοποιούσαν στερεά καύσιμα βασισμένα στο συνθετικό λάστιχο.

Η «έκρηξη» των πολυμερών: ακρυλικά, πολυεθυλένιο, κ.λπ.

Άλλα πλαστικά προέκυψαν στην προπολεμική περίοδο, αν και μερικά δεν θα χρησιμοποιούνταν μέχρι τον πόλεμο. Μέχρι το 1936, Αμερικανικές, Βρετανικές, και γερμανικές επιχειρήσεις παρήγαγαν το methacrylate polymethyl (PMMA), γνωστό καλύτερα όπως "ακρυλικό". Αν και το ακρυλικό είναι τώρα ευρέως γνωστό για τη χρήση του στα χρώματα και τις συνθετικές ίνες, όπως οι "πλαστές γούνες", είναι πραγματικά πολύ σκληρό και διαφανέστερο από το γυαλί, και πωλείται ως αντικαταστάτης του γυαλιού με εμπορικά ονόματα όπως "Plexiglas" και "Lucite". Το Plexiglas χρησιμοποιήθηκε για τους θόλους αεροσκαφών κατά τη διάρκεια του πολέμου. Ένα άλλο σημαντικό πλαστικό, το "πολυαιθυλένιο" (PE), ανακαλύφθηκε το 1933 από τους Reginald Gibson και Eric Fawcett στις βρετανικές βιομηχανικές αυτοκρατορικές χημικές βιομηχανίες (ICI). Ενώ το PE έχει χαμηλή αντίσταση στα χημικά, βρέθηκε ότι θα μπορούσε να γίνει ακόμα πιο γερό με την έκθεση του σε αέριο φθόριο, το οποίο τροποποιεί το στρώμα της επιφάνειας του στο πολύ πιο σκληρό "polyfluoroethylene". Το πολυαιθυλένιο θα οδηγούσε μετά από τον πόλεμο σε ένα βελτιωμένο υλικό, το "πολυπροπυλένιο" (PP), το

οποίο ανακαλύφθηκε στις αρχές της δεκαετίας του '50 από τον Giulio Natta. Είναι κοινό στη σύγχρονες επιστήμες και την τεχνολογία ότι η αύξηση της γνώσης μπορεί να οδηγήσει στις ίδιες εφευρέσεις από διαφορετικές θέσεις στο ίδιο σχεδόν χρόνο, αλλά το πολυπροπυλένιο ήταν μια ακραία περίπτωση αυτού του φαινομένου, αφού εφευρέθηκε χωριστά εννέα φορές. Η επόμενη προσφυγή στο δικαστήριο επιλύθηκε το 1989, και δύο αμερικανικοί φαρμακοποιοί που εργάζονται για τη ο Phillips, οι Paul Hogan και Robert Banks, είναι οι "επίσημοι" εφευρέτες του υλικού.

Η πολυουρεθάνη εφευρέθηκε από την εταιρία Friedrich Bayer & Company το 1937, και θα έμπαινε στη χρήση μετά από τον πόλεμο, για στρώματα, τη γέμιση επίπλων, και για θερμική μόνωση. Είναι επίσης ένα από τα συστατικά (σε non-blown μορφή) της ίνας spandex. Το 1939, η IG Farben αρχειοθέτησε ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για "το polyeroxide" ή "εποξικό". Το Eroxies είναι μια κατηγορία thermoset πλαστικού. Μετά από τον πόλεμο θα χρησιμοποιούνταν για επιστρώματα, "κόλλες", και σύνθετα υλικά. Η χρησιμοποίηση σύνθετων εποξικών ως βάση, περιλαμβάνει το glass-reinforced πλαστικό, όπου το δομικό στοιχείο είναι ένα γυαλιού, και τα "άνθρακας-εποξικά σύνθετα", στα οποία το δομικό στοιχείο είναι η ίνα άνθρακα. Το φίμπεργκλας τώρα συχνά χρησιμοποιείται για τις αθλητικές βάρκες, και τα άνθρακας-εποξικά σύνθετα είναι ένα όλο και περισσότερο σημαντικό δομικό στοιχείο στα αεροσκάφη, δεδομένου ότι είναι ελαφριά, ισχυρά, και ανθεκτικά στη θερμότητα. Δύο φαρμακοποιοί οι Rex Whinfield και James Dickson, στο Μάντσεστερ, ανέπτυξαν το 1941 το "τερεφθαλικό πολυαιθυλενίου" (PET ή PETE), που θα χρησιμοποιούνταν για συνθετικές ίνες στη μεταπολεμική εποχή, με ονόματα όπως "ο πολυεστέρας", "dacron", και "terylene". Το PET είναι λιγότερο διαπερατό σε αέρια από ότι άλλα χαμηλού κόστους πλαστικά και έτσι είναι ένα δημοφιλές υλικό στην κατασκευή μπουκαλιών για κόκα κόλα και άλλα "αφρώδη ποτά", δεδομένου ότι το διοξείδιο του άνθρακα τείνει να επιτεθεί στα πλαστικά. Το PET είναι επίσης ισχυρό και ανθεκτικό στο γδάρισμα, και χρησιμοποιείται για την παραγωγή των μηχανικών μερών, των δίσκων τροφίμων, και άλλων στοιχείων που πρέπει να αντέχουν σε κατάχρηση. Οι ταινίες PET χρησιμοποιούνται ως βάση για ταινίες καταγραφής. Ένα από τα εντυπωσιακότερα πλαστικά που χρησιμοποιήθηκαν στον πόλεμο, και ένα κορυφαίο μυστικό, ήταν το "polytetrafluoroethylene" (PTFE), καλύτερα γνωστός ως "τεφλόν", το οποίο τοποθετείται σε επιφάνειες μετάλλων για να δώσει αντοχή σε γρατσουνιές, είναι αντιδιαβρωτικό, προστατευτικό επίστρωμα με χαμηλό συντελεστή τριβής. Το στρώμα επιφάνειας polyfluoroethylene δημιουργείται με την έκθεση πολυαιθυλενίου στο φθόριο. Είναι αέριο παρόμοιο με το τεφλόν. Ένας φαρμακοποιός της εταιρίας Du Pont, ο Roy Plunkett το ανακάλυψε τυχαία το 1938. Κατά τη διάρκεια του πολέμου, χρησιμοποιήθηκε σε διαδικασίες διάχυσης αερίων για τον καθαρισμό ουράνιου που χρησιμοποιούνταν στην κατασκευή της ατομικής βόμβας, δεδομένου ότι η διαδικασία ήταν ιδιαίτερα διαβρωτική. Μέχρι την αρχή της δεκαετίας του '60, τα τεφλόν χρησιμοποιήθηκαν σε "αντικολλητικά" τηγάνια με μεγάλη επιτυχία. Το τεφλόν χρησιμοποιήθηκε αργότερα για να συνθέσει το αναπνεύσιμο ύφασμα "Gore - Tex", το οποίο σε γενικές γραμμές "αναπνέει" και προστατεύει από τη συσσώρευση υγρασίας. Το Gore - Tex χρησιμοποιείται επίσης σε χειρουργικά μοσχεύματα Το τεφλόν χρησιμοποιείται για να κάνει το οδοντικό νήμα και αναμεμιγμένο με ενώσεις φθορίου χρησιμοποιείται στα αεροσκάφη για να αποσπάσει τα βλήματα θερμικής ανίχνευσης (heat-seeking). Μετά τον πόλεμο, τα νέα πλαστικά μπήκαν στην ευρεία κατανάλωση. Η νέες μέθοδοι κατασκευής αναπτύχθηκαν, χρησιμοποιώντας τη διαμόρφωση, τη σχηματοποίηση, και τις διαδικασίες εξώθησης, για να παράξουν προϊόντα πλαστικών σε τεράστιες ποσότητες. Οι αμερικανικοί καταναλωτές υιοθέτησαν ενθουσιωδώς την ατελείωτη σειρά των ζωηρόχρωμων, φτηνών, και ανθεκτικών πλαστικών για τη νέα τους ζωή. Ένα από τα πιο ορατά μέρη αυτής της εισβολής πλαστικών ήταν "Tupperware" κόμη Tupper's, μια πλήρης γραμμή sealable κιβωτίων τροφίμων πολυαιθυλενίου. Η εταιρία Tupper προήγαγε τα προϊόντα της έξυπνα μέσω ενός δικτύου νοικοκυρών που πώλησαν τα Tupperware για να κερδίσουν κάποια χρήματα. Η γραμμή Tupperware προϊόντων θεωρήθηκε ιδιαίτερα αποτελεσματική, μειώνοντας πολύ την αλλοίωση των τροφίμων κατά την αποθήκευση. Το λεπτό "πλαστικό περικάλυμμα" που θα μπορούσε να αγοραστεί σε ρολλά βοήθησε επίσης να κρατούνται τα τρόφιμα φρέσκα. Ένα άλλο προεξέχον στοιχείο στα σπίτια της δεκαετίας του '50 ήταν "Formica", ένα πλαστικό φύλλο πλαστικού που χρησιμοποιήθηκε στα έπιπλα. Το Formica ήταν ανθεκτικό και ελκυστικό. Ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο στις κουζίνες, δεδομένου ότι μπορούσε να καθαριστεί εύκολα από λεκέδες, όπως αίμα ή λίπος. Το χαμηλού κόστους και ελαφρύ κοντραπλακέ κάλυπτε τις ανάγκες για όμορφα φτηνά και λειτουργικά έπιπλα, σε σχέση με τα ακριβά και βαριά σκληρά ξύλα όπως η βαλανιδιά ή το μαόνι. Τα σύνθετα υλικά όπως το φίμπεργκλας χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή βαρκών και, σε μερικές περιπτώσεις, αυτοκινήτων. Ο αφρός πολυουρεθάνης χρησιμοποιήθηκε για να γεμίσει στρώματα, και το styrofoam χρησιμοποιήθηκε στα δοχεία ψύξης πάγου και σε παιχνίδια. Τα πλαστικά συνεχίζουν να βελτιώνονται. Τη δεκαετία του '70 η Du Pont ανέπτυξε το "Kevlar", μια εξαιρετικά ισχυρή συνθετική ίνα που ήταν γνωστή για τη χρήση της στα αλεξίσφαιρα γιλέκα και τα κράνη.

Τύποι και ιδιότητες

Ο θεωρητικά άπειρος συνδυασμός μονομερών και η ατελείωτη τελική μορφή και άρα ιδιότητες των πολυμερών, οδηγούν σε ένα τεράστιο όγκο δυνητικά διαθέσιμων υλικών. Παρόλα αυτά, τα πραγματικά πρακτικά

εφαρμόσιμα υλικά δεν ξεπερνούν τις μερικές δεκάδες, καθώς τόσο το κόστος παραγωγής όσο και οι ιδιότητες τους είναι αποτρεπτικές της χρήσης των.

Τα πολυμερή χτίζονται από την επανάληψη μιας σειράς μονομερών τα οποία πολυμεριζόμενα, δημιουργούν τις μακρομοριακές ενώσεις (αλυσίδες πολυμερών) οι οποίες σε συστοιχίες και συσσωματώματα δημιουργούν τα τελικά πλαστικά υλικά. Καθώς στις περισσότερες φορές η χρήση καθαρών πολυμερικών αλυσίδων οδηγεί σε δυσκολόχρηστα υλικά, είναι εξαιρετικά διαδεδομένη και αναγκαία η χρήση επιπλέον ουσιών οι οποίες προσδίδουν συγκεκριμένες ιδιότητες στα τελικά προϊόντα. Ουσίες όπως διαλύτες, σταθεροποιητές, αντιοξειδωτικά, και άλλα πρόσθετα έχουν πάντα παρουσία στα πολυμερή υλικά.

Είναι δεδομένο ότι τα πολυμερή αντιδρούν σε εξωτερικά ερεθίσματα όπως δυνάμεις με συγκεκριμένο τρόπο διαφορετικό από τα μη-πολυμερή υλικά. Αυτές οι διαφορές είναι εμφανείς για συγκεκριμένες ιδιότητες όπως:

- Η πυκνότητα
- Σχετική διαπερατότητα και δείκτης διάθλασης
- Ενθαλπία, (εσωτερική θερμότητα). Θερμική αγωγιμότητα και διάχυση
- Θερμική εκτόνωση
- Χημική συμπεριφορά (συμπεριλαμβανομένης της οξείδωσης)
- Θερμοκρασίες μαλακώματος και λειωσίματος
- Διαλυτότητα (παράγοντας το μήκος της αλυσίδας και η κρυσταλλικότητα).

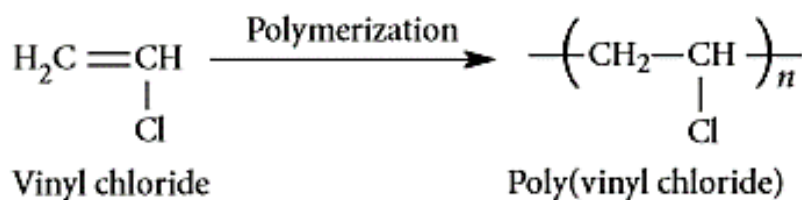
Ιδιότητες που επηρεάζονται από το μήκος της αλυσίδας των πολυμερών:

- Υψηλό ιξώδες των τηγμάτων και διαλυμάτων των πολυμερών
- Ελαστικότητα των τηγμένων πολυμερών και διαλυμάτων
- Ικανότητα να απορροφά πολύ μεγάλες παραμορφώσεις χωρίς διάρρηξη της μάζας τους (η παραμόρφωση μπορεί να ανακτηθεί με την απομάκρυνση της δύναμης)
- Χαρακτηριστική σχέση με τον χρόνο για πολλές ιδιότητες και συμπεριφορές (συμπεριλαμβανομένης της χαλάρωσης και του ερπυσμού)

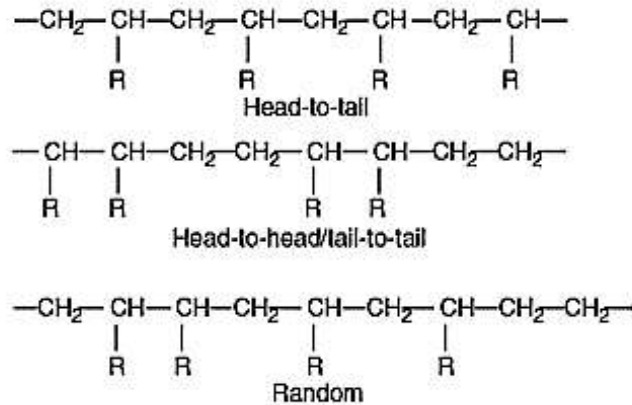
Στα επόμενα κεφάλαια θα εξετάσουμε τις ιδιότητες των πολυμερών και θα καταδείξουμε τους παράγοντες που συντελούν στο τελικό προϊόν μεταξύ των οποίων είναι η μέθοδος παραγωγής, αποθήκευσης και χρήσης των υλικών.

ΠΟΛΥΜΕΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ

Ένα μόριο πολυμερούς περιέχει έναν μεγάλο αριθμό όμοιων, επαναλαμβανόμενων δομικών μονάδων, συνδεδεμένων μεταξύ τους με δεσμούς, στους οποίους τα ηλεκτρόνια μοιράζονται ισομερώς μεταξύ των δύο εμπλεκόμενων ατόμων.

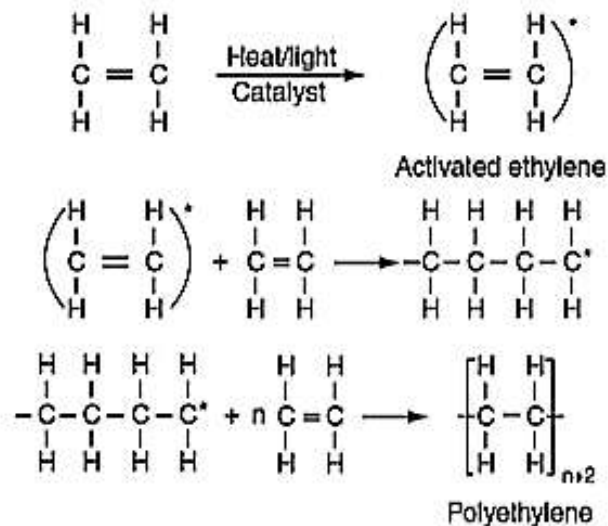


Εάν όλες οι μονάδες είναι ίδιες, το πολυμερές ονομάζεται ομοιογενές (homopolymer) και ο αριθμός των μονάδων είναι ο βαθμός πολυμερισμού του πολυμερούς. Η αντίδραση πολυμερισμού μπορεί να γίνει με κλασικές αντιδράσεις όπου η λειτουργικότητα και των δύο μορίων θα πρέπει να εξασφαλίζεται στις περιοχές σύνδεσης, όπως για παράδειγμα το -OH της μεθανόλης, ή το CH₃OH. Ο πολυμερισμός μπορεί επίσης να οδηγήσει σε μη γραμμικές αλυσίδες και δίκτυα δομών στην οποία περίπτωση απαιτούνται μόρια με τριπλή περιοχή λειτουργικότητας για να αντιδράσουν αντίστοιχα προς διαφορετικές αλυσίδες.



Εκτενής ανάπτυξη αλυσίδων οδηγεί σε αυξημένη πιθανότητα οι αλυσίδες να συνδεθούν μεταξύ τους, δημιουργώντας ένα δίκτυο και με την βοήθεια διασταυρούμενων συνδέσμων (cross linking) των υπαρχόντων αλυσίδων.

Δύο βασικοί τύποι πολυμερισμού, ο πολυμερισμός προσθήκης (addition polymerization) και ο σταδιακά αναπτυσσόμενος πολυμερισμός (step growth polymerization) όπου μικρά μόρια εξωθούνται έξω από την μάζα του πολυμερούς (πολυμερισμός συμπύκνωσης / condensation polymerization) αποτελούν τους κύριους μηχανισμών πολυμερισμού.



Intermediate steps during formation of polyethylene.

Υπάρχουν και περιπτώσεις όπου περισσότερες της μίας δομικές μονάδες εμπλέκονται στον πολυμερισμό, δημιουργώντας τα συν-πολυμερή (copolymers). Ο συμ-πολυμερισμός (copolymerization) παράγει τα τυχαία παρουσίας πολυμερή (random polymers), ενώ μονομερή με ιδιαίτερες ενεργότητες αντιδρούν και σχηματίζουν τα εναλλασσόμενα συν-πολυμερή (alternating copolymers). Οι αλυσίδες ενός συμπαγούς συν-πολυμερούς (block copolymer) μακριές αδιάρρηκτες και σταθερής συχνότητας παρουσίας των μονομερών δομές. Τέλος τα εμβόλιμα (graft) συμ-πολυμερή αποτελούνται από διακλαδώσεις αλυσίδων ενωμένες στην κύρια αλυσίδα σε διαφορετικές επαναλαμβανόμενες μονάδες της.

ΣΥΜΠΟΛΥΜΕΡΙΣΜΟΣ

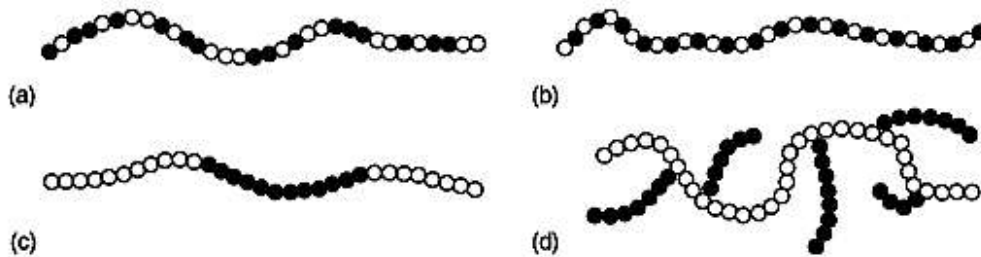
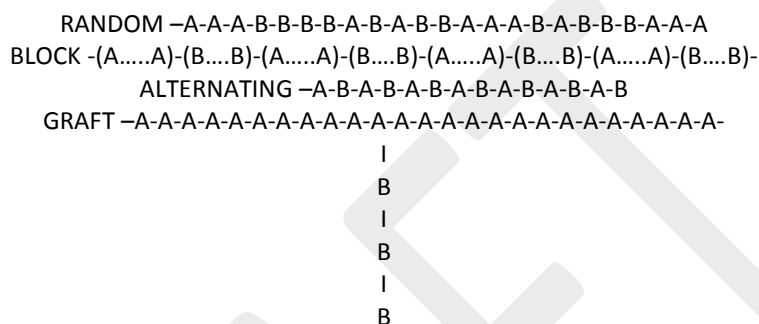


FIGURE Copolymer arrangements. (a) Two different types of mers (denoted by open and filled circles) are randomly placed. (b) The mers are alternately arranged. (c) A block copolymer. (d) A graft copolymer.



ΤΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Η τοποθέτηση των πλευρικών αλυσίδων σε σχέση με την κύρια αλυσίδα αλλά και το κύριο επίπεδο και προσανατολισμό στον χώρο, όπως και μεταξύ τους, αποτελεί μια παράμετρο κατηγοριοποίησης των πολυμερών.

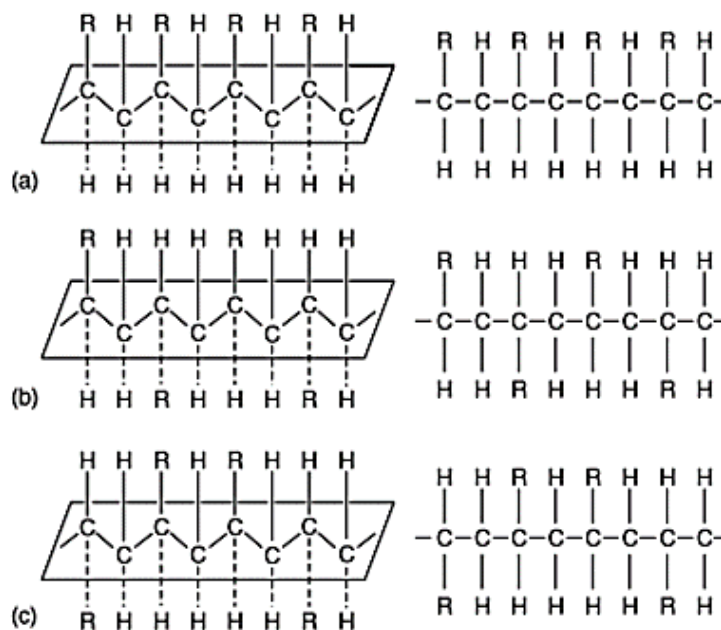


FIGURE Diagrams of (a) isotactic, (b) syndiotactic, and (c) atactic configuration in a vinyl polymer. The corresponding Fischer projections are shown on the right.

Τακτικές και μη-τακτικές διαφορετικές δομές είναι δυνατές.

Κύριες ομάδες βάσει της τακτικότητας παρουσίας των πλευρικών αλυσίδων είναι:

- **Τακτικά**, όπου οι αλυσίδες παρουσιάζουν μια συγκεκριμένη συχνότητα και σχέση παρουσίας στην αλυσίδα

- **ισοτακτικά**, όπου οι κάθε πλευρά της αλυσίδας έχει κανονική, σταθερή και επαναλαμβανόμενη αλληλουχία δομικών μονάδων
- **συνδιοτακτικά**, όπου και εντός της κάθε πλευράς της αλυσίδας, οι δομικές μονάδες εμφανίζονται τακτικά τοποθετημένες,
- **A-τακτικά**, όπου η αλληλουχία των δομικών μονάδων δεν ακολουθεί κάποια συγκεκριμένη σειρά, επανάληψη ή σταθερότητα.

ΜΟΡΙΑΚΟ ΒΑΡΟΣ

Τα πολυμερή γενικά περιέχουν αλυσίδες διαφορετικού μήκους καθώς ο σχηματισμός τους είναι το αποτέλεσμα τυχαίων δράσεων και το μήκος της αλυσίδας αντικατοπτρίζει την ιστορία ανάπτυξης και εξέλιξης των αλυσίδων. Ένα πολυμερές με πολλών διαφορετικών μηκών αλυσίδες χαρακτηρίζεται ως πολυ-διάσπαρτο (poly-disperse) σε αντίθεση με τα πολυμερή όπου όλες οι αλυσίδες τους είναι του ίδιου μήκους και ορίζονται ως μονο-διάσπαρτα (mono-disperse). Το μοριακό βάρος των τελευταίων είναι μια μοναδική ποσότητα, ενώ υπάρχουν πολλοί τρόποι περιγράφουν την κατανομή του μήκους των αλυσίδων (chain length distribution) των πολύ-διάσπαρτων πολυμερών.

ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Θερμότητα απαιτείται όχι μόνο για να αυξηθεί η θερμοκρασία του στερεού προς το σημείο τήξης, αλλά και για την ίδια την τήξη και ονομάζεται η θερμότητα της σύντηξης.

Από την άποψη της θερμοδυναμικής, στο σημείο τήξεως η αλλαγή στην ελεύθερη ενέργεια Gibbs (ΔG) του υλικού είναι μηδέν, αλλά η ενθαλπία (H) και η εντροπία (S) του υλικού αυξάνονται ($\Delta H, \Delta S > 0$). Το φαινόμενο της τήξης συμβαίνει όταν η ελεύθερη ενέργεια Gibbs του υγρού γίνεται χαμηλότερη από του στερεού. Αυτό συμβαίνει σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία για διάφορες πιέσεις.

Μπορεί επίσης να δειχθεί ότι:

$$\Delta S = \frac{\Delta H}{T}$$

Εδώ τα T , ΔS και ΔH είναι αντίστοιχα η θερμοκρασία στο σημείο τήξης, η αλλαγή της εντροπίας του τήγματος και η μεταβολή της ενθαλπίας της τήξης.

Το σημείο τήξης είναι ευαίσθητο σε εξαιρετικά μεγάλες αλλαγές της πίεσης, αλλά γενικά αυτή η ευαισθησία είναι τάξεις μεγέθους μικρότερη από ότι για το σημείο βρασμού, επειδή η μετάβαση στερεού-υγρού αντιπροσωπεύει μόνο μια μικρή μεταβολή σε όγκο. Αν, όπως παρατηρήθηκε στις περισσότερες περιπτώσεις, μια ουσία είναι πιο πυκνή στην στερεή από ότι στην υγρή κατάσταση, το σημείο τήξης θα αυξηθεί με την αύξηση της πίεσης. Διαφορετικά, θα συμπεριφερθεί αντίστροφα

Το σημείο τήξεως συχνά χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει την καθαρότητα οργανικών και ανόργανων ενώσεων. Το σημείο τήξεως μιας καθαρής ουσίας είναι πάντα υψηλότερο και μικρότερου εύρους από το σημείο τήξεως μιας μη καθαρής ουσίας ή γενικότερα ενός μείγματος. Όσο υψηλότερη είναι η ποσότητα των άλλων συστατικών, τόσο χαμηλότερο είναι η σημείο τήξεως και μεγαλύτερο το εύρος του σημείου τήξης. Εύτηκτα είναι τα μείγματα που συμπεριφέρονται σαν ενιαία φάσεις. Λιώνουν απότομα σε μία σταθερή θερμοκρασία για να σχηματίσουν ένα υγρό της ίδιας σύνθεσης. Εναλλακτικά, κατά την ψύξη ενός τέτοιου υγρού θα στερεοποιηθεί με μικρούς κρυστάλλους, ομοιόμορφα διεσπαρμένους, με την ίδια σύνθεση.

ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (Heat capacity, ή thermal capacity)

Είναι μια φυσική μέτρηση της αναλογίας της θερμότητας που απορροφάτε ή εκκροφάται από ένα αντικείμενο προς την αντίστοιχη μεταβολή της θερμοκρασίας που προκαλείται εξ αιτίας αυτού του γεγονότος. Οι μονάδες στο SI σύστημα είναι σε Joules ανά βαθμό Kelvin (K) και η διαστασιακή φόρμουλα δίνεται ως: $M^1L^2T^{-2}\Theta^{-1}$.

Η μοριακή θερμοχωρητικότητα είναι η ενέργεια ανά μονάδα ποσότητας (στο SI είναι το mole) ενός καθαρού στοιχείου και η ειδική θερμοχωρητικότητα είναι η θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα μάζας του υλικού.

Ενώ η θερμοκρασία αντανάκλα την κατά μέσο όρο τυχαιοποιημένη ενέργεια των δομικών στοιχείων της ύλης, η θερμότητα είναι η μεταφορά της θερμικής ενέργειας κατά μήκος ενός ορίου του συστήματος από το σώμα προς το περιβάλλον ή αντίστροφα.

Οι βαθμοί ελευθερίας τους συστήματος όπως καθορίζονται από τον συνδυασμό των ενεργειών δόνησης των μορίων (κινητική και δυναμική), συνεισφέρουν στην θερμοχωρητικότητα της ύλης. Ιδωμένο σε μικρο-κλίμακα, κάθε στοιχείο του συστήματος απορροφά την θερμική ενέργεια ανάμεσα στους λίγους βαθμούς ελευθερίας που είναι διαθέσιμοι. Καθώς η θερμοκρασία προσεγγίζει το απόλυτο μηδέν και η θερμοχωρητικότητα του τείνει στο μηδέν λόγω έλλειψης βαθμών ελευθερίας κίνησης.

TABLE Burning Characteristics and Burn Rates of Some Polymers

| Polymer | Burning Characteristics | Burn Rate ^a (cm/min) |
|---|----------------------------------|---------------------------------|
| Polyethylene | Melts, drips | 0.8–3.0 |
| Polypropylene | Melts, drips | 1.8–4.0 |
| Poly(vinyl chloride) | Difficult to ignite, white smoke | Self-extinguishing |
| Poly(tetrafluoroethylene) | Melts, chars, bubbles | Nonburning |
| Fluorinated ethylene propylene copolymer | Does not ignite | Nonburning |
| Polybutylene | Burns | 2.5 |
| Acetal | Burns, bluish flame | 1.3–2.8 |
| Cellulose acetate | Burns, yellow flame sooty smoke | 1.3–7.6 |
| Cellulose propionate | Burns, drips | 1.3–3.0 |
| Cellulose acetate butyrate | Burns, drips | 0.8–4.3 |
| Acrylonitrile–butadiene–styrene (general purpose) | Burns | 2.5–5.1 |
| Styrene–acrylonitrile | Melts, chars, bubbles | 1.0–4.0 |
| Polystyrene | Softens, bubbles, black smoke | 1.3–6.3 |
| Acrylic | Burns slowly, drips | 1.4–4.0 |
| Nylons | Burns slowly, froths | Self-extinguishing |
| Phenylene oxide | | Self-extinguishing |
| Polysulfone | | Self-extinguishing |
| Chlorinated polyether | | Self-extinguishing |
| Polyimide | | Nonburning |

Source: Adapted from Kuryla, W. C. and Papa, A. J., eds. 1973. *Flame Retardancy of Polymeric Materials*, Vol. 3. Marcel Dekker, New York.

^a ASTM D-635 test procedure.

ΔΙΑΣΤΟΛΗ ΣΤΕΡΕΩΝ

Τα υλικά γενικά αλλάζουν μέγεθος όταν υποβάλλονται σε μεταβολή της θερμοκρασίας, ενώ η πίεση διατηρείται σταθερή. Στην ειδική περίπτωση των στερεών υλικών, η πίεση δεν επηρεάζει σημαντικά το μέγεθος ενός αντικειμένου, και έτσι, για στερεά, δεν είναι συνήθως απαραίτητο να διευκρινιστεί ότι η πίεση διατηρείται σταθερή.

Κοινά στερεά με ενδιαφέρον στην μηχανική έχουν συνήθως συντελεστές θερμικής διαστολής που δεν διαφέρουν σημαντικά σε όλο το εύρος των πρακτικών θερμοκρασιών εφαρμογής, εφόσον είναι σχεδιασμένα για την δεδομένη χρήση.

Έτσι ώστε όταν δεν απαιτείται εξαιρετικά υψηλή ακρίβεια, πρακτικά οι υπολογισμοί μπορούν να βασίζονται σε μία σταθερή, κατά μέσο όρο, τιμή των συντελεστών διαστολής.

ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΚΤΟΝΩΣΗ

Θερμική διαστολή είναι η τάση της ύλης για την αλλαγή του όγκου της σαν αντίδραση στην μεταβολή της θερμοκρασίας της μέσω της μεταφοράς θερμότητας.

Η θερμοκρασία είναι μία μονοτονική συνάρτηση της μέσης μοριακής κινητικής ενέργειας μιας ουσίας. Όταν μια ουσία θερμαίνεται, η κινητική ενέργεια των μορίων της αυξάνει. Έτσι, τα μόρια αρχίζουν να μετακινούνται περισσότερο με συνήθως μεγαλύτερο μέσο διαχωρισμό μεταξύ τους. Αυτή η επίδραση είναι περιορισμένη σε μέγεθος, και εμφανίζεται μόνο σε περιορισμένα εύρη θερμοκρασίας.

Ο βαθμός διαστολής διαχωρίζεται από τη μεταβολή της θερμοκρασίας και ονομάζεται συντελεστής θερμικής διαστολής του υλικού και γενικά ποικίλει ανάλογα με τη θερμοκρασία.

Παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική διαστολή

Η θερμική διαστολή γενικά μειώνεται με την αύξηση της ενέργειας δεσμού των υλικών, η οποία έχει επίσης επίδραση επί του σημείου τήξεως των στερεών. Έτσι, τα υλικά υψηλού σημείου τήξεως είναι πιο πιθανό να έχουν χαμηλότερη θερμική διαστολή. Σε γενικές γραμμές, τα υγρά διαστέλλονται ελαφρώς περισσότερο από τα στερεά. Η θερμική διαστολή των υαλωδών υλικών είναι υψηλότερη σε σύγκριση με εκείνη των κρυσταλλικών. Κατά την θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (T_g), οι αναδιατάξεις που εμφανίζονται σε ένα άμορφο υλικό μπορούν να οδηγήσουν σε χαρακτηριστικές ασυνέχειες του συντελεστή θερμικής διαστολής ή

της ειδικής θερμότητας. Αυτές οι ασυνέχειες επιτρέπουν την ανίχνευση της θερμοκρασίας υαλώδους μεταπτώσεως, τη θερμοκρασία δηλαδή όπου ένα υπερψυγμένο (supercooled) υγρό μετατρέπεται σε υαλώδες. Απορρόφηση ή εκκρόφηση νερού (ή άλλων διαλυτών) μπορεί να αλλάξει το μέγεθος πολλών υλικών. Πολλά οργανικά υλικά αλλάζουν μέγεθος πολύ περισσότερο εξαιτίας αυτού του φαινομένου από ό,τι λόγω της θερμικής διαστολής. Κοινά πλαστικά που εκτίθενται σε επαφή με νερό ή υδρατμούς, μπορεί, μακροπρόθεσμα, να διασταλούν κατά μεγάλο ποσοστιαίο μέγεθος.

Συντελεστής θερμικής διαστολής (coefficient of thermal expansion)

Ειδικότερα, μετρά την κλασματική αλλαγή στο μέγεθος ανά μεταβολή του βαθμού της θερμοκρασίας υπό σταθερή πίεση. Διάφοροι τύποι συντελεστών έχουν αναπτυχθεί: μέτρησης όγκου, επιφάνειας, και γραμμικής μεταβολής. Η επιλογή και χρήση εξαρτάται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή και από το ποιες διαστάσεις θεωρούνται σημαντικές. Για στερεά, μπορεί να ενδιαφέρει η αλλαγή του μήκους, ή κάποια επιφάνεια μόνο.

Ο ογκομετρικός συντελεστής θερμικής διαστολής είναι ο πιο βασικός συντελεστής θερμικής διαστολής. Σε γενικές γραμμές, οι ουσίες συστέλλονται ή διαστέλλονται όταν αλλάζει η θερμοκρασία τους, με διαστολή ή συστολή που συμβαίνουν σε όλες τις διευθύνσεις. Οι ουσία που διαστέλεται με τον ίδιο ρυθμό σε κάθε κατεύθυνση ονομάζεται ιστροπική. Για ισότροπα υλικά, οι συντελεστές επιφανειακής και γραμμικής διαστολής μπορούν να υπολογιστούν από τον συντελεστή μεταβολής του όγκου λαμβάνοντας την τετραγωνική ρίζα ή την κυβική ρίζα του συντελεστή μεταβολής του όγκου της θερμικής διαστολής.

Οι μαθηματικοί ορισμοί αυτών των συντελεστών ορίζονται πιο κάτω για στερεά, υγρά και αέρια.

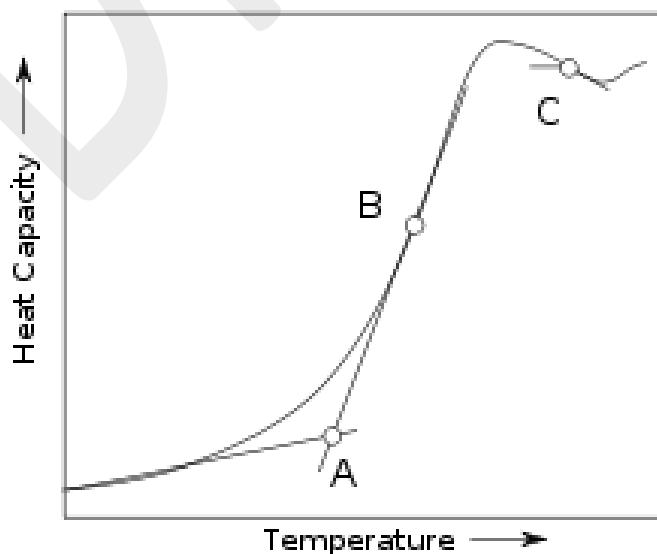
Γενικά, στις γενικές περιπτώσεις ενός αερίου, υγρού ή στερεού, ο ογκομετρικός συντελεστής θερμικής διαστολής δίνεται από την σχέση:

$$\alpha_V = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$$

Ο όρος «p» δηλώνει ότι η πίεση διατηρείται σταθερή κατά τη διάρκεια της διαστολής, και ο όρος «V», τονίζει ότι είναι ογκομετρική (μη γραμμική) η διαστολή. Στην περίπτωση ενός αερίου, το γεγονός ότι η πίεση διατηρείται σταθερή είναι σημαντικό, διότι ο όγκος του αερίου μεταβάλλεται σημαντικά με την πίεση καθώς και τη θερμοκρασία. Για ένα αέριο χαμηλής πυκνότητας, αυτό προκύπτει από το νόμο των ιδανικών αερίων.

ΣΗΜΕΙΟ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ ΤΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ (Glass transition temperature, T_g)

Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενος ορισμός του T_g χρησιμοποιεί την απελευθέρωση ενέργειας για θέρμανση σε διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης (DSC, βλέπε σχήμα). Τυπικά, το δείγμα πρώτα ψύχεται με 10 K / λεπτό και στη συνέχεια θερμαίνεται με την ίδια ταχύτητα. Ακόμα ένας ορισμός της T_g χρησιμοποιεί την λόξα σε εκατομετρία (γνωστός και ως θερμική διαστολή). Εδώ, οι ρυθμοί θέρμανσης 3-5°K/min είναι κοινά. Συνοψίζονται παρακάτω είναι T_g αξίες χαρακτηριστικό ορισμένων κατηγοριών υλικών.



Η μετάβαση υάλου-υγρού (ή υαλώδης μετάπτωση για συντομία) είναι η αντιστρεπτή μετάβαση σε άμορφα υλικά (ή σε άμορφες περιοχές εντός ημικρυσταλλικά υλικά) από ένα σκληρό και σχετικά εύθραυστο κατάσταση σε τετηγμένη ή καουτσούκ-κατάσταση.

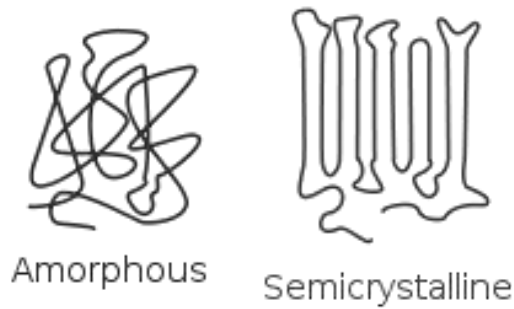
Παρά την τεράστια μεταβολή στις φυσικές ιδιότητες του υλικού διαμέσου του μετάπτωσης γυαλιού, η μετάβαση δεν είναι η ίδια μια μεταβατική φάση οποιουδήποτε είδους. Μάλλον είναι ένα φαινόμενο εργαστηρίου που εκτείνεται σε ένα εύρος θερμοκρασιών και ορίζεται από από διάφορες συμβάσεις. Οι συμβάσεις περιλαμβάνουν ένα σταθερό ρυθμό ψύξης (20 K / min) και ένα όριο ιξώδους 1,012 Pa*s, μεταξύ άλλων. Μετά την ψύξη ή θέρμανση μέσω αυτής της σειράς μετάπτωσης υάλου, το υλικό παρουσιάζει επίσης μια ομαλή μετάβαση του συντελεστή θερμικής διαστολής και της ειδικής θερμότητας. Η θέση αυτών των επιδράσεων και πάλι εξαρτάται από την ιστορία του υλικού. Ωστόσο, , το ερώτημα του κατά πόσο κάποια μεταβατική φάση κρύβεται πίσω από τη μετάβαση είναι ένα θέμα συνεχούς έρευνας.

Το Νάιλον-6 έχει μία θερμοκρασία μετάπτωσης γυαλιού 47 ° C, το Nylon-6,6 έχει μία θερμοκρασία μετάπτωσης γυαλιού περίπου 70°C, το πολυαιθυλένιο έχει μια σειρά μεταπτώσεων υάλου από -130 έως -80 ° C. Ας ληφθεί υπόψη ότι τα παραπάνω είναι μόνο μέσες τιμές, ενώ η θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης εξαρτάται από τον ρυθμό ψύξης και την κατανομή του μοριακού βάρους και μπορεί να επηρεάζεται από πρόσθετα που υπάρχουν στην το πολυαιθυλένιο, που είναι 60-80% κρυσταλλικό σε θερμοκρασία δωματίου, το αναφερόμενο Tg αναφέρεται στα φαινόμενα μετάβασης που συμβαίνουν στο άμορφο μέρος του υλικού κατά την ψύξη. Πολυμερή υλικά και θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης τους.

| Πολυμερές | T _g (°C) |
|--|---------------------|
| Low-density polyethylene (LDPE) | -125 |
| Καουτσούκ (rubber) ελαστικών | -70 |
| Polyvinylidene fluoride (PVDF) | -35 |
| Polypropylene (PP atactic) | -20 |
| Polyvinyl fluoride (PVF) | -20 |
| Polypropylene (PP isotactic) | 0 |
| Poly-3-hydroxybutyrate (PHB) | 15 |
| Poly(vinyl acetate) (PVAc) | 30 |
| Polychlorotrifluoroethylene (PCTFE) | 45 |
| Polyamide (PA) | 47 - 60 |
| Poly(lactic acid) (PLA) | 60 - 65 |
| Polyethylene terephthalate (PET) | 70 |
| Poly(vinyl chloride) (PVC) | 80 |
| Poly(vinyl alcohol) (PVA) | 85 |
| Polystyrene (PS) | 95 |
| Poly(methyl methacrylate) (PMMA atactic) | 105 |
| Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) | 105 |
| Polytetrafluoroethylene (PTFE) | 115 |
| Poly(carbonate) (PC) | 145 |
| Polysulfone | 185 |
| Polynorbornene | 215 |

ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΤΗΤΑ (Crystallinity)

Αναφέρεται στον βαθμό της δομικής οργάνωσης ενός στερεού. Σε έναν κρύσταλλο, τα άτομα ή τα μόρια είναι τοποθετημένα σε κανονικό και περιοδικό τρόπο. Ο βαθμός κρυσταλλικότητας έχει ιδιαίτερη επίδραση στην σκληρότητα, την πυκνότητα, την διαφάνεια και την διάχυση.



Ενώ σε ένα αέριο, η σχετική θέση των τόμων είναι τελείως τυχαία, στα άμορφα υλικά όπως τα υγρά και τα υαλώδη υλικά επικρατεί μια ενδιάμεση κατάσταση, με κανονικότητα εντός σχετικά μικρών αποστάσεων ενώ δεν παρουσιάζεται ανάλογο φαινόμενο σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Πολλά πολυμερή μπορούν να παραχθούν με τέτοιο τρόπο ώστε αν εμπεριέχουν άμορφες και κρυσταλλικές περιοχές. Σε αυτή την περίπτωση η κρυσταλλικότητα ορίζεται ως ποσοστό της μάζας του πολυμερούς. Ακόμα και σε πλήρως κρυσταλλικά υλικά ο βαθμός τελειότητας της δομής τους διαφέρει (παράδειγμα τα κράματα μετάλλων).

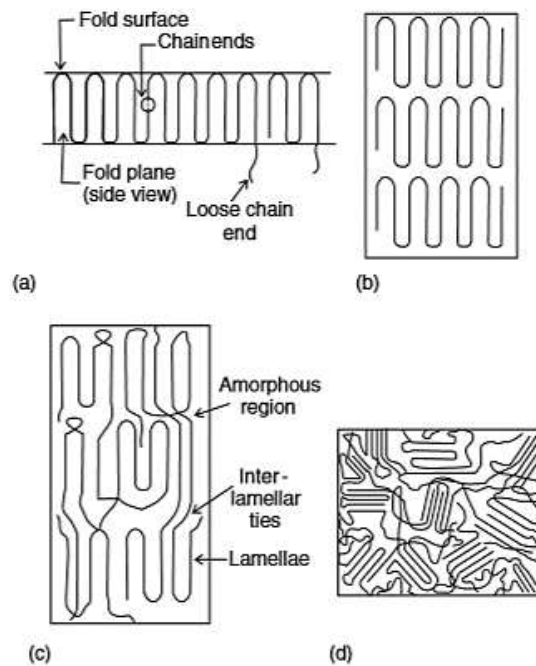
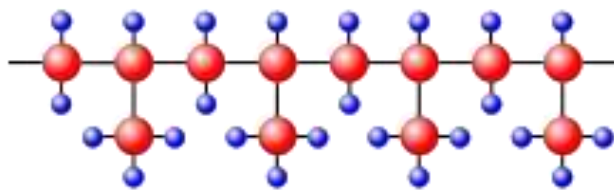


FIGURE Schematic representation of (a) fold plane showing regular chain folding, (b) ideal stacking of lamellar crystals, (c) interlamellar amorphous model, and (d) fringed micelle model of randomly distributed crystallites.

Μηχανισμός σχηματισμού κρυστάλλων (crystallization mechanism)

Τα πολυμερή, καθώς αποτελούνται από μακριές αλυσίδες, σχηματίζουν ακανόνιστα πεπλεγμένες σπείρες στο τήγμα τους. Μερικά πολυμερή διατηρούν μια τέτοια διαταραγμένη δομή κατά την κατάψυξη και έτσι μετατρέπονται σε άμορφα στερεά κατά την ψύξη τους. Σε άλλα πολυμερή, οι αλυσίδες υπόκεινται σε αναδιάταξη κατά την κατάψυξη τους και σχηματίζουν εν μέρει περιοχές κανονικής δομής με τυπικό μέγεθος κανονικότητας στο 1 μικρόμετρο. Αν και θα ήταν ενεργειακά ευνοϊκή για τις αλυσίδες του πολυμερούς να ευθυγραμμιστούν παράλληλα μεταξύ τους, μια τέτοια ευθυγράμμιση παρεμποδίζεται από την εμπλοκή των αλυσίδων μεταξύ τους. Έτσι, εντός των κανονικά περιοχών των διατεταγμένων αλυσίδων οι αλυσίδες του πολυμερούς είναι ταυτόχρονα ευθυγραμμισμένες και διπλωμένες. Οι περιοχές αυτές δεν είναι συνεπώς ούτε κρυσταλλικές ούτε άμορφες και ορίζονται ως ημι-κρυσταλλικές. Παραδείγματα ημι-κρυσταλλικών πολυμερών είναι το γραμμικό πολυαιθυλένιο (PE), το τереφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET), το πολυτετραφθοροαιθυλένιο (PTFE) ή το ισοτακτικό πολυπροπυλένιο (PP).



Η δομή του ισο-τακτικού πολύ-προπυλενίου



Η δομή του α-τακτικού πολύ-προπυλενίου.

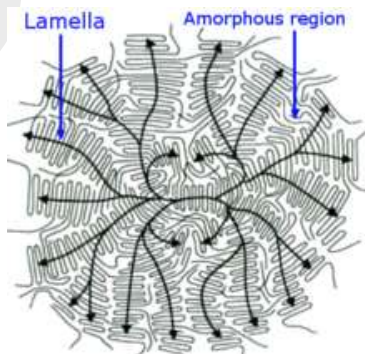
Το εάν τα πολυμερή μπορούν να κρυσταλλώσουν ή όχι εξαρτάται από τη μοριακή δομή τους – την παρουσία ευθείων αλυσίδων με πλευρικές ομάδες σε τακτικά διαστήματα, δομή που διευκολύνει την κρυστάλλωση. Για παράδειγμα, η κρυστάλλωση λαμβάνει χώρα πολύ ευκολότερα σε ισοτακτικό σε σχέση με το ατακτικό πολυπροπυλένιο. Ατακτικά πολυμερή κρυσταλλώνονται όταν οι πλευρικές ομάδες είναι πολύ μικρές, όπως στην περίπτωση του πολυβινυλίου, ενώ δεν κρυσταλλώνονται σε περίπτωση παρουσίας μεγάλων υποκαταστατών, όπως στο καουτσούκ ή στις σιλικόνες.

Δημιουργία πυρήνων (Nucleation)

Αρχίζει με την δημιουργία μικρών, σε μέγεθος νανο-διαστάσεων, περιοχών όπου σαν αποτέλεσμα της κίνησης της θερμότητας, κάποιες αλυσίδες ή κομμάτια τους βρίσκονται σε παράλληλη τοποθέτηση. Αυτοί οι σπόροι μπορούν είτε να αποσυντεθούν όπως στην περίπτωση που θερμική κινητικότητα καταστρέψει την μοριακή κανονικότητα και τάξη, ή να μεγαλώσουν περαιτέρω, εάν η αρχική δομή είναι μεγαλύτερη από μια κρίσιμη τιμή. Πέραν του μηχανισμού όπου εμπλέκεται η θερμότητα, η κρυσταλλοποίηση επηρεάζεται από ακαθαρσίες, χρωστικές, πλαστικοποιητές, πληρωτικές ουσίες και λοιπά πρόσθετα των πολυμερών. Αυτή ονομάζεται και ετερογενής δημιουργία πυρήνων κρυστάλλωσης. Αυτό το φαινόμενο είναι δύσκολο στην περιγραφή και ακανόνιστο στην εμφάνιση του καθώς το ίδιο συστατικό μπορεί να βοηθήσει ή να μην έχει ρόλο στην κρυστάλλωση όντας σε διαφορετικά πολυμερή. Καλοί παράγοντες κρυστάλλωσης είναι τα μεταλλικά άλατα των οργανικών οξέων τα οποία σχηματίζουν από μόνα τους κρυστάλλους στις θερμοκρασίες στερεοποίησης των πολυμερών.

Ανάπτυξη κρυστάλλων (Crystal growth)

Η ανάπτυξη των κρυστάλλων επιτυγχάνεται με την περαιτέρω πρόσθεση διπλωμένων αλυσίδων ή κομματιών τους και είναι εφικτή μόνο σε θερμοκρασία μεταξύ του σημείου λειωσίματος και της θερμοκρασίας υαλώδους μετάβασης του πολυμερούς. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες καταστρέφονται οι μοριακές τακτοποιημένες δομές και κάτω από την θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης η κίνηση των αλυσίδων παγώνει. Παρόλα αυτά δευτερεύουσα κρυστάλλωση μπορεί να λάβει χώρα και σε θερμοκρασίες χαμηλότερες της υαλώδους μετάβασης, αλλά σε μήνες ή και χρόνια. Αυτή η διαδικασία επηρεάζει τις μηχανικές ιδιότητες του πολυμερούς και μειώνει τον όγκο τους λόγω της πιο κλειστής δομής που προκύπτει από την σφιχτή στοίχιση των αλυσίδων. Οι αλυσίδες αντιδρούν μεταξύ τους με δεσμούς van der Waals η δύναμη των οποίων εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των παράλληλων αλυσίδων και καθορίζουν τις μηχανικές και θερμικές ιδιότητες των πολυμερών.



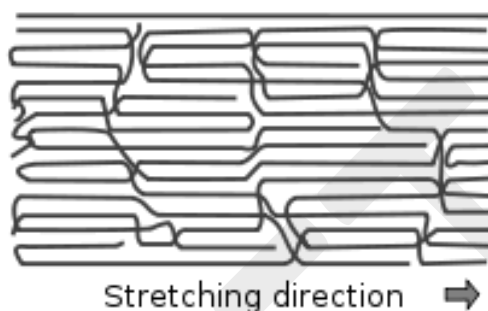
Σφαιρουλίτες

Η ανάπτυξη των κρυσταλλικών περιοχών συντελείται κατά προτίμηση στην κατεύθυνση των θερμοκρασιακών κλιμάκων και περιορίζεται στα όρια του από τις άμορφες απολήξεις αυτών των επιφανειών.

Στην περίπτωση ισχυρού θερμοκρασιακού δυναμικού (μεγάλης κλίμακας), η ανάπτυξη είναι προς όλες τις κατευθύνσεις δημιουργώντας δένδρο-γραμμικές δομές (dendritic structures). Στην περίπτωση όμως μιας ισότροπης και στατικής θερμοκρασιακής κατανομής, η ανάπτυξη γίνεται σε ακτίνα και δημιουργούνται οι λεγόμενοι σφαιρουλίτες, με μέγεθος περίπου μεταξύ 1 και 100 μικρομέτρων, ενώ εμπεριέχουν και εσωτερικά πολικές περιοχές λόγω μοριακών τοποθετήσεων.

Κρυστάλλωση με τάση (Crystallization by stretching)

Ο μηχανισμός αυτός θεωρείται σημαντικός για την χύτευση με έγχυση (injection moulding) των πλαστικών μερών. Ένας άλλος τύπος κρυστάλλωση λαμβάνει χώρα κατά την εξώθηση που χρησιμοποιείται στην κατασκευή ινών και φιλμ.



Σε αυτή τη διαδικασία, το πολυμερές εξαναγκάζεται μέσω, π.χ., ενός ακροφύσιου που δημιουργεί τάση εφελκυσμού η οποία ευθυγραμμίζει μερικώς τα μόρια του. Αυτή η ευθυγράμμιση μπορεί να θεωρηθεί ως κρυστάλλωση και επηρεάζει τις ιδιότητες του υλικού. Για παράδειγμα, η αντοχή της ίνας είναι πολύ αυξημένη κατά τη διαμήκη κατεύθυνση. Οι οπτικές ιδιότητες δείχνουν μεγάλες ανισοτροπία κατά μήκος και κάθετα προς τον άξονα της ίνας. Η δύναμη του πολυμερούς αυξάνεται όχι μόνο με την εξώθηση, αλλά επίσης και με χύτευση με εμφύσηση (blow moulding), το οποίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή των πλαστικών δεξαμενών και των φιάλων PET. Ορισμένα πολυμερή τα οποία δεν κρυσταλλώνονται, μπορούν να ευθυγραμμιστούν εν μέρει, με τέντωμα. [10]

Βαθμός κρυστάλλωσης (degree of crystallinity)

Το κλάσμα των τακτοποιημένων μορίων σε ένα πολυμερές χαρακτηρίζεται από το βαθμό κρυσταλλικότητας, και τυπικά κυμαίνεται μεταξύ 10% και 80%. Οι υψηλότερες τιμές επιτυγχάνονται μόνο σε υλικά που έχουν μικρά μόρια, τα οποία είναι συνήθως εύθραυστα, ή σε δείγματα που αποθηκεύονται για μεγάλο χρονικό διάστημα σε θερμοκρασίες μόλις κάτω από το σημείο τήξης. Η τελευταία αυτή διαδικασία είναι δαπανηρή και εφαρμόζεται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις.

| Degree of crystallinity (D, %) and densities of crystalline (ρ_c) and amorphous (ρ_a , g/cm ³) polymers.[3] | | | |
|--|-------|----------|----------|
| Πολυμερές | D | ρ_c | ρ_a |
| Nylon (PA66 and PA6) | 35–45 | 1.24 | 1.08 |
| Polyoxymethylene (POM) | 70–80 | 1.54 | 1.28 |
| Polyethylene terephthalate (PET) | 30–40 | 1.50 | 1.33 |
| Polybutylene terephthalate (PBT) | 40–50 | – | – |
| Polytetrafluoroethylene (PTFE) | 60–80 | 2.35 | 2.00 |
| isotactic polypropylene | 70–80 | 0.95 | 0.85 |
| atactic polypropylene | ~0 | – | – |
| High-density polyethylene | 70–80 | 1.0 | 0.85 |
| Low-density polyethylene | 45–55 | 1.0 | 0.85 |

Οι μέθοδοι μέτρησης της κρυσταλλικότητας περιλαμβάνουν τη μέτρηση της πυκνότητας, την διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης (DSC), την περίθλαση ακτίνων X (XRD), την υπέρυθη φασματοσκοπία και την μέθοδο πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (NMR). Η μετρούμενη τιμή εξαρτάται από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται.

Εκτός από τις παραπάνω μεθόδους, η κατανομή των κρυσταλλικών και των άμορφων περιοχών μπορεί να απεικονιστεί με μικροσκοπικές τεχνικές, όπως μικροσκοπία πολωμένου φωτός και μικροσκοπία ηλεκτρονίων μετάδοσης.

Οι κρυσταλλικές περιοχές είναι γενικά πιο πυκνές από τις άμορφες περιοχές πράγμα που οδηγεί σε μια υψηλότερη πυκνότητα, έως και 15 %, ανάλογα με το υλικό. Για παράδειγμα, το πολυαμίδιο 6 (νάιλον) έχει κρυσταλλική πυκνότητα $\rho_c = 1,24 \text{ g / cm}^3$ και άμορφη πυκνότητα $\rho_a = 1,08 \text{ g / cm}^3$.

Παράγοντες κρυστάλλωσης

Κύριος παράγοντας είναι η θερμοκρασία. Επηρεάζει τον ρυθμό ανάπτυξης των κρυστάλλων και μπορεί να αλλάξει το % κρυστάλλωσης καθώς και την υφή και μορφολογία των πολυμερών. Οι κρυσταλλικές δομές είναι εξ ορισμού ανισο-τροπικές πράγμα που έχει σημαντική επίδραση σε προσανατολισμένα συστήματα αλυσίδων. Η κρυστάλλωση ορίζεται σε σχέση με το σημείο λειωσίματος το οποίο είναι ανεξάρτητο του μοριακού βάρους, αλλά τροποποιείται με βάση την μοριακή δομή των αλυσίδων.

Γενικά μπορούμε να πούμε πως οι ίδιες πτυχές χημικής σύστασης στα πολυμερή (ευκολία κίνησης των αλυσίδων, πλευρικές αλυσίδες, συμ-πολυμερισμός) τείνουν να τροποποιήσουν το T_g και το T_m κατά παρόμοιο τρόπο.

Καθώς ένα από τα κριτήρια για την παρουσία κρυστάλλων είναι η κανονικότητα των επαναλαμβανόμενων στοιχείων των αλυσίδων, είναι δύσκολο σε συμπολυμερη με πέραν του ενός δομικού στοιχείου να παρουσιάσουν κανονικότητα και άρα κρυσταλλικές δομές.

Επιπλέον προαπαιτούμενος είναι η παρουσία γεωμετρικής κανονικότητας, όπως στο παράδειγμα του πολυ-προπυλενίου όπου μόνο οι ισοστατικές και συνδιοτακτικές δομές του παρουσιάζουν κάποια κρυσταλλικότητα.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

ΒΑΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΠΟΥ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΣΧΗΜΑΤΟΠΟΙΗΘΟΥΝ ΚΑΙ ΕΞΟΘΗΘΟΥΝ

Η σημαντικότητα των κρυστάλλων έγκειται στο γεγονός πως επηρεάζει τόσο την επεξεργασία τους όσο και τις ιδιότητές των υλικών. Η επίδραση της επεξεργασίας συνοψίζεται στα εξής

- α) το σημείο λειωσίματος πρέπει να επιτευχθεί πριν την μορφοποίηση των πολυμερών
- β) κατά την ψύξη των υλικών η θερμοκρασία κρυσταλλοποίηση μπορεί να είναι αρκετούς βαθμούς χαμηλότερα της θερμοκρασίας συγχώνευσης (fusion) προκαλώντας το φαινόμενο της υπερ-ψύξης (supercooling).
- γ) καθώς η πυκνότητα των κρυσταλλικών περιοχών είναι που μεγαλύτερη αυτής των άμορφων, μεγαλύτερη συρρίκνωση μπορεί να παρουσιαστεί κατά την διαδικασία ψύξης.

Επιπλέον, οι πιο κάτω ιδιότητες επηρεάζονται από την αυξημένη κρυστάλλωση:

- α) αυξημένη δύναμη, αντοχή και δυσκαμψία, αλλά πιθανά και ευθραυστότητα
- β) μικρότερη διαλυτότητα και μικρότερη διαπερατότητα
- γ) αυξημένη πυκνότητα
- δ) αντιστρόφως ανάλογη μείωση της διαφάνειας με αύξηση της κρυσταλλικότητας

Ανάλογα, η κρυσταλλικότητα επηρεάζεται από:

- α) την θερμοκρασία λειωσίματος κατά την επεξεργασία
- β) την θερμοκρασία της μήτρας θερμο-διαμόρφωσης και του ρυθμού ψύξης
- γ) την μοριακή ευθυγράμμιση όπως προκύπτει κατά την επεξεργασία
- δ) την παρουσία προσθέτων που επιτείνουν το φαινόμενο της κρυστάλλωσης
- ε) το μήκος της αλυσίδας καθώς πολυμερή με υψηλό μοριακό βάρος είναι πιο δύσκολα στην κρυστάλλωση συγκριτικά με αυτά χαμηλότερου μοριακού βάρους.

Οι διακλαδιζόμενες αλυσίδες των πολυμερών επηρεάζουν την ικανότητα τους να κρυσταλλώνονται. Πρακτικά η παρουσία διασταυρούμενων δεσμών περιορίζει την κρυστάλλωση. Αυτό έχει μεγάλη σημασία για τον προσανατολισμό των αλυσίδων εντός των μεμβρανών, των φύλλων και της θερμοδιαμόρφωσης.

Το HDPE μπορεί λόγω της γραμμικότητας του και των μακρών αλυσίδων του μπορεί να έχει έως και 85% κρυσταλλική δομή, ενώ το LDPE με πλευρικές αλυσίδες παρουσιάζει κρυσταλλικότητα στα 55%, διαφορές που μπορούν εύκολα να περιγραφούν με τις ιδιότητες έκτασης (tensile properties).

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΜΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΛΥΣΙΔΩΝ ΤΟΥΣ

Πολλές από τις ιδιότητες των πολυμερών μπορούν να αποδοθούν στην χημική τους σύνθεση ή στην δομή των αλυσίδων τους. Οι κύριοι δεσμοί που συγκρατούν μαζί τα άτομα σε μια αλυσίδα πολυμερούς είναι δυνατοί και γι' αυτό το λόγο η αποσύνθεση των πολυμερών λαμβάνει χώρα σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες. Οι δυνάμεις αυτές είναι πολικής φύσης, διπολικές ή διασποράς (Heiter-London). Αν και αδύναμες συνδέσεις το γεγονός ότι εμφανίζονται καθ' όλο το μήκος της αλυσίδας τις καθιστά στο σύνολο τους αρκετά αποτελεσματικές, κι έτσι τα σημεία μαλακώματος και λειωσίματος είναι σχετικά χαμηλά.

Οι ιδιότητες των πολυμερών εξαρτώνται βασικά από δύο παράγοντες:

- α) την ευκαμψία των αλυσίδων, και
- β) την αλληλεπίδραση της αλυσίδας με τις γειτονικές της αλυσίδες.

Ο πρώτος παράγοντας είναι κυρίως σε σχέση με τις επαναλαμβανόμενες δομικές μονάδες. Δηλαδή, ογκώδη μόρια σκληραίνουν και κάνουν τις αλυσίδες δύσκαμπτες (συγκρίνετε το σημείο μαλακώματος του καουτσούκ πολυ-βουταδιενίου (-80°C) με αυτό του πολυ-στυρενίου (+100°C). Άλλο παράδειγμα είναι η αύξηση της σκληρότητας με την αντικατάσταση των ατόμων H του πολυ-αιθυλενίου με φθόριο (πολύ-τετρα-φλουορο-πολύ-αιθυλένιο).

| Πολυμερές | Μήκος πλευρικής αλυσίδας | Σημείο λειωσίματος (T_m , °C) |
|-----------------|---|---|
| Πολύ-αιθυλένιο | -H | 135 |
| Πολύ-προπυλένιο | -CH ₃ | 170 |
| Πολύ-βουτένιο | -CH ₂ -CH ₃ - | 128 |
| Πολύ-πεντένιο | -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃ - | 80 |
| Πολύ-ξεξένιο | -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃ - | Κάτω από την κανονική θερμοκρασία δωματίου |

Εναλλακτικά η δυσκαμψία των αλυσίδων μπορεί να αυξηθεί με την εισαγωγή πολύ σκληρών μορίων εντός της αλυσίδας του πολυμερούς. Παραδείγματα είναι οι ενώσεις με αρωματικούς δακτυλίου.

Η αλληλεπίδραση των αλυσίδων με τις γειτονικές τους αλυσίδες καλύπτεται από την δύναμη και την απόσταση στην οποία αυτή δρα. Δυνάμεις εντός των αλυσίδων είναι δυνατότερες για πολικά μόρια.

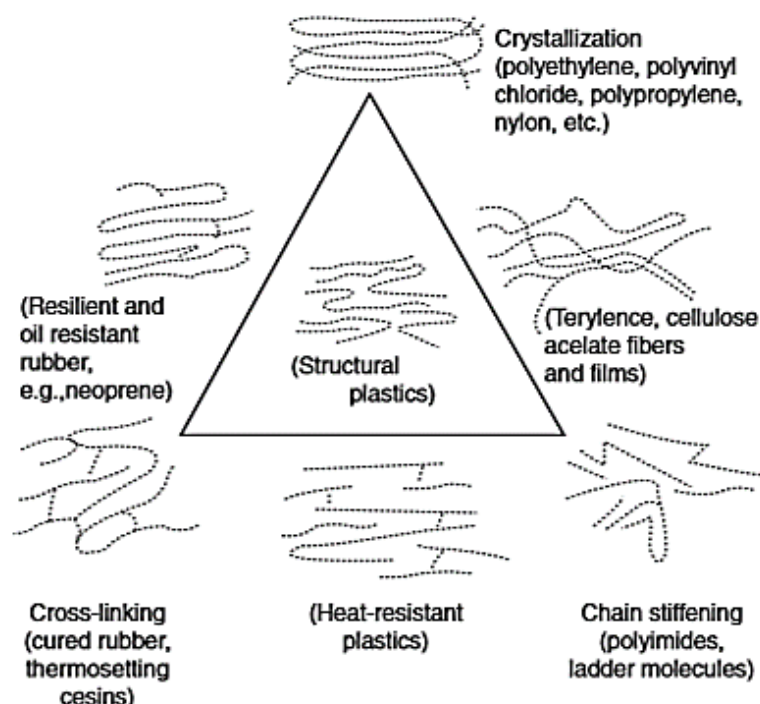


FIGURE Three basic principles—crystallization, cross-linking, and chain stiffening—for making polymers strong and temperature resistant are represented at the three corners of the triangle. The sides and the center of the triangle indicate various combinations of the principles. (After Mark, H. F. 1967. *Sci. Am.*, 217, 3, Sept. 19, 148,

Η εισαγωγή πλευρικών αλυσίδων με αυξανόμενο μήκος απωθεί τις γειτονικές αλυσίδες μακριά μειώνοντας την αποτελεσματικότητα έλξης διάφορων δραστικών κέντρων κατά μήκος των αλυσίδων. Για να μειωθεί η θερμοκρασία μαλακώματος θα πρέπει να υπάρχουν εύκαμπτες πλευρικές αλυσίδες, αλλιώς η επίδραση μιας δύσκαμπτης κεντρικής αλυσίδας θα υπερκεράσει το αποτέλεσμα της απομάκρυνσης των αλυσίδων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η μεταβολή του σημείου λειωσίματος των πολύ-ολεφινών, όπως φαίνεται πιο κάτω.

TABLE Properties of Polypropylene Stereoisomers

| Property | Stereoisomers | | |
|---|------------------------------------|--|------------------------------------|
| | Isotactic | Syndiotactic | Atactic |
| Appearance | Hard solid | Hard solid | Soft rubbery |
| Melting temperature (°C) | 175 | 131 | <100 |
| Density (g/cc) | 0.90–0.92 | 0.89–0.91 | 0.86–0.89 |
| Tensile strength [psi (N/m ²)] | 5,000 (3.4 × 10 ⁷) | — | — |
| Solubility | Insoluble in most organic solvents | Soluble in ether and aliphatic hydrocarbon | Soluble in common organic solvents |
| Crystallinity (%) | <70 | — | — |
| Glass transition temperature (°C) | 0 to –35 | — | –11 to –35 |

Η αύξηση της θερμοκρασία από το από το πολύ-αιθυλένιο στο πολύ-προπυλένιο είναι αποτέλεσμα της δυσκαμψίας των αλυσίδων ενώ η περαιτέρω μείωση είναι το αποτέλεσμα της αυξανόμενης απομάκρυνσης των αλυσίδων.

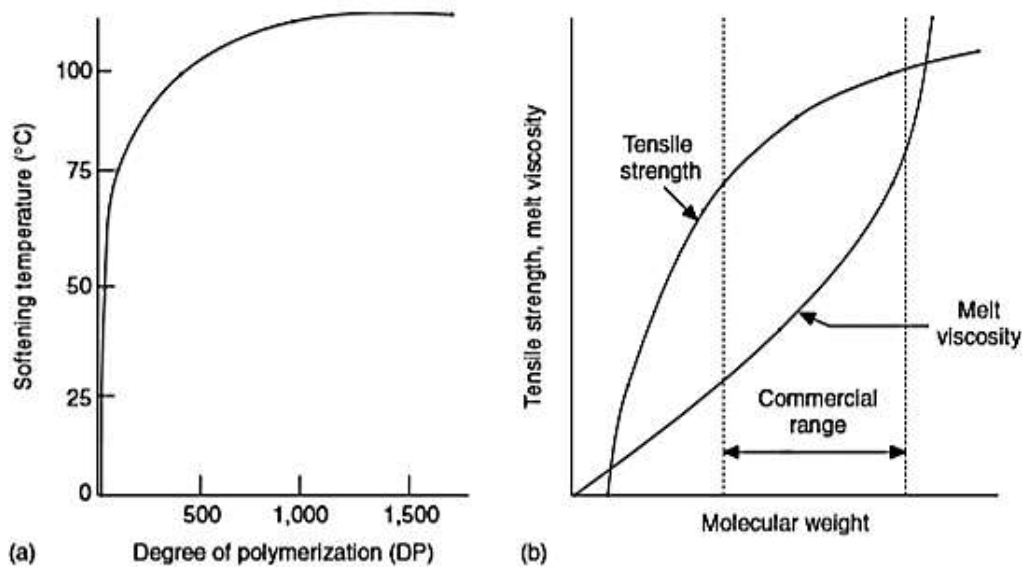
Αυξημένη διπολική ροπή των μορίων C-CH₃, C-Cl, C-CN, οδηγεί σε αυξημένο σημείο λειωσίματος για τα πολυμερή όπου αυτά τα μόρια εμπλέκονται στις αλυσίδες τους.

| | ASTM Test Method | Polyethylene | | Polypropylene |
|---|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | Low Density | High Density | |
| 1. Specific gravity | D792 | 0.91–0.925 | 0.94–0.965 | 0.900–0.910 |
| 2. Tensile modulus (psi × 10 ⁻⁵) | D638 | 0.14–0.38 | 0.6–1.8 | 1.6–2.25 |
| 3. Compressive modulus (psi × 10 ⁻⁵) | D695 | — | — | 1.5–3.0 |
| 4. Flexural modulus (psi × 10 ⁻⁵) | D790 | 0.08–0.6 | 1.0–2.6 | 1.7–2.5 |
| 5. Tensile strength (psi × 10 ⁻³) | D638, D651 | 0.6–2.3 | 3.1–5.5 | 4.5–6.0 |
| 6. Elongation at break (%) | D638 | 90–800 | 20–130 | 100–600 |
| 7. Compressive strength (psi × 10 ⁻³) | D695 | 2.7–3.6 | 12–18 | 5.5–8.0 |
| 8. Flexural yield strength (psi × 10 ⁻³) | D790 | — | 1.0 | 6–8 |
| 9. Impact strength, notched Izod, (ft-lb/in.) | D256 | No break | 0.5–20 | 0.4–1.0 |
| 10. Hardness, Rockwell | D785 | D40–51(Shore) | D60–70 (Shore) | R80–102 |
| 11. Thermal conduct. (cal/s-cm-K × 10 ⁴) | C177 | 8.0 | 11–12 | 2.8 |
| 12. Specific heat (cal/g-K) | — | 0.55 | 0.55 | 0.46 |
| 13. Linear therm. exp. coeff. (K ⁻¹ × 10 ⁵) | D696 | 10–22 | 11–13 | 8.1–10.0 |
| 14. Continuous-use temperature (°C) | — | 80–100 | 120 | 120–160 |
| 15. Deflection temp. (°C at 0.45 MPa) | D648 | 38–49 | 60–88 | 107–121 |
| 16. Volume resistivity, ohm cm | D257 | > 10 ¹⁶ | > 10 ¹⁶ | > 10 ¹⁶ |
| 17. Dielectric constant at 1 kHz | D150 | 2.25–2.35 | 2.30–2.35 | 2.2–2.6 |
| 18. Dielectric strength (kV/in.) | D149 | 450–1000 | 450–500 | 500–660 |

| | ASTM Test Method | Polyethylene | | Polypropylene |
|---|------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|
| | | Low Density | High Density | |
| 19. Dissipation factor at 1 kHz | D150 | < 0.0005 | < 0.0005 | < 0.0018 |
| 20. Deleterious media | D543 | Oxidizing acids | Oxidizing acids | Strong oxidizing acids |
| 21. Solvents (room temperature) (CLH = chlorinated hydrocarbons) | | None | None | None |

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΟΡΙΑΚΟ ΤΟΥΣ ΒΑΡΟΣ ΚΑΙ ΤΙΣ ΑΛΥΣΙΔΕΣ ΤΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Τα μοριακά βάρη του πολυμερούς μπορούν να εκφραστούν με διαφορετικούς τρόπους οι οποίοι έχουν αξία για την εφαρμογή για την οποία ενδιαφερόμαστε. Παραδείγματα είναι το μοριακό βάρος βάσει μήκους των αλυσίδων που ορίζει τον βαθμό πολυμερισμού, το μέσο μοριακό βάρος ιξώδους που ορίζει αναλόγως το ιξώδες του πολυμερούς και είναι πιο κοντά στο μέσο βάρος (weight average) παρά στο μέσο αριθμό μοριακού βάρους (number average molecular weight) του πολυμερούς.

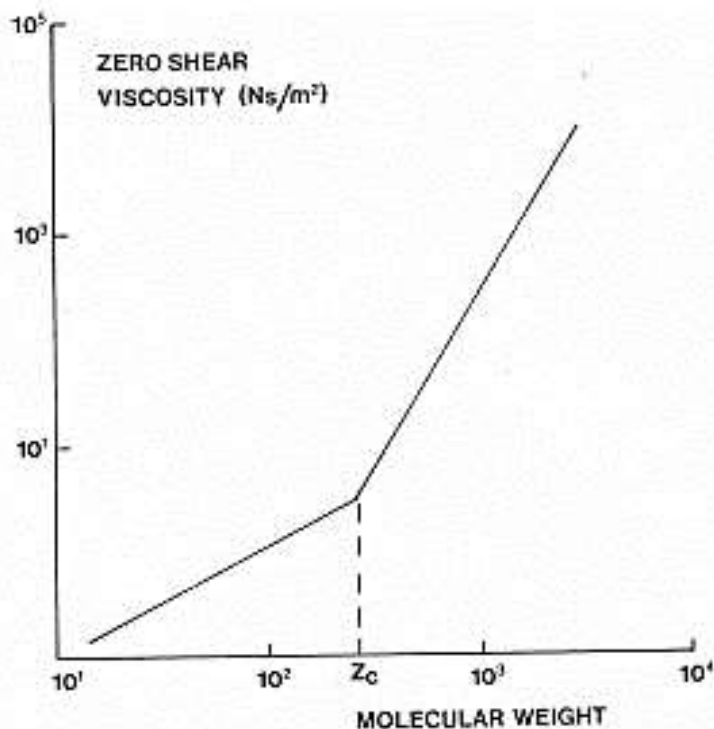


Το τελευταίο συνδυάζεται με την αύξηση του σημείο βρασμού του διαλύματος που περιέχει το πολυμερές και στην μείωση του σημείου τήξης του διαλύτη με διάλυμα πολυμερούς.

Το μοριακό βάρος αναλογεί και στον βαθμό διάθλασης του φωτός σε διάλυμα πολυμερούς και μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε κρυσταλλικά πολυμερή.

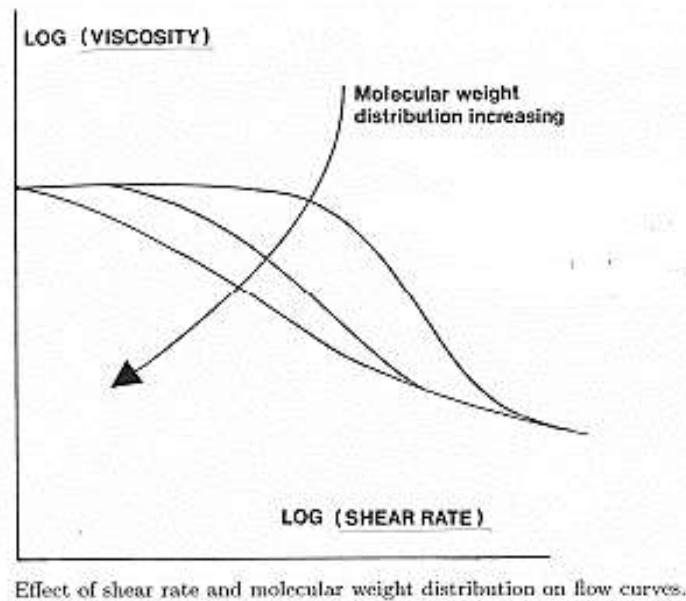
Η κατανομή των μηκών των αλυσίδων με βάση το μοριακό τους βάρος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον διαχωρισμό των διαλυμάτων πολυμερών σε μια σειρά κλασμάτων. Η διεργασία συμπεριλαμβάνει είτε αλλαγή της θερμοκρασίας ή της δύναμης του διαλύτη.

Σε υψηλή τάση, οι αλυσίδες θα είναι περισσότερο ξεμπλεγμένες και άρα θα μπορούν να προσανατολιστούν περισσότερο κατά την φορά της ροής του πολυμερούς. Αυτό δημιουργεί μικρότερη αντίσταση στην ροή και θα αυξήσει το ιξώδες του πολυμερούς με μικρότερη εξάρτηση από το μοριακό του βάρος.



Effect of chain length (molecular weight) on viscosity at zero shear rate.

Επίσης μεταβολή της Νευτώνειας συμπεριφοράς του πολυμερούς γίνεται με πολύ μικρότερη διάτμηση σε πολυμερή με μεγάλο εύρος Σε υψηλές τάσεις το ιξώδες φαίνεται να εξαρτάται από το μέσο μοριακό βάρος. Πολυμερή με μακριές αλυσίδες έχουν μικρότερο ιξώδες από γραμμικά πολυμερή με το ίδιο μοριακό βάρος. Η φυσική εξήγηση έγκειται στο γεγονός ότι διακλαδιζόμενα πολυμερή είναι πιο συμπαγή και λιγότερο μπλεγμένα.



ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΗΜΙΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ (Properties of semicrystalline polymers)

Θερμικές και μηχανικές ιδιότητες

Κάτω από την θερμοκρασία μετάπτωσης υάλου τα άμορφα πολυμερή είναι συνήθως σκληρά και εύθραυστα, λόγω της χαμηλής κινητικότητας των μορίων τους. Η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αυξημένη μοριακή κίνηση με αποτέλεσμα τα υλικά να μεταβαίνουν σε περιοχή ελαστικών ιδιοτήτων. Εάν μία σταθερή δύναμη εφαρμόζεται σε ένα πολυμερές σε θερμοκρασίες πάνω από το T_g προκαλεί ιξωδοελαστική παραμόρφωση, δηλαδή, το πολυμερές αρχίζει να παρουσιάζει φαινόμενα ερπυσμού. Έτσι, η αντοχή στη θερμότητα δίνεται για άμορφα πολυμερή ακριβώς κάτω από τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης τους.

Στα ημικρυσταλλικά πολυμερή, σχετικά ισχυρές διαμοριακές δυνάμεις εμποδίζουν το μαλάκωμα ακόμη και πάνω από τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης. Σημαντικές αλλαγές του συντελεστή ελαστικότητας εμφανίζονται μόνο σε υψηλές θερμοκρασίες (τήξης). Αυτό εξαρτάται επίσης από το ποσοστό/βαθμό κρυσταλλικότητας. Έτσι, υψηλότερα ποσοστά κρυσταλλικότητας οδηγούν σε ένα σκληρότερο και περισσότερο θερμικά σταθερό υλικό, αλλά και πιο εύθραυστο, καθώς μόνο οι άμορφες περιοχές παρέχουν ορισμένη ελαστικότητα και αντοχή στην κρούση. Ένα άλλο χαρακτηριστικό γνώρισμα των ημικρυσταλλικών πολυμερών είναι ισχυρή ανισοτροπία των μηχανικών ιδιοτήτων τους κατά μήκος της κατεύθυνσης της μοριακής ευθυγράμμισης και κάθετα προς αυτή.

Τα πλαστικά είναι βισκοελαστικά (viscoelastic) υλικά, πράγμα που σημαίνει ότι βάσει της εφαρμοζόμενης τάσης, η παραμόρφωση τους αυξάνει με το χρόνο (ερπυσμός). Οι ελαστικές ιδιότητες των πλαστικών, ως εκ τούτου διακρίνονται ανάλογα με την χρονική κλίμακα των δοκιμών, σε μικρής διάρκειας (όπως η δοκιμασία εφελκυσμού που διαρκεί λεπτά), σε δοκιμή επιφόρτισης σοκ, σε συμπεριφορά υπό μακροπρόθεσμη και στατική φόρτιση, καθώς και σε κραδασμούς που προκαλούνται από το στρες.

Οπτικές ιδιότητες

Τα ημικρυσταλλικά πολυμερή είναι συνήθως αδιαφανή λόγω της σκέδασης του φωτός στα όρια μεταξύ των κρυσταλλικών και των άμορφων περιοχών. Η πυκνότητα αυτών των ορίων είναι μικρότερη και επομένως η διαφάνεια είναι υψηλότερη είτε για τα χαμηλής κρυσταλλικότητας (άμορφα πολυμερή) είτε για τα υψηλής κρυσταλλικότητας (κρυσταλλικά πολυμερή). Για παράδειγμα, το α-τακτικό πολυπροπυλένιο είναι συνήθως άμορφο και διαφανές, ενώ το συνδιοτακτικό πολυπροπυλένιο, το οποίο έχει κρυσταλλικότητα περίπου στο 50%, είναι αδιαφανές. Η κρυσταλλικότητα επηρεάζει επίσης το χρώμα στα πολυμερή καθώς τα κρυσταλλικά πολυμερή είναι πιο δύσκολα στη χρώση από τα άμορφα καθώς τα μόρια της χρωστικής διεισδύουν πολύ ευκολότερα δια μέσω των άμορφων περιοχών.

ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΚΑΙ ΥΛΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Εξωθητές (extruders)

Καθώς η απόδοση των εξωθητών εξαρτάται από την μεγιστοποίηση της ποσότητας του υλικού που βγαίνει από το μηχάνημα, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να γνωρίζουμε τις πιο κάτω ιδιότητες των υλικών:

Κατηγορία ιδιοτήτων ροής

α) Ιξώδες τήγματος (melt viscosity). Αν και πολυμερή με δείκτη τήγματος (melt-index) και χαμηλό ιξώδες διάτμησης (low shear viscosity) παρουσιάζουν πλεονεκτήματα στην επεξεργασία λόγω χαμηλής πίεσης και χαμηλά κόστη παραγωγής, οι σημερινοί εξωθητές είναι επαρκώς δυνατοί να επεξεργαστούν τύπους πολυμερών με υψηλό μοριακό βάρος ώστε να έχουμε υλικά με αυξημένη δύναμη και σταθερότητα σχήματος. Οι μηχανικές ιδιότητες του αντικειμένου επίσης ενισχύονται με την επιλογή ενός υψηλού μοριακού βάρους πολυμελούς.

β) Δύναμη λειωμένου υλικού (melt strength). Η αντοχή των πολυμερών σε τάνυση και διάρρηξη της μάζας τους εμπεριέχει κι ένα όριο χρήσης καθώς εσωτερικά κενά και τάσεις μπορούν αν οδηγήσουν σε διάρρηξη της μάζας του λειωμένου υλικού. Σε ροές επιμήκυνσης των αλυσίδων τα φαινόμενα αυτά μπορούν αν επηρεάσουν τις αντοχές των μεμβρανών κατά την παραγωγή τους (blown film extrusion) ή την καταστροφή του μορφώματος (parison) κατά την εξώθηση με φυσητή χύτευση (extrusion blown moulding).

γ) Ελαστικότητα λειωμένου υλικού (melt elasticity). Η ακριβής γνώση της ανάκτησης μιας τάσης διάτμησης στην μάζα ενός υλικού επιτρέπει τον σχεδιασμό των κατάλληλων ακροφύσιων των εξωθητών (dies) για την μείωση των παραλλαγών μεταξύ των διαστάσεων τους και αυτών των ακροφύσιων. Η αναλογία της διόγκωσης, τυπικά μεταξύ 1,0 – 2,5, μπορούν να επηρεαστούν σημαντικά με την θερμοκρασία, γεωμετρία, μοριακό βάρος και ρυθμό διάτμησης του πολυμερούς στον εξωθητή.

Κατηγορία θερμικής αντοχής και σταθερότητας

Τα προβλήματα της θερμικής αντοχής των πολυμερών προέρχονται τόσο λόγω θερμοκρασίας όσο και χρόνου παραμονής στον εξωθητή σε χαμηλές θερμοκρασίες. Κατά συνέπεια η κατανομή του χρόνου παραμονής (residence time distribution) για μια δεδομένη διεργασία, είναι ιδιαίτερα σημαντική προς αποφυγή της παραμονής του υλικού (hang-up) στο εσωτερικό και καθυστέρησης μεταφοράς του στην επόμενη φάση της διεργασίας.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

- Προσδιορισμός της δομής των αλυσίδων
 - Πυρόλυση
 - Υπέρυθρη φασματοσκοπία (Infrared spectroscopy)
 - Πυρηνικό μαγνητικό συντονισμό (Nuclear magnetic resonance)
- Προσδιορισμός του μήκους των αλυσίδων
- Προσδιορισμός της κατανομής των αλυσίδων βάσει του μήκους
- Προσδιορισμός του σημείου μεταβολής της υαλώδους φάσης
- Προσδιορισμός τη κρυστάλλωσης
- Θερμοκρασία λειωσίματος και θερμοκρασίας κρυστάλλωσης
- Ρυθμός κρυστάλλωσης
- Υφή
- Προσανατολισμός

ΓΥΑΛΙ

Το γυαλί είναι ένα ομοιόμορφο υλικό της αμφισβητήσιμης φάσης (όπου η λέξη "φάση" χρησιμοποιείται για να περιγράψει είτε αέριο, το υγρό, είτε το στερεό). Παράγεται όταν το ιξώδες λειωμένο υλικό κρυσώνει πολύ γρήγορα κάτω από τη θερμοκρασία μετάβασης του γυαλιού (Tg), χωρίς αρκετό χρόνο για ένα διαμορφωθεί ένα κανονικό δικτυωτό πλέγμα κρυστάλλου. Η πιο γνωστή μορφή γυαλιού είναι το υλικό με βάση το πυρίτιο που χρησιμοποιείται για τα οικιακά αντικείμενα όπως οι λάμπες και τα παράθυρα. Το γυαλί είναι ένα βιολογικά ανενεργό υλικό που μπορεί να διαμορφωθεί σε ομαλές και αδιαπέραστες επιφάνειες. Κάτω από ένταση, το γυαλί είναι εύθραυστο ενώ υπό συμπίεση, το καθαρό γυαλί μπορεί να αντισταθεί σε ένα μεγάλο ποσό δύναμης. Τις ιδιότητες του γυαλιού μπορούν να τροποποιηθούν ή να αλλάξουν με την προσθήκη άλλων ενώσεων ή τη θερμική επεξεργασία. Τα περισσότερα γυαλιά περιέχουν περίπου 70-72% διοξειδίου πυριτίου (SiO₂). Η πιο κοινή μορφή γυαλιού είναι το γυαλί ανθρακικού νατρίου-ασβεστίου, το οποίο περιέχει σχεδόν 30% νάτριο και οξείδια ή τα ανθρακικά άλατα ασβεστίου. Το Pyrex είναι γυαλί που περιέχει το βορικό οξείδιο περίπου κατά 10%. Μια άλλη μορφή γυαλιού περιέχει ένα ελάχιστο του οξειδίου μολύβδου στο 24%. Η σημαντικότερη πρώτη ύλη του γυαλιού είναι άμμος (ή "άμμος χαλαζία") που περιέχουν σχεδόν 100% του κρυστάλλινου πυριτίου υπό μορφή χαλαζία. Αν και είναι σχεδόν καθαρός χαλαζίας, μπορεί ακόμα να περιέχει ένα μικρό ποσό (λιγότερο από 1 %) οξειδίων του σιδήρου που χρωματίζουν το γυαλί, πριν την παραγωγή μειώνεται το ποσό των οξειδίων του σιδήρου λιγότερο από 0,05 %. Το συνθετικό άμορφο πυρίτιο, μια καθαρή μορφή σχεδόν 100% χαλαζία, είναι η πρώτη ύλη για τα ακριβότερα εξειδικευμένα γυαλιά. Η πιο κοινή μέθοδος για την παραγωγή γυαλιού χρησιμοποιεί το λειωμένο κασίτερο, ο οποίος είναι και επίπεδος και σχετικά ελαφρύς για ένα μέταλλο. Το λειωμένο γυαλί ρέει πάνω στον κασίτερο, δίνοντας κατά συνέπεια του το όνομα "επιπλέον γυαλί".

Το φυσικά υπάρχον γυαλιά, όπως ο οψιδιανός, έχει χρησιμοποιηθεί από την λίθινη εποχή. Σύμφωνα με τον Πλίνιο τον Πρεσβύτερο, οι Φοίνικες έκαναν το πρώτο γυαλί: Η παράδοση λέει ότι ένα εμπορικό σκάφος φορτωμένο με νίτρο βγήκε στην παραλία και οι έμποροι ετοιμάζοντας το γέυμα τους στην παραλία, και μην έχοντας πέτρες για στήριγμα των μαγειρικών σκευών τους, χρησιμοποίησαν τα κομμάτια του νίτρου από το σκάφος, το οποίο έλιωσε, αναμίχθηκε με την άμμος της ακτής, και δημιούργησε ένα νέου διάφανο υγρό, το γυαλί. Το ότι οι Φοίνικες χρησιμοποίησαν το γυαλί σαν λούστρο για την αγγειοπλαστική ήταν γνωστό από το 3000 π.Χ.. Εντούτοις, υπάρχουν αρχαιολογικά στοιχεία για να υποστηριχθεί η αξίωση ότι το πρώτο γυαλί έγινε στη Μεσοποταμία. Οι χάντρες γυαλιού, οι σφραγίδες, και οι αρχιτεκτονικές διακοσμήσεις χρονολογούνται από το περίπου 2500 π.Χ. Το γυαλί ανακαλύφθηκε επίσης από ιθαγενείς Αμερικανούς κατά τη διάρκεια του ίδιου χρονικού διαστήματος. Το χρώμα του φυσικού γυαλιού είναι πράσινο γαλαζωπό έως πράσινο. Αυτό το χρώμα προκαλείται από τις ακαθαρσίες σιδήρου που υπάρχουν φυσικά στην άμμο. Το κοινό γυαλί σήμερα συνήθως έχει μια μικρή πράσινη ή μπλε απόχρωση, που προκύπτει από αυτές τις ίδιες ακαθαρσίες. Οι παραγωγή γυαλιού έμαθαν να κάνουν το χρωματισμένο γυαλί με την προσθήκη των μεταλλικών ενώσεων και των ορυκτών οξειδίων ώστε να παραχθούν στα προϊόντα τους τα λαμπρά χρώματα του κόκκινου, πράσινου, και του μπλε, τα χρώματα των πολύτιμων λίθων. Οι πιο παλιές γνωστές χάντρες από την Αίγυπτο έγιναν κατά τη διάρκεια του Νέου Βασιλείου περίπου το 1500 π.Χ. και παρήχθησαν σε ποικίλα χρώματα. Έγιναν με το τύλιγμα του λειωμένου γυαλιού γύρω από μέταλλο και ήταν ιδιαίτερα ακριβές καθώς χρησιμοποιούνταν σαν προϊόντα εμπορικών συναλλαγών, ειδικά οι μπλε χάντρες, που θεωρήθηκαν ότι έχουν μαγικές δυνάμεις.

Υπολογισμός των ιδιοτήτων γυαλιού.

Οι ιδιότητες του γυαλιού μπορούν να υπολογιστούν μέσω της στατιστικής ανάλυσης βάσεων δεδομένων του γυαλιού όπως SciGlass και Interglad. Εάν η επιθυμητή ιδιότητα γυαλιού δεν συσχετίζεται με την κρυστάλλωση (π.χ., θερμοκρασία liquidus) ή το διαχωρισμό φάσεων, η γραμμική συμμεταβολή μπορεί να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας τις κοινές πολυωνυμικές λειτουργίες μέχρι τον τρίτο βαθμό. Κατωτέρω είναι μια εξίσωση παραδείγματος του δεύτερου βαθμού. Οι γ-αξίες είναι οι συγκεντρώσεις συστατικών του γυαλιού όπως Na₂O ή CaO σε ποσοστό ή άλλες μονάδες, οι β-αξίες είναι συντελεστές, και το ν είναι ο συνολικός αριθμός συστατικών του γυαλιού. Το κύριο συστατικό του γυαλιού (SiO₂) αποκλείεται από την εξίσωση λόγω της υπερ-παραμετροποίησης εξαιτίας του περιορισμού ότι όλα τα συστατικά αθροίζονται στο 100%, Πολλοί όροι στην εξίσωση μπορούν να παραμεληθούν βασισμένοι στην ανάλυση συσχετισμού και σημασίας. Οι περαιτέρω λεπτομέρειες και τα παραδείγματα είναι διαθέσιμες σε Glassproperties.com.

Πρέπει συχνά να βελτιστοποιηθούν ταυτόχρονα οι διάφορες ιδιότητες γυαλιού, συμπεριλαμβανομένων των δαπανών παραγωγής. Αυτό μπορεί να εκτελεσθεί σε έναν υπολογισμό με λογιστικό φύλλο (spreadsheet) ως εξής:

1. Λίστα των επιθυμητών ιδιοτήτων
2. Εισοδος των προτύπων για τον αξιόπιστο υπολογισμό των ιδιοτήτων βασισμένων στη σύνθεση γυαλιού, συμπεριλαμβανομένου ενός τύπου για τον υπολογισμό των δαπανών παραγωγής
3. Υπολογισμός των τετραγώνων των διαφορών (λάθη) μεταξύ των επιθυμητών και υπολογισμένων ιδιοτήτων

4. Μείωση του ποσού των τετραγώνων των λαθών με τα τμήματα γυαλιού ως μεταβλητές.

Μερικοί άνθρωποι θεωρούν ότι το γυαλί είναι ένα υγρό λόγω στην έλλειψή του μιας μετάβασης φάσης πρώτης-τάξης. Δεν υπάρχει καμία ασυνεχής αλλαγή της πυκνότητας και καμίας λανθάνουσας θερμότητας τήξης. Εντούτοις, το γυαλί περνά από μια μετάβαση φάσης δεύτερης-τάξης όπου δεν υπάρχει θερμική διαστολή και λανθάνουσα θερμότητα of fusion Αν και το γυαλί έχει τις ιδιότητες ενός supercooled υγρού, ταξινομείται γενικά ως στερεό σε θερμοκρασίες δωματίου. Ένα supercooled υγρό εξακολουθεί να είναι ακόμα υγρό – κινείται και συμπεριφέρεται όπως ένα υγρό, και όχι ένα στερεό - αλλά είναι κάτω από το σημείο ψύξης του υλικού και κρυσταλλώνει σχεδόν αμέσως εάν προστεθεί ένα κρύσταλλο ως πυρήνας.

DRAFT

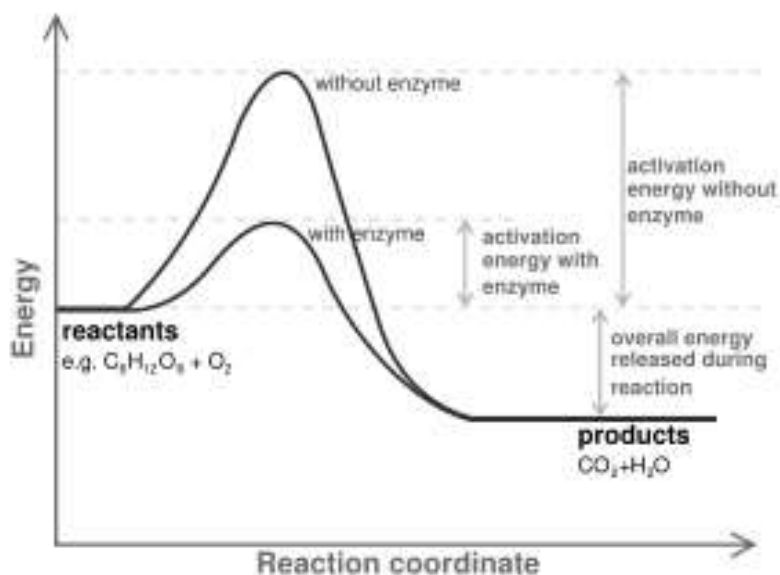
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΙΑΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ (ACTIVATION ENERGY)

Στη χημεία, ενέργεια ενεργοποίησης, αποκαλούμενη επίσης ενέργεια κατώτατων ορίων, είναι ένας όρος που εισάγεται το 1889 από τον Svante Arrhenius και ορίζεται ως η ενέργεια που πρέπει να υπερνικηθεί για να εμφανιστεί μια χημική αντίδραση. Η ενέργεια ενεργοποίησης μπορεί ειδικά να δειχτεί ως η ελάχιστη ενέργεια απαραίτητη για να εμφανιστεί μια συγκεκριμένη χημική αντίδραση. Η ενέργεια ενεργοποίησης μιας αντίδρασης (E_a), δίνεται σε κιλοτζάουλς ανά γραμμομόριο (kJ/mole). Βασικά, η ενέργεια ενεργοποίησης είναι το ύψος του πιθανού εμποδίου (μερικές φορές αποκαλούμενου ενεργειακού εμπόδιο) που χωρίζει δύο ελάχιστα πιθανής ενέργειας (των αντιδραστηρίων και των προϊόντων της αντίδρασης). Για να έχει μια χημική αντίδραση αξιοπρόσεχτο ρυθμό εξέλιξης, θα πρέπει να υπάρξει αξιοπρόσεχτος αριθμός μορίων με ενεργειακό ισοζύγιο ίσο ή μεγαλύτερο από την ενέργεια ενεργοποίησης.

Θεωρία

Σύμφωνα με το «μοντέλο σύγκρουσης», υπάρχουν τρεις απαραίτητες απαιτήσεις για να πραγματοποιηθεί μια αντίδραση:

1. τα μόρια πρέπει να συγκρουστούν για να αντιδράσουν. Εάν δύο μόρια συγκρουστούν απλά, εντούτοις, δεν θα αντιδράσουν πάντα, επομένως, το περιστατικό μιας σύγκρουσης δεν είναι αρκετό. Η δεύτερη απαίτηση είναι ότι:
2. πρέπει να υπάρξει αρκετή ενέργεια (ενέργεια της ενεργοποίησης) για να αντιδράσουν τα δύο μόρια. Αυτό είναι η ιδέα μιας κατάστασης μετάβασης. Εάν δύο αργά μόρια συγκρουστούν μπορεί να αναπηδήσουν το ένα το άλλο επειδή δεν περιέχουν αρκετή ενέργεια για να φθάσουν στην ενέργεια της ενεργοποίησης και να υπερνικήσουν την κατάσταση μετάβασης (το υψηλότερο ενεργειακό σημείο). Τέλος, η τρίτη απαίτηση είναι:
3. τα μόρια πρέπει να προσανατολιστούν σωστά το ένα με το άλλο. Για να εμφανιστεί η αντίδραση μεταξύ δύο συγκρουόμενων μορίων, πρέπει να συγκρουστούν με το σωστό προσανατολισμό, και να κατέχουν έναν ορισμένο, ελάχιστο, ποσό ενέργειας. Καθώς τα μόρια πλησιάζουν το ένα το άλλο, τα σύννεφα ηλεκτρονίων τους αποκρούουν το ένα το άλλο. Η υπερνίκηση αυτής της απόκρουσης απαιτεί την ενέργεια ενεργοποίησης, η οποία παρέχεται χαρακτηριστικά από τη θερμότητα του συστήματος, αν και μερικές φορές προέρχεται και από το φως (φωτοχημεία) ή τα ηλεκτρικά πεδία (ηλεκτροχημεία). Εάν υπάρχει αρκετή ενέργεια διαθέσιμη, η απόκρουση υπερνικείται και τα μόρια βρίσκονται αρκετά κοντά ώστε η έλξη μεταξύ των μορίων να προκαλέσει μια αναδιοργάνωση των δεσμών.



Συσχετισμός της αντίδρασης μεταξύ της κινητικής του ενζύμου και της ενέργειας ενεργοποίησης.

Σε χαμηλές θερμοκρασίες για μια ιδιαίτερη αντίδραση, (αλλά όχι όλες) τα μόρια δεν θα έχουν αρκετή ενέργεια για να αντιδράσουν. Εντούτοις σχεδόν πάντα θα υπάρξει ένας ορισμένος αριθμός με αρκετή ενέργεια σε οποιαδήποτε θερμοκρασία επειδή η θερμοκρασία είναι ένα μέτρο της μέσης ενέργειας του συστήματος - τα μεμονωμένα μόρια μπορούν να έχουν λιγότερη ή περισσότερη ενέργεια από το μέσο όρο. Η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει το ποσοστό των μορίων με περισσότερη ενέργεια από την ενέργεια ενεργοποίησης, και συνεπώς αυξάνει ανάλογα και ο ρυθμός της αντίδρασης. Χαρακτηριστικά η ενέργεια ενεργοποίησης δίνεται ως η ενέργεια σε kilojoules που απαιτούνται από έναν γραμμομόριο των αντιδρώντων για να αντιδράσουν.

Η μαθηματική διατύπωση

Η εξίσωση Arrhenius, δίνει την ποσοτική βάση της σχέσης μεταξύ της ενέργειας ενεργοποίησης και του ρυθμού της αντίδρασης με την οποία προχωρά μια αντίδραση. Από την εξίσωση Arrhenius, η ενέργεια ενεργοποίησης μπορεί να εκφραστεί ως:

$$E_a = -RT \ln \left(\frac{k}{A} \right)$$

όπου:

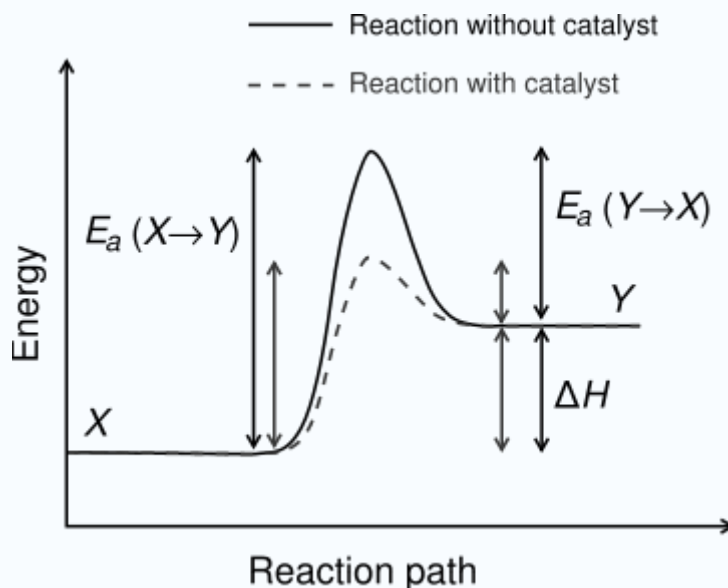
το A είναι ο παράγοντας συχνότητας για την αντίδραση,

το R είναι η παγκόσμια σταθερά των αερίων, και

το T είναι η θερμοκρασία (σε °Kelvin).

Όσο υψηλότερη η θερμοκρασία, τόσο πιθανότερο η αντίδραση να είναι σε θέση να υπερνικήσει την ενέργεια ενεργοποίησης. Το A είναι ένας παράγοντας, ο οποίος εκφράζει την πιθανότητα τα μόρια να έχουν έναν ευνοϊκό προσανατολισμό και είναι σε θέση να προχωρήσουν σε μια σύγκρουση. Για να προχωρήσει η αντίδραση και να υπερνικήσει την ενέργεια ενεργοποίησης, η θερμοκρασία, ο προσανατολισμός, και η ενέργεια των μορίων θα πρέπει να είναι σε αυξημένα ουσιαστικά επίπεδα. Αυτή η εξίσωση κατορθώνει να συνοψίσει όλα αυτά τα πράγματα. Η E_a , για τις περισσότερες χημικές αντιδράσεις, είναι της τάξης των λίγων ηλεκτροβόλτ (electronvolt), δεδομένου ότι οι χημικές αντιδράσεις περιλαμβάνει μόνο την ανταλλαγή των πιο ακραίων ηλεκτρονίων μεταξύ των ατόμων. Η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10°K (σε θερμοκρασία δωματίου $kT \sim 0.04\text{eV}$) περίπου διπλασιάζει το ρυθμό μιας αντίδρασης (όταν δεν υπάρχουν άλλοι συντελεστές και παράγοντες εξαρτώμενοι από τη θερμοκρασίας). Η αύξηση αυτή του ρυθμού οφείλεται σε μια αύξηση του αριθμού των μορίων που έχουν την απαραίτητη ενέργεια ενεργοποίησης (όπως δίνεται από η εξίσωση διανομής Boltzmann).

Μεταβατικά στάδια (Transition states)



Η σχέση μεταξύ της ενέργειας ενεργοποίησης (E_a) και της ενθαλπίας σχηματισμού (ΔH) με και χωρίς καταλύτη. Η υψηλότερη ενεργειακή θέση (μέγιστη θέση) αντιπροσωπεύει την κατάσταση μετάβασης. Με τον καταλύτη, η ενέργεια που απαιτείται για να εισέλθει η αντίδραση στην κατάσταση μετάβασης μειώνεται, με αυτόν τον τρόπο μειώνεται και η ενέργεια που απαιτείται για να αρχίσει η αντίδραση. Το στάδιο μετάβασης κατά τη διάρκεια μιας δεδομένης αντίδρασης είναι το σημείο της μέγιστης ελεύθερης ενέργειας, όπου η δημιουργία δεσμών και το σπάσιμο δεσμών είναι σε ισορροπία. Οι καταστάσεις μετάβασης υπάρχουν μόνο για εξαιρετικά σύντομα χρονικά διαστήματα (10^{-15} sec). Η ενέργεια που απαιτείται για να φθάσει στην κατάσταση μετάβασης είναι ίση με την ενέργεια ενεργοποίησης για την δεδομένη αντίδραση. Οι πολυ-επίπεδες αντιδράσεις περιλαμβάνουν διάφορα σημεία μετάβασης, εδώ η ενέργεια ενεργοποίησης είναι ίση με αυτήν του σταδίου που απαιτεί την περισσότερη ενέργεια. Μετά από αυτήν την περίοδο τα μόρια είτε κινούνται χωρίς πάλι με τον επανασηματισμό των αρχικών τους δεσμών, είτε έχουμε το σπάσιμο δεσμών και τον σχηματισμό νέων

προϊόντων. Αυτό είναι δυνατό επειδή και οι δύο περιπτώσεις οδηγούν στην απελευθέρωση ενέργειας (που παρουσιάζεται στο δεξιό μέρος του διαγράμματος της ενθαλπίας, καθώς και οι δύο θέσεις βρίσκονται κάτω από την κατάσταση μετάβασης). Μια ουσία που αλλάζει την κατάσταση μετάβασης για να χαμηλώσει την ενέργεια ενεργοποίησης καλείται καταλύτης. Ένας βιολογικός καταλύτης καλείται ένζυμο. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ένας καταλύτης αυξάνει το ποσοστό αντίδρασης χωρίς ο ίδιος να καταναλώνεται. Επιπλέον, ενώ ο καταλύτης χαμηλώνει την ενέργεια ενεργοποίησης, δεν αλλάζει τις ενέργειες των αρχικών αντιδραστηρίων ούτε των προϊόντων. Μάλλον, η ενέργεια των αντιδραστηρίων και η ενέργεια των προϊόντων παραμένουν οι ίδιες και μόνος η ενέργεια ενεργοποίησης αλλάζει (χαμηλώνει).

Αρνητική ενέργεια ενεργοποίησης.

Σε μερικές περιπτώσεις οι ρυθμοί της αντίδρασης μειώνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Οι αντιδράσεις με αρνητικές ενέργειες ενεργοποίησης είναι χαρακτηριστικά αντιδράσεις χωρίς όρια, στις οποίες η εξέλιξη της αντίδρασης στηρίζεται στη σύλληψη των μορίων σε ένα δυναμικό πεδίο. Η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε μια μειωμένη πιθανότητα των μορίων να συγκρουστούν και να συλλάβουν το ένα το άλλο (με περισσότερες περιστασιακές συγκρούσεις οι οποίες δεν βοηθούν την αντίδραση, δεδομένου ότι η υψηλότερη ορμή φέρνει τα συγκρουόμενα μόρια εκτός του δυναμικού πεδίου), μια αντίδραση που μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Η εξίσωση Arrhenius.

Η εξίσωση Arrhenius είναι μια απλή, αλλά εντυπωσιακά ακριβής, τύπος για την εξάρτηση της θερμοκρασίας ενός ρυθμού μιας χημικής αντίδρασης, ή σωστότερα, ενός συντελεστή του ρυθμού, δεδομένου ότι αυτός ο συντελεστής περιλαμβάνει όλα τα μεγέθη που έχουν επιπτώσεις στο ρυθμό της αντίδρασης εκτός από τη συγκέντρωση[1]. Η εξίσωση προτάθηκε αρχικά από τον ολλανδικό φαρμακοποιό J.H. van't Hoff το 1884 και πέντε χρόνια αργότερα, ο σουηδός φαρμακοποιός Svante Arrhenius έδωσε μια φυσική αιτιολόγηση και μια ερμηνεία της. Σήμερα, αντιμετωπίζεται ως μια εμπειρική σχέση [2]. Εν ολίγοις, η εξίσωση Arrhenius είναι μια έκφραση που παρουσιάζει την εξάρτηση της σταθεράς k των χημικών αντιδράσεων από τη θερμοκρασία T ($^{\circ}$ Kelvin) και την ενέργεια E_a ενεργοποίησης, όπως παρουσιάζεται κατωτέρω:

[3]

$$k = Ae^{-E_a/RT}$$

Όπου:

A είναι ο προ-εκθετικός παράγοντας και

R είναι η παγκόσμια σταθερά των αερίων.

Οι μονάδες του προ-εκθετικού παράγοντα είναι ίδιες με της σταθεράς του ρυθμού και ποικίλουν ανάλογα με τη τάξη της αντίδρασης. Εάν η αντίδραση είναι πρώτης τάξης έχει τις μονάδες s^{-1} , και γι' αυτό αποκαλείται συχνά παράγοντας συχνότητας ή συχνότητα προσπάθειας της αντίδρασης. Όταν η ενέργεια ενεργοποίησης δίνεται σε μοριακές μονάδες, αντί των γραμμομοριακών μονάδων, π.χ. Τζάουλ (Joules) ανά μόριο αντί των τζάουλ ανά γραμμομόριο, η σταθερά Boltzmann χρησιμοποιείται αντί της σταθεράς των αερίων. Μπορεί να δειχθεί ότι είτε αύξηση της θερμοκρασίας είτε μείωση της ενέργειας ενεργοποίησης (για το παράδειγμα μέσω της χρήσης των καταλυτών) θα οδηγήσει σε μια αύξηση του ρυθμού της αντίδρασης.

Λαμβάνοντας υπόψη τα μικρά περιθώρια της θερμοκρασίας στα οποία πραγματοποιούνται οι μελέτες της κινητικής των αντιδράσεων, είναι λογικό να προσεγγιστεί η ενέργεια ενεργοποίησης ως ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία. Ομοίως, κάτω από ένα ευρύ φάσμα πραγματικών συνθηκών, η αδύνατη εξάρτηση από τη θερμοκρασία του προ-εκθετικού παράγοντα είναι αμελητέα σε σχέση με την εξάρτηση από τη θερμοκρασία του παράγοντα $\exp(-E_a/RT)$ εκτός από την περίπτωση των χωρίς όρια αντιδράσεων, των περιορισμένων από καταστάσεις διάχυσης, οπότε σ' αυτή την περίπτωση ο προ-εκθετικός παράγοντας είναι κυρίαρχος και είναι άμεσα αισθητός.

Μερικοί συγγραφείς ορίζουν μια τροποποιημένη εξίσωση Arrhenius, η οποία καθιστά ρητή την εξάρτηση από τη θερμοκρασίας του προ-εκθετικού παράγοντα. Έχει επισημανθεί ότι "δεν είναι εφικτό να καθιερωθεί, βάσει των μελετών της θερμοκρασίας της σταθεράς του ρυθμού της αντίδρασης, εάν η προβλεφθείσα εξάρτηση του τύπου T^z του προ-εκθετικού παράγοντα είναι δυνατόν να παρατηρηθεί πειραματικά, αλλά εάν πρόσθετα θεωρητικά ή/και πειραματικά στοιχεία (όπως η εξάρτηση από την πυκνότητα) είναι διαθέσιμα, δεν υπάρχει κανένα εμπόδιο στις δηκτικές δοκιμές του νόμου του Arrhenius. Παίρνοντας το φυσικό λογάριθμο της εξίσωσης Arrhenius, έχουμε:

$$\ln(k) = \frac{-E_a}{R} \frac{1}{T} + \ln(A)$$

Έτσι, όταν μια αντίδραση έχει μια σταθερά του ρυθμού της αντίδρασης που υπακούει στην εξίσωση Arrhenius, μια γραφική παράσταση του $\ln(k)$ με το T^{-1} δίνει μια ευθεία γραμμή, η κλίση της οποίας και η τομή της μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό των E_a και A . Αυτή η διαδικασία έχει γίνει τόσο κοινή στα πειραμάματα προσδιορισμού της κινητικής μιας χημικής αντίδρασης που οι επαγγελματίες τη χρησιμοποιούν για να καθορίσουν την ενέργεια ενεργοποίησης μιας αντίδρασης. Αυτή η ενέργεια ενεργοποίησης καθορίζεται ως $(-R)$ φορές την κλίση του διαγράμματος του $\ln(k)$ με το $(1/T)$:

$$E_a \equiv -R \left(\frac{\partial \ln k}{\partial (1/T)} \right)_P$$

Κινητικές θεωρίες εξήγησης της εξίσωσης του Arrhenius

Ο Arrhenius υποστήριξε ότι για να μετασηματιστούν τα αντιδραστήρια σε προϊόντα, έπρεπε αρχικά να αποκτήσουν ένα ελάχιστο ποσό ενέργειας, αποκαλούμενο ενέργεια ενεργοποίησης, E_a . Σε μια απόλυτη θερμοκρασία T , το μέρος των μορίων που έχουν μια κινητική ενέργεια μεγαλύτερη από E_a μπορεί να υπολογιστεί από την κατανομή Maxwell-Boltzmann των στατιστικών μηχανικών, και αποδεικνύεται ανάλογη του $e^{\frac{-E_a}{RT}}$.

Η έννοια της ενέργειας ενεργοποίησης εξηγεί την εκθετική φύση της σχέσης, και με κάποιο τρόπο, είναι παρούσα σε όλες τις κινητικές θεωρίες:

Η θεωρία ένα σύγκρουσης

Η "θεωρία της σύγκρουσης" των χημικών αντιδράσεων, αναπτύχθηκε από τους Trautz και William Lewis τα χρόνια 1916-18. Θεωρητικά, τα μόρια θα αντιδράσουν υποθετικά, εάν συγκρουστούν με μια σχετική κινητική ενέργεια κατά μήκος των γραμμών που ενώνουν τα κέντρα τους η οποία ενέργεια υπερβαίνει την E_a . Αυτό οδηγεί σε μια έκφραση πολύ παρόμοια με την εξίσωση Arrhenius, με τη διαφορά ότι ο παράγοντας "A" δεν είναι σταθερός αλλά ανάλογος προς την τετραγωνική ρίζα της θερμοκρασίας. Αυτό απεικονίζει το γεγονός ότι το γενικό ποσοστό όλων των συγκρούσεων, αντιδραστικές ή όχι, είναι ανάλογο προς τη μέση μοριακή ταχύτητα που είναι στη συνέχεια ανάλογη προς $T^{1/2}$. Στην πράξη, η εξάρτηση του προ-εκθετικού παράγοντα από την η τετραγωνική ρίζα της θερμοκρασίας, είναι συνήθως πολύ αργή σε σχέση με την εκθετική εξάρτηση που συνδέει την E_a , σε σημείο που μερικοί να σκέφτονται ότι δεν μπορεί να αποδειχθεί πειραματικά.

Η θεωρία της μετάβασης καταστάσεων.

Μια άλλη έκφραση τύπου Arrhenius διατυπώθηκε από τους Wigner, Eyring, Polanyi και Evans τη δεκαετία του '30. Από τις διάφορες μορφές της, η πιο κοινή είναι:

$$k = \frac{k_B T}{h} e^{-\frac{\Delta G^\ddagger}{RT}}$$

όπου ΔG^\ddagger είναι η ελεύθερη ενέργεια ενεργοποίησης Gibbs, k_B είναι η σταθερά Boltzmann, και h είναι η σταθερά Planck. Εκ πρώτης όψευς αυτό μοιάζει με έναν εκθέτη που πολλαπλασιάζεται με έναν παράγοντα ο οποίος είναι σε γραμμική σχέση με τη στη θερμοκρασία. Εντούτοις, η ελεύθερη ενέργεια είναι η ίδια μια εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία ποσότητα. Η ελεύθερη ενέργεια ενεργοποίησης περιλαμβάνει έναν όρο εντροπίας καθώς επίσης και έναν όρο ενθαλπίας, οι οποίοι εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, και καταλήγει σε μια έκφραση που λαμβάνει πάλι τη μορφή μιας εξίσωσης τύπου Arrhenius. Η ακριβής μορφή της εξάρτησης της θερμοκρασίας εξαρτάται από την αντίδραση, και μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τους τύπους από τη στατιστική μηχανική που περιλαμβάνουν τις λειτουργίες συμμετοχής των αντιδραστηρίων και του ενεργοποιημένου σύνθετου.

ΚΥΡΙΕΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ

ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Με τον όρο μηχανικές ιδιότητες εννοείται η συμπεριφορά ενός υλικού όταν σε αυτό εφαρμόζεται κάποια δύναμη.

ΣΤΡΕΣ (STRESS)

Στην ορολογία της Μηχανικής, το στρες (stress) είναι ένα φυσικό μέγεθος που εκφράζει τις εσωτερικές δυνάμεις που γειτονικών σωματιδίων ενός συνεχούς υλικού, ασκούν το ένα στο άλλο, ενώ η ένταση (strain) είναι το μέτρο της παραμόρφωσης του υλικού. Για παράδειγμα, όταν μια στερεή κατακόρυφη ράβδος στηρίζει ένα βάρος, κάθε σωματίδιο στη ράβδο ωθεί επί των σωματιδίων αμέσως κάτω από αυτό. Όταν ένα υγρό σε ένα κλειστό δοχείο υπό πίεση, κάθε σωματίδιο παίρνει πιέζεται από όλες τις γύρω σωματίδια. Τα τοιχώματα του δοχείου και η επιφάνεια πίεσης επαγωγής (όπως ένα έμβολο), σε αντίδραση, ωθεί εναντίον τους. Αυτές οι μακροσκοπικές δυνάμεις είναι πράγματι ο μέσος όρος ενός πολύ μεγάλου αριθμού διαμοριακές δυνάμεις και οι συγκρούσεις μεταξύ των σωματιδίων σε αυτά τα μόρια.

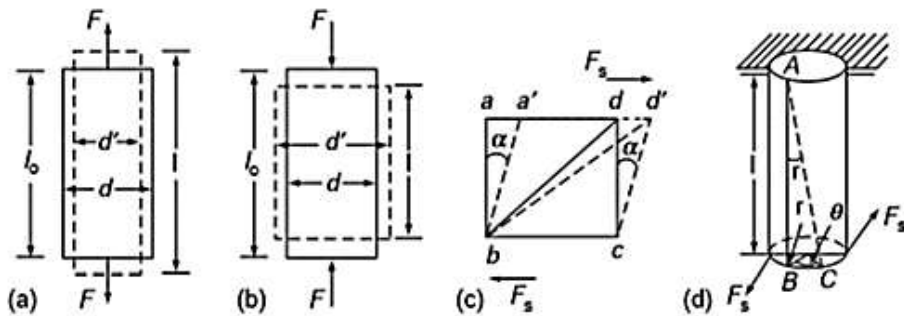


FIGURE (a) Tensile or longitudinal strain, $\epsilon = (\ell - \ell_0)/\ell_0$. (b) Compressive strain, $\epsilon = (\ell_0 - \ell)/\ell_0$. (c) Shear strain, $\gamma = aa'/ab$. (d) Shear strain in torsion $\gamma = r\theta/\ell$.

ΔA

Stress Vector

$$\mathbf{S}_n = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{F}}{\Delta A} = \sigma_n \mathbf{n} + \tau_n \mathbf{t}$$

Stress Components (Cauchy)

Normal Stress: $\sigma_n = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_n}{\Delta A}$

Shear Stress: $\tau_n = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_t}{\Delta A}$

Undeformed body Deformed body

P P'

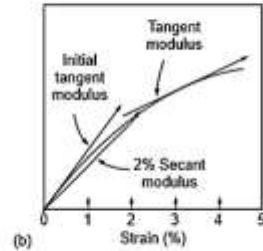
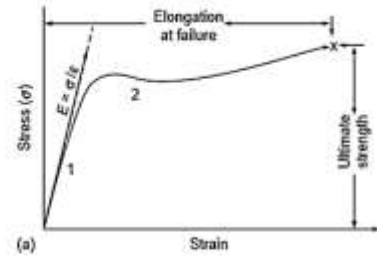
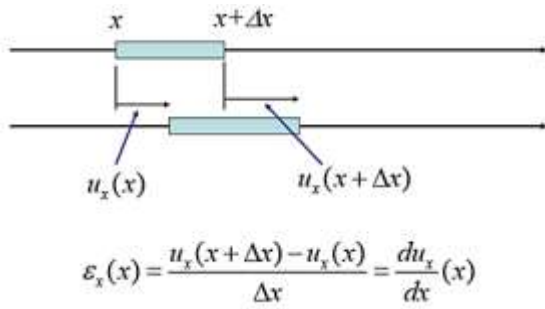


FIGURE (a) Nominal stress-strain diagram. (b) Typical moduli values quoted for plastics.

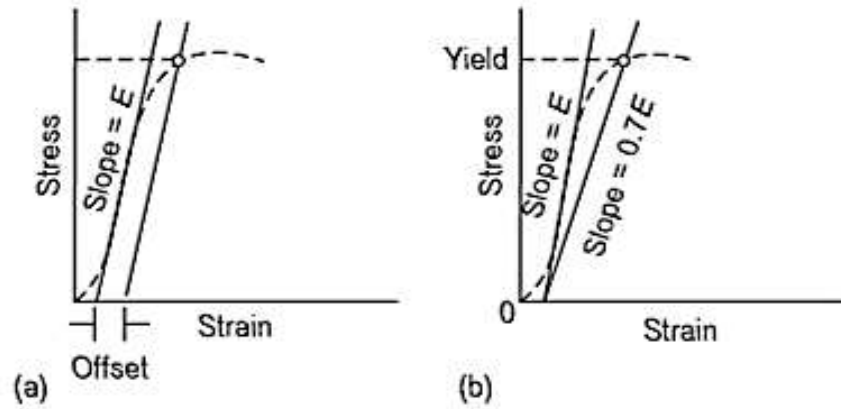


FIGURE Location of a yield value.

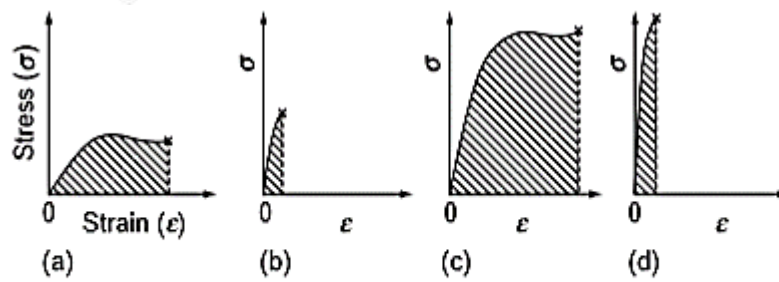


FIGURE Classification of plastics on the basis of stress-strain diagram. (a) Soft and weak. (b) Weak and brittle. (c) Strong and tough. (d) Hard and strong.

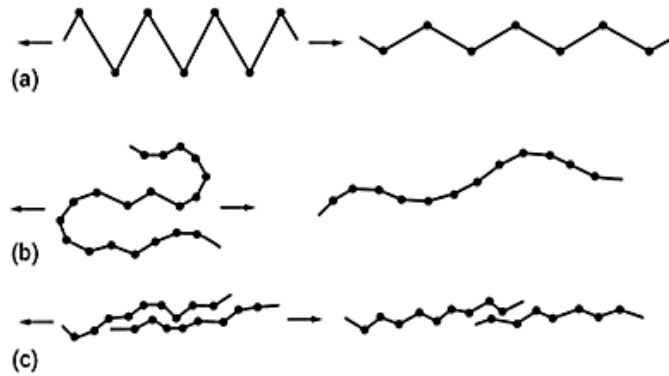


FIGURE Deformation in plastics. (a) Stretching of polymer molecule. (b) Straightening out of a coiled molecular chain. (c) Intermolecular slippage.

ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (STRAIN)

Κατά την διαδικασία της παραμόρφωσης, εσωτερικές δια-μοριακές δυνάμεις αντιτίθενται στην εφαρμοζόμενη δύναμη. Εάν η εφαρμοζόμενη δύναμη δεν είναι μεγάλη οι ενδομοριακές δυνάμεις μπορεί να είναι επαρκείς και να αντισταθούν πλήρως στην αλλαγή που πάει να προκληθεί από την εφαρμοζόμενη δύναμη. Το αντικείμενο που δέχεται την δύναμη θα μεταβεί σε μια νέα κατάσταση ισορροπίας μέχρις ότου επιστρέψει στην αρχική του κατάσταση, με την διακοπή εφαρμογής της εξωτερικής δύναμης. Μια μεγαλύτερη δύναμη μπορεί να οδηγήσει σε μόνιμη παραμόρφωση του αντικειμένου ή ακόμη και σε ζημιά της δομής του.

Συνήθως για την ποιοτική αξιολόγηση των δειγμάτων χρησιμοποιείται το διάγραμμα δύναμης –παραμόρφωσης ή καλύτερα το διάγραμμα τάσης (stress)-παραμόρφωσης (strain), όπου τάση εννοείται η δύναμη ή η συνισταμένη δύναμη που δέχεται ένα υλικό ανά μονάδα επιφανείας του, ενώ η παραμόρφωση περιλαμβάνει τις αλλαγές μεγέθους ή σχήματος του δείγματος με την εξάσκηση κάποιας δύναμης.

Είδη παραμόρφωσης

Ανάλογα με τον τύπο του υλικού, το μέγεθος και τη γεωμετρία του αντικειμένου, καθώς και τις δυνάμεις που εφαρμόζονται, διαφορετικοί τύποι παραμόρφωση είναι δυνατόν να προκληθούν.

Παραμόρφωση μπορεί να προκληθεί εντός της μάζας του υλικού με διάφορους μηχανισμούς, όπως το στρες (τάση) που εφαρμόζεται στο υλικό αυτό (π.χ. δυνάμεις επαφής, εξωτερική πίεση ή τριβή). Οποιαδήποτε παραμόρφωση σε ένα στερεό υλικό δημιουργεί μια εσωτερική ελαστική τάση, ανάλογη με την δύναμη αντίδρασης του ελατηρίου, η οποία τείνει να αποκαταστήσει το υλικό στην αρχική μη-παραμορφωμένη κατάσταση. Ωστόσο, η παραμόρφωση μπορεί να αλλάζει σταδιακά με το χρόνο.

Σημαντικό στρες μπορεί να υπάρχει ακόμα και όταν η παραμόρφωση είναι αμελητέα ή ανύπαρκτη. Στρες μπορεί να υπάρχει και απουσία εξωτερικών δυνάμεων όπως το «ενσωματωμένο» στρες, μια σημαντική κατάσταση που προκύπτει κατά την επεξεργασία και διεργασία των υλικών. Στρες μπορεί επίσης να επιβάλλεται σε ένα υλικό χωρίς την εφαρμογή δυνάμεων, όπως για παράδειγμα, με αλλαγές στην θερμοκρασία ή τη χημική του σύνθεση, ή με εξωτερικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία (όπως στα πιεζοηλεκτρικά και τα υλικά μαγνητο-συστολής).

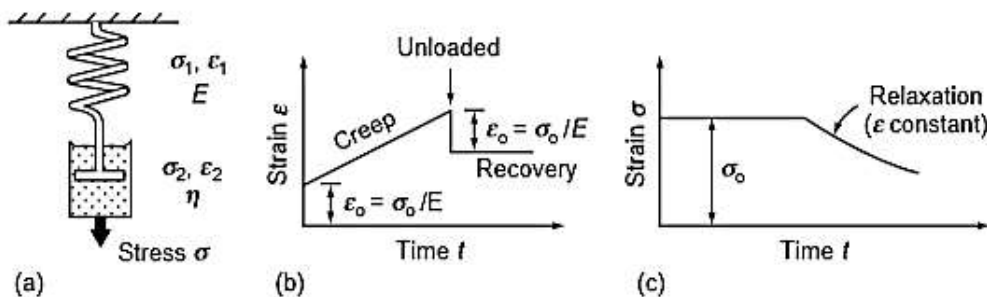


FIGURE (a) The Maxwell model. (b), (c) Responses of the model under time-dependent modes of deformation.

Η σχέση μεταξύ μηχανικής τάσης, παραμόρφωσης και του ρυθμού παραμόρφωσης μπορεί να είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη, αν και η παραδοχή μιας γραμμικής συσχέτισης είναι πρακτικά αρκετά ικανοποιητική και για μικρές

ποσότητες. Η τάση που περνά συγκεκριμένα όρια αντοχής του υλικού οδηγεί σε μόνιμες παραμορφώσεις μεταξύ των οποίων και ανεπανόρθωτες ζημιές, αλλαγή στην κρυσταλλική δομή και χημική αποικοδόμηση. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε το αποτέλεσμα τάσεων τάνυσης, συμπίεσης, διάτμησης, λυγίσματος ή στριψίματος. Στην δεύτερη περίπτωση ο πιο σημαντικός παράγοντας είναι η θερμοκρασία η οποία καθορίζει την κινητικότητα των δομικών ελαττωμάτων τόσο σε κρυσταλλικά όσο και σε μη-κρυσταλλικά υλικά. Η κίνηση ή μετατόπιση τέτοιων ελαττωμάτων ενεργοποιείται θερμικά και άρα περιορίζεται από τον βαθμό ελευθερίας της ατομικής διάχυσης στο υλικό.

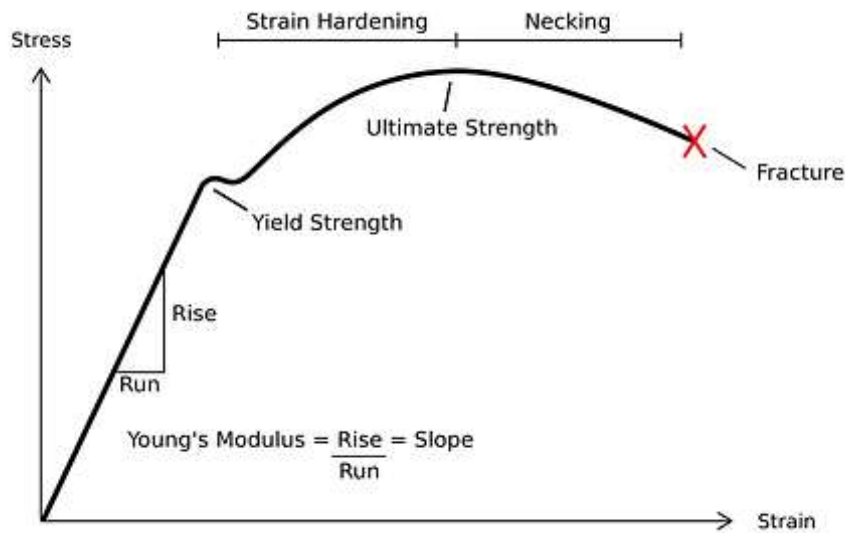
ΤΥΠΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΥΝΑΜΗΣ ΜΕ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (stress vs. strain diagram)

Η σχέση μεταξύ μηχανικής καταπόνησης, παραμόρφωσης, και του ρυθμού μεταβολής της παραμόρφωσης μπορεί να είναι αρκετά πολύπλοκη, αν και μια γραμμική προσέγγιση μπορεί να είναι επαρκής στην πράξη, εφόσον τιμές των παραγόντων είναι αρκετά μικρές.

Στρες που υπερβαίνει ορισμένα όρια αντοχής του υλικού, θα οδηγήσει σε μόνιμη παραμόρφωση (όπως πλαστική ροή, κάταγμα, σπηλαίωση) ή ακόμη θα αλλάξει την κρυσταλλική δομή του ή και τη χημική του σύνθεση.

Η πρώτη περίπτωση μπορεί να είναι ένα αποτέλεσμα δυνάμεων τάνυσης (τράβηγμα), σύνθλιψης (σπρώξιμο), δυνάμεις διάτμησης, κάμψης ή στρέψης (στρίψιμο). Στην περίπτωση της παρουσίας θερμοκρασίας καθορίζει σημαντικούς παράγοντες όπως η κινητικότητα των δομικών ελαττωμάτων όπως των κόκκων, η ύπαρξη των κενών σημείων, εξαρθρώσεων, συσσωρευμένων ζημιών και σφαλμάτων, τόσο στα κρυσταλλικά όσο και στα μη κρυσταλλικά στερεά. Η κίνηση ή η μετατόπιση των εν λόγω κινητών ελαττωμάτων ενεργοποιείται θερμικά, και κατά συνέπεια περιορίζεται από το ρυθμό της ατομικής διάχυσης.

Τυπικές άγχος εναντίον στελέχους διάγραμμα δείχνει τα διάφορα στάδια της παραμόρφωσης.



| | Tensile (Figure 3.1a) | Shear (Figure 3.1c) |
|------------|-------------------------------------|------------------------|
| Stress | $\sigma = F/A$ | $\tau = F/A$ |
| Strain | $\epsilon = (\ell - \ell_0)/\ell_0$ | $\gamma = \tan \alpha$ |
| Modulus | $E = \sigma/\epsilon$ | $G = \tau/\gamma$ |
| Compliance | $D = \epsilon/\sigma$ | $J = \gamma/\tau$ |

Ελαστική παραμόρφωση (Elastic deformation)

Είναι η αναστρέψιμη παραμόρφωση, δηλαδή κατά την κατάσταση όπου μόλις δεν εφαρμόζονται πλέον οι δυνάμεις, το αντικείμενο επιστρέφει στο αρχικό του σχήμα. Συνήθη μέταλλα, κεραμικά και οι περισσότεροι κρύσταλλοι παρουσιάζουν γραμμική ελαστικότητα και μικρότερο ελαστικό εύρος.

Η γραμμική ελαστική παραμόρφωση διέπεται από το νόμο του Hooke, ο οποίος αναφέρει: $\sigma = E\epsilon$

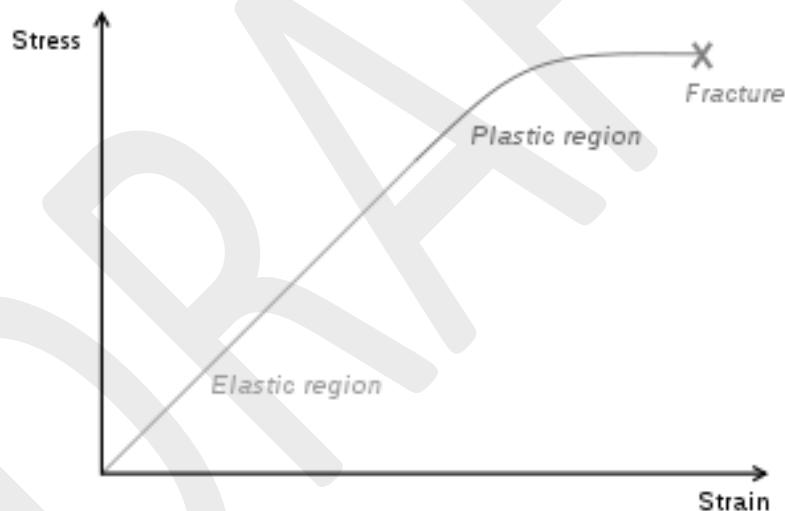
Όπου «σ» είναι η εφαρμοζόμενη τάση, «E» είναι σταθερά του υλικού και ονομάζεται μέτρο Young (Young's modulus) , και «ε» είναι η προκύπτουσα παραμόρφωση. Αυτή η σχέση ισχύει μόνο στην ελαστική περιοχή και δείχνει ότι η κλίση της καμπύλης στρες προς παραμόρφωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βρεθεί η σταθερά Young. Ο υπολογισμός αυτός χρησιμοποιείται σε δοκιμές εφελκυσμού. Το ελαστικό φάσμα τελειώνει όταν το υλικό φθάνει στη μέγιστη δυνατή απόδοση του. Σε αυτό το σημείο αρχίζει η πλαστική παραμόρφωση. Σημειώστε ότι όλα τα ελαστικά υλικά δεν υποβάλλονται σε γραμμική ελαστική παραμόρφωση. Πολλά πολυμερή, ανταποκρίνονται σε ένα μη γραμμικό μοντέλο. Για αυτά τα υλικά δεν εφαρμόζεται ο νόμος του Hooke.

Κάταγμα (fracture)

Αυτό το είδος της παραμόρφωσης είναι επίσης μη αναστρέψιμη. Ένα κάταγμα εμφανίζεται αφού το υλικό έχει φτάσει στο τέλος των ελαστικών του αντοχών και ανοχών πλαστικής παραμόρφωσης. Σε αυτό το σημείο οι δυνάμεις συσσωρεύονται μέχρι να είναι επαρκείς να προκαλέσουν μία ρήξη στην μάζα του υλικού. Όλα τα υλικά τελικά θα σπάσουν αν εφαρμοζονται σε αυτά επαρκώς ισχυρές δυνάμεις.

Το φαινόμενο της κόπωσης μετάλλου.

Ένας άλλος μηχανισμός παραμόρφωση ονομάζεται κόπωση μετάλλου και εμφανίζεται κυρίως σε όγκιμα μέταλλα. Αρχικά θεωρήθηκε ότι εάν ένα υλικό παραμορφώνεται μόνο μέσα στην ελαστική περιοχή τότε θα επιστρέψει πλήρως στην αρχική του κατάσταση, μόλις απομακρύνθηκαν οι δυνάμεις παραμόρφωσης. Ωστόσο, βλάβες εισάγονται στο μοριακό επίπεδο του υλικού με κάθε παραμόρφωση που υφίσταται αυτό. Μετά από πολλές παραμορφώσεις, ρωγμές θα αρχίσουν να εμφανίζονται, ακολουθούμενη αμέσως μετά από ένα κάταγμα, χωρίς προφανή πλαστική παραμόρφωση στο μεταξύ. Ανάλογα με το υλικό, το σχήμα και το πόσο κοντά στο όριο ελαστικότητας παραμορφώνεται, η αποτυχία μπορεί να απαιτούν χιλιάδες, εκατομμύρια, δισεκατομμύρια, ή τρισεκατομμύρια παραμορφώσεων.



Διάγραμμα μιας καμπύλης δύναμης παραμόρφωσης ενός όγκιμου υλικού.

Υπάρχουν δύο τρόποι είτε για να καθοριστεί πότε ένα υλικό βρίσκεται σε κίνδυνο είτε να προβλέψουμε πότε θα συμβεί οποιαδήποτε αποτυχία η οποία θα οφείλεται στο συνδυασμό των υλικών / δύναμη / σχήμα / επανάληψη ή να εκτελέσουμε ελέγχους για τον εντοπισμό των μικροσκοπικών ρωγμών και την απομάκρυνση των υλικών αυτών. Η σωστή επιλογή των υλικών θα πρέπει να διασφαλίζει ότι δεν θα υποφέρουν από κόπωση μετάλλου κατά τη διάρκεια ζωής του προϊόντος. Επίσης σημεία σχεδιασμού όπως η αποφυγή αιχμηρών γωνιών, περιορίζει τα φαινόμενα μέσα από τη μείωση των συγκεντρώσεων του στρες, χωρίς όμως να την εξαλείφει.

Πλαστική παραμόρφωση

Αυτού του τύπου η παραμόρφωση είναι αναστρέψιμη και ένα αντικείμενο στην περιοχή της ελαστικής παραμόρφωσης θα επιστρέψει (κατά ένα μέρος) στο αρχικό του σχήμα. Μαλακά θερμοπλαστικά υλικά έχουν ένα κάπως ευρύ φάσμα παραμόρφωσης, όπως και τα όγκιμα μέταλλα όπως ο χαλκός. Ο χάλυβας επίσης αλλά όχι ο σίδηρος. Σκληρά θερμοσκληραινόμενα πλαστικά, το καουτσούκ, οι κρύσταλλοι και τα κεραμικά έχουν ελάχιστες πλαστικές παραμορφώσεις.

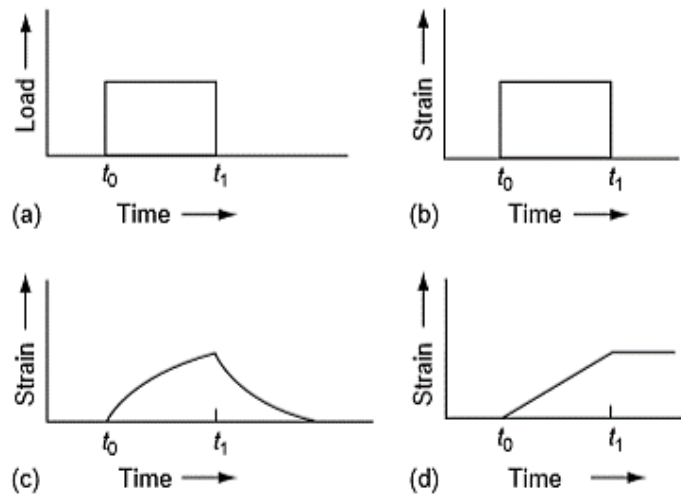


FIGURE Types of deformational response as a result of (a) a fixed load being imposed between times t_0 and t_1 ; (b) ordinary elastic material; (c) highly elastic material; (d) viscous material.

Υπό την τάση τάνυσης η πλαστική παραμόρφωση χαρακτηρίζεται από μια περιοχή αύξησης της σκληρότητας και μια περιοχή καμψής και τελικά την ρήξη και το κάταγμα. Κατά την φάση της σκλήρυνσης, το υλικό γίνεται πιο σκληρό λόγω της κίνησης των ατομικών μετατοπίσεων. Το σημείο καμψής εμφανίζεται με την στένωση της τομής του αντικειμένου και αρχίζει μόνο αφού έχει επιτευχθεί η μέγιστη δύναμη. Σε αυτή τη φάση το υλικό δεν μπορεί να αντέξει πλέον την μέγιστη τάση και η παραμόρφωση αυξάνεται γρήγορα. Η πλαστική παραμόρφωση τελειώνει με την ρήξη του υλικού.

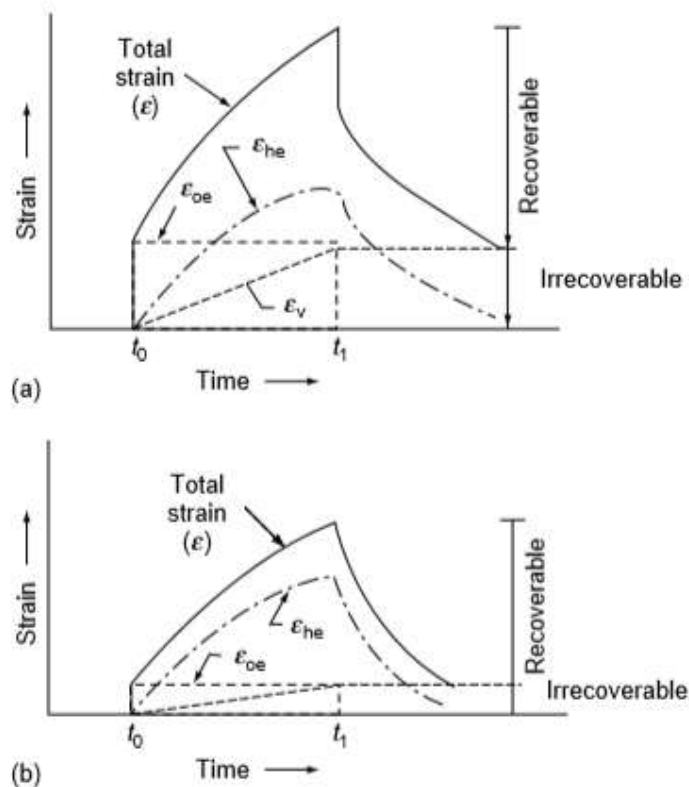


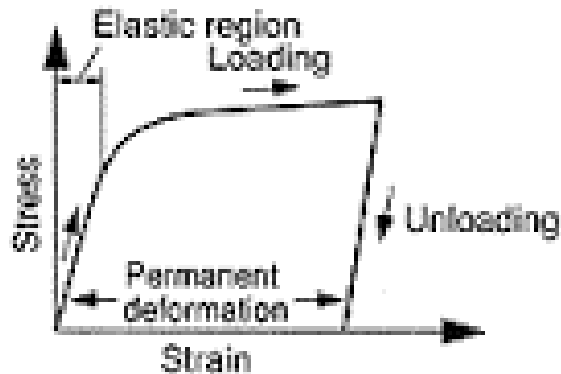
FIGURE Strain-time curves: (a) material showing substantial ordinary elastic, high elastic, and viscous components of strain; (b) material in which high elastic deformation predominates.

Μόνιμη παραμόρφωση (permanent deformation)

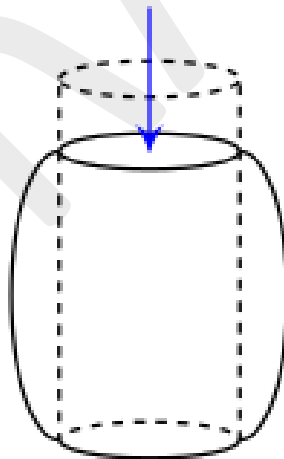
Κατά την παραμόρφωση, εσωτερικές δια-μοριακές δυνάμεις προκύπτουν που αντιτίθενται στην εφαρμοζόμενη δύναμη. Εάν η εφαρμοζόμενη δύναμη δεν είναι πολύ μεγάλη οι δυνάμεις αυτές μπορεί να αντισταθούν τελείως στην εφαρμοζόμενη δύναμη και επιτρέψουν στο αντικείμενο αφού μεταβεί σε μια νέα κατάσταση ισορροπίας, να επιστρέψει στην αρχική του κατάσταση, όταν το φορτίο έχει αφαιρεθεί. Μια μεγαλύτερη εφαρμοζόμενη δύναμη μπορεί να οδηγήσει σε μόνιμη παραμόρφωση του αντικειμένου ή ακόμη και σε δομική ανεπάρκεια του, (κάταγμα).

Υπολογίζεται ως η απόσταση μεταξύ των γραμμών της ελαστικής παραμόρφωσης και της παράλληλης της στο σημείο κατάγματος της καμπύλης δύναμη με παραμόρφωση, όπως φαίνεται στο σχήμα,

Ordinary metal material



Στο σχήμα αυτό μπορεί να φανεί ότι η θλιπτική φόρτιση (υποδεικνύεται από το βέλος), προκάλεσε παραμόρφωση στον κύλινδρο, έτσι ώστε το αρχικό σχήμα (διακεκομμένες γραμμές) να έχει αλλάξει (παραμορφωθεί) και να έχει υποστεί την διαγραμμένη διόγκωση στις πλευρές. Εξαιτίας του υλικού, η διόγκωση αν και αρκετά ισχυρή μπορεί να μην ραγίσει ή προκαλέσει κάταγμα στο υλικό, και έτσι το υλικό αφού εξωθηθεί πλευρικά, να επιστρέψει στην αρχική του κατάσταση.



ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (HARDNESS)

Σκληρότητα είναι ένα χαρακτηριστικό ενός υλικού, όχι θεμελιώδη φυσική ιδιότητα. Είναι το μέτρο του πόσο ανθεκτική είναι η ύλη στην μόνιμη αλλαγή του σχήματός της, όταν εφαρμόζεται επάνω της μία δύναμη συμπίεσης. Μακροσκοπικά η σκληρότητα χαρακτηρίζεται από το πόσο ισχυροί είναι οι διαμοριακοί δεσμοί της ύλης. Φυσικά, η συμπεριφορά των στερεών υλικών υπό την εφαρμογή μιας δύναμης είναι πολύπλοκη και ως εκ τούτου, υπάρχουν διαφορετικές εκδοχές της μετρήσιμης σκληρότητας. Επίσης, η σκληρότητα εξαρτάται από την ολκιμότητα, την ελαστική δυσκαμψία, την πλαστικότητα, την παραμόρφωση, την αντοχή, την ιξωδοελαστικότητα, και το ιξώδες.

Πειραματικά, ορίζεται ως η αντίσταση στην εσοχή, και προσδιορίζεται με μέτρηση της μόνιμης βάθους της εσοχής. Πιο απλά λόγια, όταν χρησιμοποιείτε μια σταθερή δύναμη (φορτίο) και δεδομένη διεύθυνση, όσο μικρότερη είναι η εσοχή, τόσο πιο δύσκολο το υλικό. Η τιμή της σκληρότητας επιτυγχάνεται με μέτρηση του βάθους ή της περιοχής της εγκοπής, χρησιμοποιώντας κάποια πάνω από τις 12 διαφορετικές μεθόδους δοκιμής. Μαθηματικά, η σκληρότητα ορίζεται σαν το γινόμενο της δύναμης επί της επιμήκυνσης το οποίο είναι και το παραγόμενο έργο της τάσης. Στην γραφική παράσταση της δύναμης με την επιμήκυνση αντιστοιχεί στην επιφάνεια κάτω από την καμπύλη.

ΔΙΑΤΡΗΣΗ (PUNCTURE)

Η αντοχή στην διάτρηση δηλώνει την σχετική ικανότητα ενός υλικού να αναστέλλει την προοδευτική εξέλιξη της διάρρηξης της μάζας του όπως αυτή προκαλείται από το σημείο ενός κοψίματος ή τρύπας. Σχετικές δοκιμές μέτρησης της αντοχής στην διάτρηση είναι συνήθως σχεδιασμένες για κάθε περίπτωση καλύπτοντας την αξιολόγηση μόνο των αντίστοιχων υλικών και εφαρμογών.

ΑΝΤΟΧΗ (RESILIENCE)

Η αντοχή είναι η ικανότητα ενός υλικού να απορροφά ενέργεια όταν παραμορφώνεται ελαστικά και να την απελευθερώνει κατά την απομάκρυνση της δύναμης. Μέγιστη ελαστικότητα ορίζεται ως η μέγιστη ενέργεια που μπορεί να απορροφηθεί εντός του ελαστικού ορίου, χωρίς να δημιουργεί μια μόνιμη παραμόρφωση. Κατ' αναλογία, ανοχή (resilience) είναι η περιοχή κάτω από την αρχική ευθεία (ελαστική συμπεριφορά) του υλικού, στην ίδια καμπύλη.

Ο συντελεστής αντοχής ορίζεται ως η μέγιστη ενέργεια που μπορεί να απορροφήσει το υλικό ανά μονάδα όγκου χωρίς να δημιουργηθεί μόνιμη παραμόρφωση. Μπορεί να υπολογιστεί με την ενσωμάτωση της καμπύλης τάσης-παραμόρφωσης από το μηδέν μέχρι το όριο ελαστικότητας.

Για την περίπτωση μονοαξονικής εφαρμογής τάσης,

$$U_r = \frac{\sigma_y^2}{2E}$$

όπου U_r είναι το μέτρο της αντοχής, σ_y είναι η αντοχή διαρροής, και το E είναι το μέτρο Young.

$$\text{BHN} = \frac{\text{Load applied to indenter (kgf)}}{\text{Contact area of indentation (mm}^2\text{)}} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

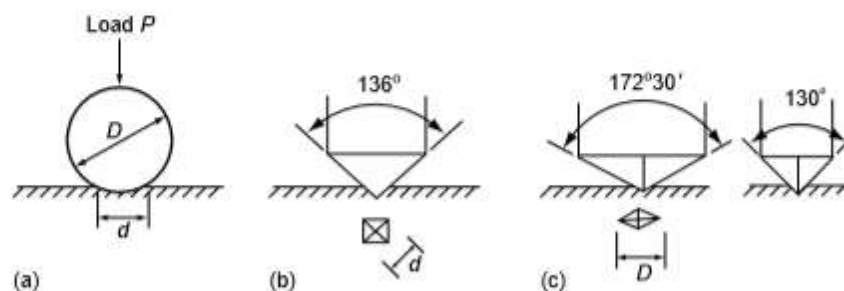


FIGURE Indentation hardness tests. (a) Brinell test. (b) Vickers test. (c) Knoop test.

ΔΙΑΤΑΝΥΣΗ (TENSION)

Στην φυσική, η τάνυση περιγράφει την δύναμη που τραβάει το κάθε άκρο ενός μονο-διάστατου υλικού ή σώματος σε συνεχή εφαρμογή. Εφαρμογή βρίσκει αι σε τρισδιάστατα υλικά όπως ράβδοι και λουπά.

Στο ατομικό επίπεδο, η τάνυση αναπαράγεται όταν τα άτομα ή τα μόρια αποτραβηχθούν το ένα από το άλλο και έτσι αποκτήσουν δυναμική ηλεκτρομαγνητική ενέργεια. Κάθε άκρο θα τραβήξει το αντικείμενο στο οποίο είναι προσκολλημένο με σκοπό να ανακτήσει το αρχικό, χαλαρό, σχήμα και μέγεθος του.

Η τάνυση είναι αντίθετο φαινόμενο στην συμπίεση. Ενώ η τάνυση δεν είναι δύναμη, έχει εντούτοις μονάδες δύναμης (N).

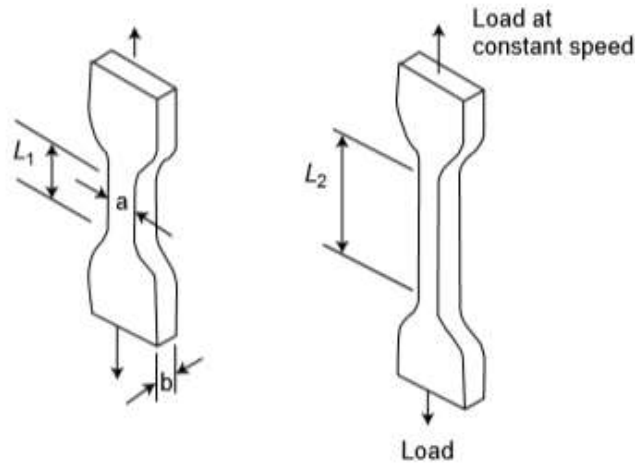


FIGURE Tests for tensile strength (stress at fracture of the specimen) and elongation (extension of materials under load) of plastics. The first provides a measure of the breaking strength of the material but is radically affected by the rate of loading and the ambient temperature. Tensile strength in lb/in^2 or $\text{kg}/\text{cm}^2 = \text{load (lb or kg)} / a \times b$ (in^2 or cm^2). Standard test methods: BS 2782 method 301, ASTM D638, ISO R527. Elongation $\% = (L_2 - L_1) \times 100 / L_1$. Standard test methods: BS 2782 method 301, ASTM D638.

ΕΡΠΥΣΜΟΣ (CREEP)

Το φαινόμενο του ερπυσμού αφορά στην συμπεριφορά των υλικών τα οποία υπό την εφαρμογή σταθερής δύναμης, εκδηλώνει αργή και συνεχή μόνιμη παραμόρφωση παρότι η τάση η οποία το καταπονεί είναι μικρότερη από το όριο διαρροής του υλικού. Το φαινόμενο εκδηλώνεται σε υψηλές θερμοκρασίες κοντά στο σημείο τήξης και σε παρατεταμένες χρονικά μηχανικές καταπονήσεις. Για πολλά υλικά η θερμοκρασία αυτή είναι περίπου στο 1/3 της θερμοκρασίας τήξης του υλικού αυτού, μετρούμενη σε $^{\circ}\text{K}$ για μέταλλα και περίπου 2/5 με 1/2 για κεραμικά υλικά. Θεωρητικά κάθε υλικό θα παρουσιάσει ερπυσμό καθώς πλησιάζει την θερμοκρασία τήξης του. Τα πολυμερή μπορεί να παρουσιάζουν το φαινόμενο του ερπυσμού ακόμη και σε θερμοκρασία δωματίου.

Η συμπεριφορά των υλικών εξαρτάται από την εσωτερική δομή του υλικού, τον δομικό σχηματισμό και προσανατολισμό των αλυσίδων, τα εσωτερικά σημεία συσσώρευσης στρες και την εν γένει δυνατότητα του υλικού να επανατοποθετείται και να αντιδρά απορροφώντας τις τάσεις.

Στα αρχικά στάδια του ερπυσμού ο ρυθμός παραμόρφωσης είναι σχετικά υψηλός αλλά μειώνεται με τον χρόνο, σαν αποτέλεσμα σκλήρυνσης του υλικού. Ο ρυθμός τελικά φτάνει σε κάποιο ελάχιστο και γίνεται σχεδόν σταθερός καθώς επέρχεται μια ισορροπία μεταξύ σκλήρυνσης και θερμικού μαλακώματος (thermal softening). Αυτό είναι το δεύτερο στάδιο του φαινομένου, όπου ο ρυθμός εξαρτάται από τον μηχανισμό ερπυσμού του κάθε υλικού. Στο τελικό τρίτο στάδιο, ο ρυθμός αυξάνεται λογαριθμικά εξαιτίας φαινομένων *necking*.

Η γενική εξίσωση περιγραφής του φαινομένου είναι,

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{C\sigma^m}{d^b} e^{-\frac{Q}{kT}}$$

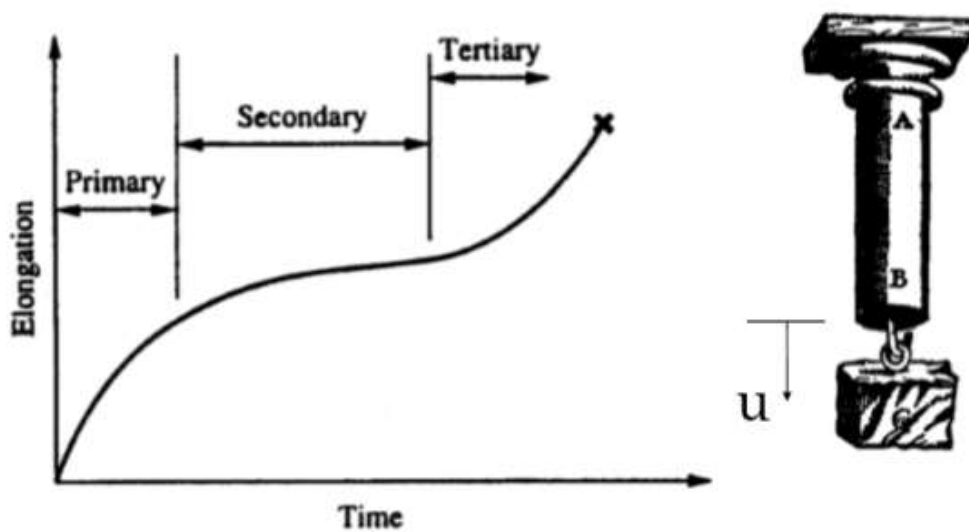
Όπου ε είναι η τάση ερπυσμού, C είναι μία σταθερά εξαρτώμενη από το υλικό και το συγκεκριμένο μηχανισμό ερπυσμού του υλικού, m και b είναι δείκτες εξαρτώμενοι από τον μηχανισμό ερπυσμού, Q είναι η ενέργεια ενεργοποίησης του μηχανισμού, σ είναι το εφαρμοζόμενο στρες (τάση), d είναι η κοκκώδης διάσταση του υλικού, k η σταθερά Boltzmann και T η απόλυτη θερμοκρασία.

Πρακτικά αυτό επηρεάζει την αντοχή των υλικών δίνοντας τους επιπλέον ανοχές αλλά οι παραμορφώσεις τελικά καθιστούν το υλικό ακατάλληλο προς χρήση. Αντίθετα ο ερπυσμός μπορεί να απορροφήσει και ορισμένα στρες αυξάνοντας την αντοχή ορισμένων εφαρμογών.

Ερπυσμός μπορεί να συμβεί σε πολυμερή και μέταλλα που θεωρούνται ιξωδοελαστικά υλικά. Όταν υποβάλλονται σε μια συνεχή τάση παραμόρφωσης, τα ιξωδοελαστικά υλικά βιώνουν μια χρονο-εξαρτώμενη αύξηση στην παραμόρφωση γνωστή ως ιξωδοελαστικός ερπυσμός.

Σε μια χρονική στιγμή $t=0$, εάν ένα ιξωδοελαστικό υλικό υποστεί μια σταθερή πίεση η οποία διατηρείται για ένα αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα, το υλικό ανταποκρίνεται με μια παραμόρφωση που αυξάνει μέχρις ότου το

υλικό τελικά αποτύχει (καταρρέει). Όταν η πίεση διατηρείται για ένα μικρότερο χρονικό διάστημα, το υλικό υποβάλλεται σε μία αρχική τάση μέχρι ένα χρόνο $t=1$ κατά τον οποίο η πίεση χαλαρώνει και στον οποίο χρόνο η παραμόρφωση μειώνεται αμέσως (ασυνέχεια).



Ιξωδοελαστικά φαινόμενα ερπυσμού μπορούν να παρουσιαστούν γραφικά ως συνάρτηση του χρόνου για μια δεδομένη θερμοκρασία ή θερμοκρασίες. Κάτω από μια κρίσιμη τιμή εφαρμοζόμενης τάσης, ένα υλικό μπορεί να παρουσιάζει γραμμική ιξωδοελαστικότητα. Πάνω απ' αυτή την κρίσιμη πίεση, ο ρυθμός ερπυσμού αυξάνεται δυσανάλογα γρηγορότερα. Ο δεύτερος τρόπος γραφικής παρουσίασης είναι με γραφική παράσταση του ρυθμού παραμόρφωσης (σταθερή εφαρμοσμένη τάση δια της συνολικής τάσης σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή), ως συνάρτηση του χρόνου.

Αν οι εφαρμοζόμενες τάσεις είναι κάτω από την κρίσιμη τιμή τάσης του υλικού, οι γραφικές παραστάσεις που περιγράφουν την παραμόρφωση σε σχέση με τον χρόνο για διάφορες εφαρμοζόμενες τάσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν την συμπεριφορά ενός υλικού.

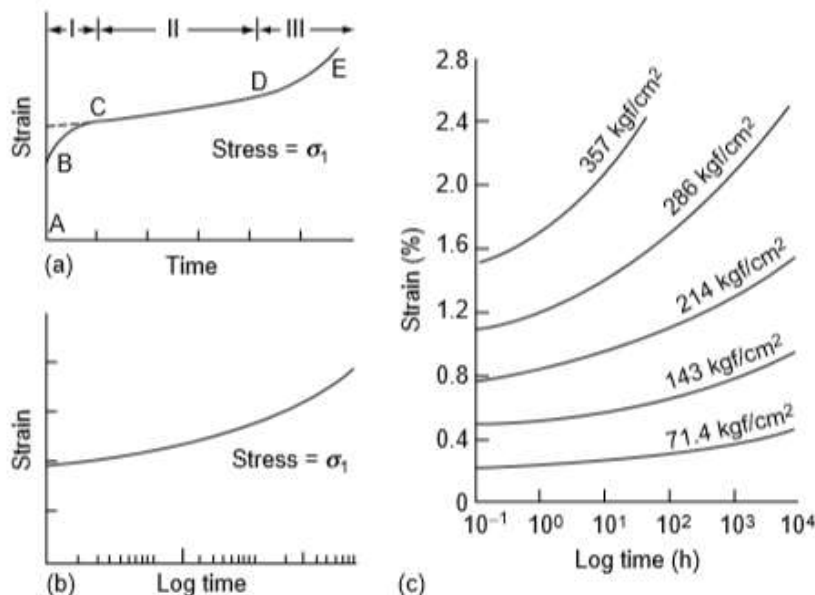


FIGURE Typical creep curve (a) with linear time scale and (b) with logarithmic time scale. (c) Family of creep curves for poly(methyl methacrylate) at 20°C ($1 \text{ kgf/cm}^2 = 0.098 \text{ MPa}$).

Επιπλέον, το μοριακό βάρος του πολυμερούς είναι γνωστό ότι επηρεάζει τη συμπεριφορά του ερπυσμού. Η αύξηση του μοριακού βάρους τείνει να προάγει τον δευτερογενή δεσμό μεταξύ των αλυσίδων του πολυμερούς

και έτσι καθιστούν το πολυμερές περισσότερο ανθεκτικό στον ερπυσμό. Ομοίως, αρωματικά πολυμερή είναι ακόμη πιο ανθεκτικά λόγω της προστιθέμενης ακαμψίας των δακτυλίων αυτών. Τόσο το μοριακό βάρος όσο και οι αρωματικοί δακτύλιοι προσθέτουν θερμική σταθερότητα στα πολυμερή, αυξάνοντας την αντοχή τους στον ερπυσμό.

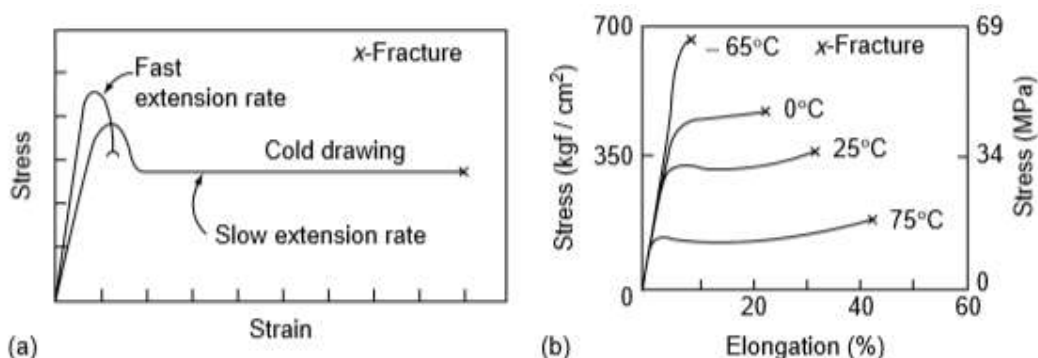


FIGURE (a) Typical tensile behavior of unplasticized PVC. (b) Stress-strain curves of cellulose acetate at different temperatures.

ΚΑΜΨΗ (BENDING)

Η κάμψη ή λίκνισμα είναι ένας τρόπος αστοχίας των παραμορφώσιμων στερεών που δεν οφείλεται στην υπέρβαση της αντοχής του υλικού τους αλλά στην απώλεια της ευστάθειάς τους. Η αστοχία από λίκνισμα αποκαλείται επίσης αστοχία λόγω *ελαστικής αστάθειας*. Ένα απλό παράδειγμα είναι η περίπτωση μίας ευθύγραμμης ράβδου, μικρού πάχους σε σχέση με το ύψος της, που συμπιέζεται κατά τον άξονά της. Η ράβδος λυγίζει για δύναμη πολύ μικρότερη από αυτή που θα χρειαζόταν για να συνθλιβεί ένα τμήμα της με ίσο πάχος και μικρό ύψος.

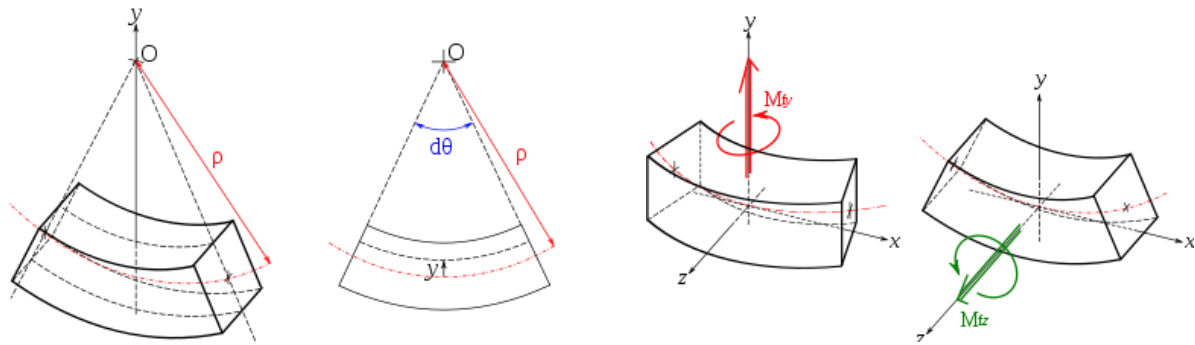
Παρότι ο όρος που χρησιμοποιείται στα ελληνικά παραπέμπει σε μονοδιάστατους φορείς (δηλαδή κάμψη στύλων, δοκών κ.ο.κ.) ωστόσο ο τρόπος αυτός αστοχίας αφορά και δισδιάστατους και τρισδιάστατους στερεούς φορείς. Παράδειγμα δισδιάστατου φορέα είναι η παραμόρφωση ενός λεπτού τοίχου μεταλλικού δοχείου υπό εξωτερική πίεση (πχ δοχείο λαδιού υπό κενό). Η κάμψη συνήθως συνδέεται με την παρουσία θλιπτικών δυνάμεων.

Στις μηχανικές εφαρμογές η κάμψη (γνωστή και ως ελαστικότητα) χαρακτηρίζει την συμπεριφορά ενός λεπτού δομικού στοιχείου υποκειμένου σε μια εξωτερική δύναμη η οποία εφαρμόζεται κάθετα στον διαμήκη άξονα του αντικειμένου.



Το δομικό στοιχείο λαμβάνεται ως διαστασιακά μονοδιάστατο, όπου δηλαδή η μία του διάσταση είναι τουλάχιστον 10 φορές μεγαλύτερη των άλλων δύο. Σε αυτή την περίπτωση το στοιχείο καλείται ράβδος.

Κατά αντιπαράθεση, ένα κελυφωτό αντικείμενο έχει μήκος και πλάτος ανάλογων διαστάσεων ή σε μικρή αναλογία διαφορετικότητας αλλά το πάχος του, γνωστό και ως τοίχωμα, θεωρείται μικρό.



ΚΡΟΥΣΗ

Χειρισμός των συσκευασμένων προϊόντων.

Τα συσκευασμένα προϊόντα διαχειρίζονται διαφορετικά και ανάλογα με το μέγεθος και το βάρος τους. Σύμφωνα με την κοινή λογική, τα βαριά και ογκώδη προϊόντα όπως οι παλλέτες, οι οικιακές συσκευές και λοιπά είναι απίθανο να πέσουν από πιο μεγάλο ύψος, σε αντίθεση με τα μικρά και ελαφριά πακέτα τα οποία συνήθως πέφτουν από μεγαλύτερο ύψος κατά τη διαχείρισή τους. Συνδυάζοντας αναλογικά το βάρος με το μέγεθος του προϊόντος, οι δοκιμές των εργαστηρίων και οργανισμών γίνονται συνδυάζοντας μόνο το βάρος με το ύψος πτώσης του προϊόντος. Στον επόμενο πίνακα παρατίθεται μια σύνοψη βιομηχανικών μελετών.

| Βάρος συσκευασίας (kg) | Επίπεδο ασφάλειας (I, II, III) και ύψος πτώσης (cm) | | | Τρόπος χειρισμού |
|---------------------------|--|----|-----|---------------------|
| | I | II | III | |
| 0 – 10 | 122 | 76 | 46 | Χειρονακτικά |
| 10 – 20 | 107 | 61 | 38 | Χειρονακτικά |
| 20 – 30 | 91 | 46 | 30 | Χειρονακτικά |
| 30 – 40 | 76 | 46 | 23 | Χειρονακτικά |
| 40 – 50 | 61 | 46 | 15 | Χειρονακτικά |
| 50 – 100 | 46 | 46 | 8 | Χειρονακτικά |
| 100 – 300 | 30 | 23 | 15 | Μηχανικά |
| Πάνω από 300 | 23 | 15 | 8 | Μηχανικά |

Στον πίνακα αυτό το επίπεδο ασφάλειας I αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο αναμενόμενο ύψος πτώσης, το επίπεδο II το μέσο (πιο σύνηθες) και το επίπεδο III το μικρότερο. Κατά το σχεδιασμό της προστατευτικής συσκευασίας ή την επιλογή του μέγιστου ύψους πτώσης, το επίπεδο I επιλέγεται για ακριβώς και πολύ εύθραυστα προϊόντα για τα οποία καμία ζημιά δεν είναι αποδεκτή, ενώ το επίπεδο II είναι το πλέον συχνά χρησιμοποιούμενο.

Κοινή καθημερινή πρακτική επιβεβαιώνει τα δεδομένα του πίνακα. Ανάλογα το μέγεθος του το συσκευασμένο προϊόν μπορεί να διαχειριστεί με διαφορετικούς τρόπους. Πολύ ελαφριά (0-10 kg) προϊόντα μεταφέρονται συνήθως είτε με τα χέρια προτεταμένα στο ύψος της μέσης, κάτω από τη μασχάλη ή επάνω στον ώμο στηριζόμενα με το ένα χέρι. Αυτό ακριβώς φαίνεται και στον πίνακα στα αναγραφόμενα ύψη πτώσης. Καθώς το βάρος του προϊόντος αυξάνεται, το κατά μέσο όρο ύψος πτώσης μειώνεται καθώς τα προϊόντα αυτά είτε μεταφέρονται από δύο ανθρώπους στο ύψος της μέσης το πολύ ή τοποθετημένα σε ένα καροτσάκι κ.λπ. Το αναμενόμενο ύψος πτώσης για πολύ βαριά προϊόντα είναι λιγότερο από 30 cm με μισό μέτρο, καθώς αυτά μετακινούνται συνήθως με μηχανικά μέσα.

Ο αριθμός των φορών που ένα συσκευασμένο προϊόν μετακινείται έχει επίσης σημαντικό ρόλο στον σχεδιασμό, καθώς κάθε μετακίνηση αποτελεί και έναν επιπρόσθετο κίνδυνο, μια ακόμα πιθανότητα πτώσης. Ο αριθμός των φορών αυτών ποικίλει με το μέγεθος του πακέτου και είναι συνήθως τουλάχιστον τρεις (μια μέσα στο μέσο μεταφοράς, μία έξω από αυτό και μία από τον πελάτη μέσα στο μαγαζί). Εάν μεσολαβεί μεταφορά σε αποθήκη ή διακομιστικό κέντρο οι φορές αυξάνονται ανάλογα, φτάνοντας κατά μέσο όρο στις 3-5.

Ευθραυστότητα λόγω shock.

Ένα προϊόν ρίπταται από ολόένα και αυξανόμενο ύψος μέχρι τη στιγμή που θα σπάσει, θα υποστεί δηλαδή μια ανεπανόρθωτη και ανεπιθύμητη ζημιά. Το ύψος στο οποίο συμβαίνει αυτό θεωρείται ως μέτρο της

αυθραυστότητας του προϊόντος. Η τιμή του ύψους όμως δεν λαμβάνει υπ' όψη της την σκληρότητα της επιφάνειας πάνω στην οποία πέφτει το προϊόν. Αυτό οδηγεί στην μέτρηση της ευθραυστότητας με άλλο τρόπο.

Δυνάμεις G.

Ενώ η μέτρηση της ευθραυστότητας γίνεται με δοκιμές πτώσεις του αντικειμένου, είναι η δύναμη της κρούσης που προκαλεί την καταστροφή, η οποία και είναι ευθέως ανάλογη της επιβράδυνσης του αντικειμένου, μετρήσιμη μέσα από τον νόμο του Newton. Έτσι, η σωστή μέτρηση της ευθραυστότητας έγκειται στην μέτρηση της επιβράδυνσης του προϊόντος, πράγμα που επιβεβαιώνεται με δοκιμές.

Εξ' ορισμού η επιβράδυνση ορίζεται ως ο ρυθμός με τον οποίο το αντικείμενο σταματά, και εξ ορισμού δίνεται ως

$$\text{Επιβραδυνση} = \frac{\text{αλλαγή ταχύτητας}}{\text{χρόνος που απαιτείται}}$$

Για μια καλύτερη κατανόηση του μεγέθους της επιβράδυνσης, η τιμή της συγκρίνεται με την σταθερά της επιτάχυνση της βαρύτητας (g), την οποία κάθε αντικείμενο δέχεται κατά την ελεύθερη πτώση του.

$$g = 9,81 \text{ m/sec}^2 = 32,2 \text{ ft/sec}^2 = 386,4 \text{ in. sec}^2$$

Στην σχετιζόμενη με την προστατευτική συσκευασία ορολογία, όταν λέμε ότι ένα αντικείμενο δέχεται shock 30 G, σημαίνει ότι η επιβράδυνση του ήταν 30 φορές την βαρύτητα.

$$G = \frac{\text{Επιβράδυνση}}{g} = \frac{\frac{\Delta V}{t}}{g} = \frac{\Delta V}{t * g} = \frac{\text{Δύναμη}}{\text{Βάρος}}$$

Συνεπώς το G δεν έχει μονάδες. Λέγοντας ότι το αντικείμενο έχει ευθραυστότητα 30 G, σημαίνει ότι από οποιοδήποτε ύψος και αν πέσει το αντικείμενο, εφ' όσον δεχθεί shock 30 G, θα πάθει αρκετή ζημιά για αν θεωρηθεί κατεστραμμένο.

Ο λόγος που το G σχετίζεται με καταστροφή μετά από μια πτώση, είναι επειδή το G είναι ανάλογο της δύναμης κρούσης στο προϊόν. Ο νόμος του Newton δηλώνει ότι σε κάθε σημείο, η δύναμη της κρούσης είναι αριθμητικά ίση με το βάρος του προϊόντος επί την επιτάχυνση, Δύναμη = βάρος x G.

Ευθραυστότητες.

Οι κατά προσέγγιση ευθραυστότητες για διαφορετικές κατηγορίες προϊόντων παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα. Οι τιμές αυτές παρήχθησαν μέσα από δοκιμές πρόσκρουσης και μπορούν να χρησιμεύσουν σαν οδηγίες μόνο, καθώς οι πραγματικές ευθραυστότητες αποκτούνται μόνο μέσα από δοκιμές.

| ΠΡΟΪΟΝΤΑ | ΕΥΘΡΑΥΣΤΟΤΗΤΑ |
|---|---------------|
| Εξαιρετικά εύθραυστα (σκληροί δίσκοι Η/Υ) | 15 – 25 G |
| Πολύ ευαίσθητα (ιατρικά εξαρτήματα διάγνωσης) | 25 – 40 G |
| Ευαίσθητα (Η/Υ, τερματικά, εκτυπωτές) | 40 – 60 G |
| Μεσαία | 60 – 85 G |
| Σχετικής αντοχής | 85 – 115 G |
| Μεγάλης αντοχής | > 115 G |

Ανάλυση των δεδομένων.

Ο μετρητής δίνει μια ολοκληρωμένη εικόνα της επιβράδυνσης του αντικειμένου καθ' όλη την διάρκεια της έντονης και απότομης μεταβολής της κατάστασης του. Κατά την πρόσκρουση, όταν δηλαδή το αντικείμενο έρχεται για πρώτη φορά σε επαφή με την επιφάνεια κρούσης η επιβράδυνση είναι μηδενική. Καθώς το προϊόν συνεχίζει την κίνηση του προς τα κάτω, αρχίζει να πιέζει την επιφάνεια η οποία σε αντιδιαστολή επιδρά με μια δύναμη αντίθετη στο προϊόν πιέζοντας το προς τα πάνω με αυξανόμενη ένταση, ώπου τελικά το προϊόν να σταματήσει αργότερα εντελώς για κάποιο χρονικό διάστημα. Κατά τη φάση της πρόσκρουσης, η επιβράδυνση συνεχίζει να αυξάνεται μέχρι που φτάνει τη μέγιστη τιμή της την στιγμή που το προϊόν σταματά. Την ίδια στιγμή η επιφάνεια πρόσπτωσης έχει φτάσει στην μέγιστη συμπίεση της και αρχίζει να σπρώχνει το προϊόν προς τα πάνω προκαλώντας την αύξηση της ταχύτητας του προς την αντίθετη τώρα κατεύθυνση, προκαλώντας την αποκόλληση του από την επιφάνεια πρόσκρουσης και την αναπήδηση του. Κατά την φάση της αναπήδησης η

επιτάχυνση του προϊόντος ξεκινά από την μέγιστη τιμή της και συνεχίζει να μειώνεται μέχρι το σημείο που το αντικείμενο θα φτάσει στο μέγιστο ύψος. Όλα αυτά τα γεγονότα λαμβάνουν χώρα σε απειροελάχιστο χρόνο, στις περισσότερες περιπτώσεις μεταξύ 2 και 100 ms, ανάλογα με την σκληρότητα της επιφάνειας πρόσκρουσης.

Ανάλυση του διαγράμματος της απότομης μεταβολής της ταχύτητας

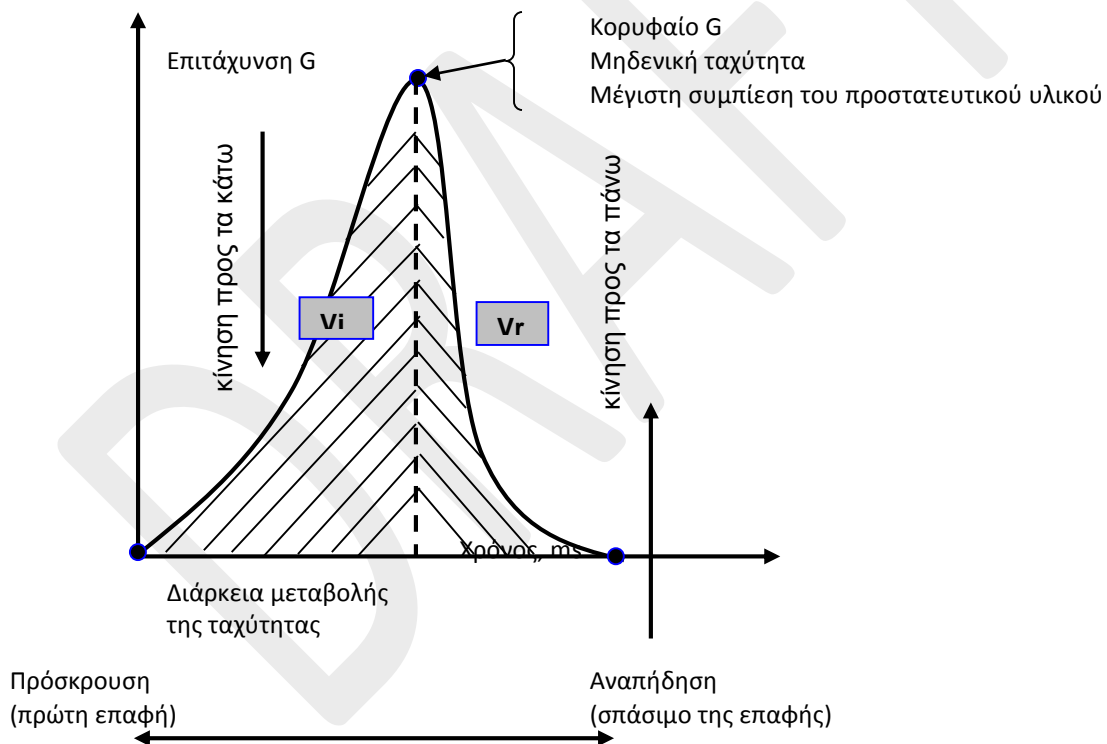
Κατά τη δοκιμή αντοχής ενός συσκευασμένου προϊόντος στην πρόσκρουση σε μια σκληρή επιφάνεια, ένας μετρητής επιτάχυνσης επικολλάται στο προϊόν το οποίο φέρεται στο επιθυμητό ύψος επάνω από την επιφάνεια στην οποία υπάρχει το υπό εξέταση προστατευτικό υλικό. Κατά την πρόσκρουση, ο μετρητής καταγράφει τον παλμό της απότομης μεταβολής της ταχύτητας του προϊόντος, όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.

Η αλλαγή ταχύτητας, η διάρκεια, το μέγιστο G, και το σχήμα της καμπύλης συνδέονται μεταξύ τους. Η περιοχή κάτω από την καμπύλη μπορεί να εκφραστεί με την κατάτμηση της σε συγκεκριμένα κομμάτια σε δεδομένη βάση και ύψος για το ευκολότερο προσδιορισμό του εμβαδού. Η επιφάνεια ενός τριγώνου είναι $\frac{1}{2} \times \text{βάση} \times \text{ύψος}$. Το $\frac{1}{2}$ ονομάζεται παράγοντας σχήματος και είναι 0,5 για το τρίγωνο, 1 για το τετράγωνο και 0,636 για το μισό κύμα. Έτσι, για κάθε γράφημα θα ισχύει ότι $\text{Επιφάνεια} = \text{παράγοντας σχήματος} \times \text{βάση} \times \text{ύψος}$ ή τελικά,

$$\text{Μεταβολή της ταχύτητας} = \text{παράγοντας σχήματος} \times \text{διάρκεια} \times \text{κορυφαίο G}$$

Ανάλυση της καταγραφής μετρήσεων shock

Μία γραφική παράσταση λοιπόν περιγραφής του shock είναι η παράσταση της στιγμιαίας επιβράδυνσης με το χρόνο.



Η ανάλυση της κυματοειδούς απεικόνισης του shock ξεκινά με τον ορισμό της επιτάχυνσης, $\text{Επιτάχυνση} = \text{αλλαγή της ταχύτητας} / \text{χρόνος}$. Εάν κοιτάξουμε την αλλαγή της ταχύτητας σε ένα πλήρως καθορισμένο χρονικό διάστημα, τότε η επιτάχυνση είναι ο μέσος όρος των επιταχύνσεων καθ' όλη την προσδιορισμένη αυτή χρονική διάρκεια. Καθώς μικραίνει το χρονικό διάστημα θα καταλήξουμε να μετράμε την στιγμιαία μεταβολή της επιτάχυνσης σε πολύ πιο συγκεκριμένο χρόνο. Και αυτό είναι τελικά το τι μετράμε με τον μετρητή επιτάχυνσης, δηλαδή την στιγμιαία επιτάχυνση σε καθορισμένους χρόνους κατά την πρόσκρουση. Η στιγμιαία επιτάχυνση είναι το παράγωγο (ρυθμός ταχύτητας) της ταχύτητας. Με ολοκλήρωση της επιτάχυνσης θα πάρουμε πάλι την ταχύτητα. Αλλά καθώς η ολοκλήρωση της ταχύτητας για δεδομένο χρονικό διάστημα μας δίνει την συνολική επιφάνεια κάτω από την κυματοειδή καμπύλη για το διάστημα αυτό, καταλήγουμε ότι: α) η ταχύτητα

πρόσκρουσης είναι απλά η επιφάνεια κάτω από την καμπύλη απεικόνισης από την αρχή μέχρι το τέλος της, και β) η ταχύτητα αναπήδησης είναι η περιοχή από την κορυφή μέχρι το τέλος της καμπύλης. Σε αυτό το σχήμα η παράμετρος V_i είναι η ταχύτητα πρόσκρουσης και V_r η ταχύτητα αναπήδησης, και οι δύο θετικές, αλλά γνωρίζοντας ότι έχουν αντίθετες κατευθύνσεις. Η συνολική μεταβολή της ταχύτητας είναι

$$\text{Μεταβολή της ταχύτητας} = \Delta V = V_i - V_r$$

Στη συνέχεια το ύψος της πτώσης μπορεί να υπολογιστεί από την ταχύτητα πρόσκρουσης και τον τύπο

$$V_i = \sqrt{2gh}$$

όπου $g = 9.81 \text{ m/sec}^2$, η επιτάχυνση της βαρύτητας. Η εξίσωση είναι η ευθεία συνέπεια του γεγονότος ότι στην ελεύθερη πτώση όλα τα αντικείμενα επιταχύνουν με την ίδια επιτάχυνση g . Και φυσικά, εάν ξέρουμε το ύψος πτώσης μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα. Η ίδια εξίσωση βρίσκει εφαρμογή και για τον υπολογισμό της ταχύτητας και του ύψους αναπήδησης.

Το μέγιστο G μπορεί να βρεθεί από το σχήμα της καμπύλης. Το μέσο G είναι

$$\text{μέσο } G = \frac{\text{μεταβολή της ταχύτητας}}{\text{δάρκεια του shock}} \times \frac{1}{g}$$

Ο παράγοντας $1/g$ μετρέπει την επιτάχυνση σε G . Το μέσο G θα είναι πάντοτε μικρότερο από το μέγιστο G . Ο συντελεστής αποκατάστασης (restitution coefficient) ορίζεται ως ο λόγος της ταχύτητας αναπήδησης προς την ταχύτητα πρόσκρουσης και δίνεται με τον τύπο

$$e = \frac{V_r}{V_i}$$

Και εφόσον οι δύο ταχύτητες είναι οι περιοχές κάτω από την καμπύλη εκατέρωθεν του μέγιστου της, ο συντελεστής e είναι επίσης και ο λόγος των δύο αυτών εμβαδών, ενώ μια ακόμα εκδοχή μπορεί να συσχετίσει τις δύο ταχύτητες με τα ύψη και να καταλήξουν ότι

$$e = \sqrt{\frac{\text{ύψος αναπήδησης}}{\text{ύψος πτώσης}}}$$

Με βάση αυτά, μπορούμε να βγάλουμε μερικά συμπεράσματα για το e . Η κοινή εμπειρία έχει δείξει ότι το ύψος αναπήδησης δεν μπορεί να είναι ποτέ ίσο ή μεγαλύτερο από το ύψος πτώσης, και άρα ο συντελεστής αποκατάστασης e , δεν μπορεί ποτέ να είναι ίσος ή μεγαλύτερος από 1. Στην περίπτωση της λεγόμενης «πλαστικής πρόσκρουσης» ο συντελεστής $e = 0$, ενώ η οριακή περίπτωση όπου $e=1$ ονομάζεται «ελαστική πρόσκρουση». Οπότε γενικά ισχύει ότι $0 \leq e < 1$.

Ο συντελεστής e χρησιμοποιείται σαν μέτρο της ελαστικής ανάκαμψης ενός αντικειμένου, και στην περίπτωση της προστατευτικής συσκευασίας, ένα υλικό θεωρείται ελαστικό όταν έχει υψηλό συντελεστή e .

$$\text{Impact} = \frac{\text{Energy absorbed to break}}{\text{Area at notch section}}$$

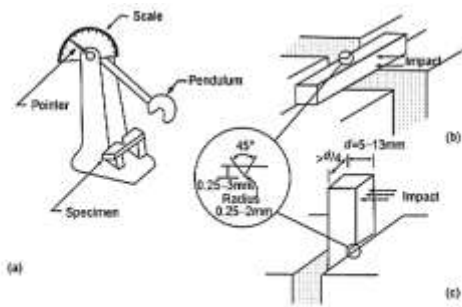


FIGURE 1 Impact test. (a) Schematic diagram of Charpy impact testing machine. (b) Arrangement of Charpy impact specimens. (c) Mounting of tool impact specimens.

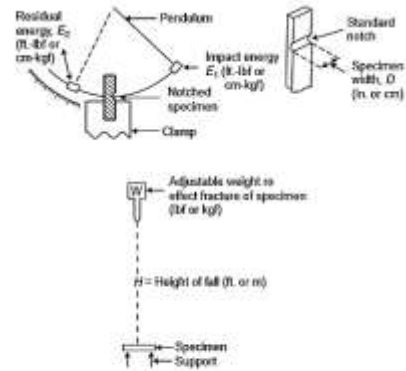


FIGURE 2 Tests for impact resistance of plastics. Tool impact strength = $(E_1 - E_2)/D$ in ft.-in./in. of notch or cm.-kg/cm of notch. Standard test methods: ASTM D1554; BS 2782 method 306A, ISO R180. Falling weight impact strength = $W \cdot H$ ft.-lb-ft or m.-kg-ft. (E_{50} is the energy required to fracture 50% of the specimens.) Standard test method: BS 2782 method 306 B.

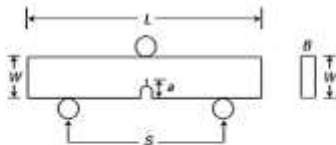


FIGURE 3 Test for fracture toughness of plastics. Specimen in three-point bending configuration, as shown, is loaded in a testing machine that has provision for autographic recording of load applied to the specimen. Specimen dimensions: L , length (mm); W , width (mm); B , thickness (mm); S , span length (mm); a , initial crack length (mm). Plane strain fracture toughness, $K_{Ic} = P\sqrt{f(a)W}/BW^{3/2}$, where P = load (N) determined from load displacement record; $f(a)W$ = geometric factor. Example: $L = 64$ mm, $W = 10$ mm, $B = 3$ mm, $S = 40$ mm, $a = 3.2$ mm, $P = 50.88$ N, $f(a)W = 1.61$ (from ASTM standard), $K_{Ic} = 34.3$ N mm^{-3/2} = 1.09 MPa m^{1/2}. Standard test method: ASTM E399-74.

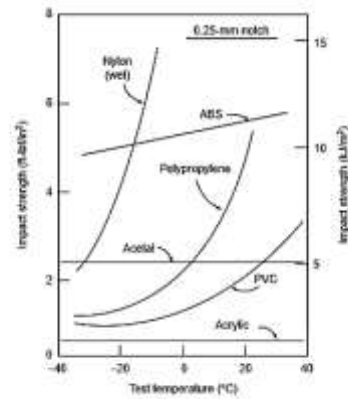


FIGURE 4 Variation of impact strength with temperature for several thermoplastics with sharp notch.

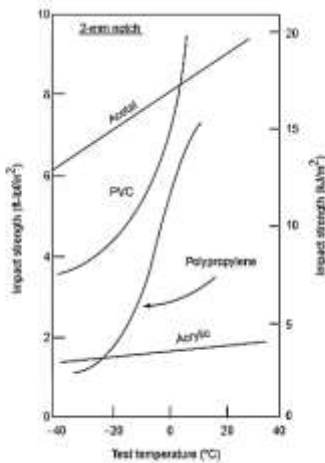


FIGURE 5 Variation of impact strength with temperature for several thermoplastics with blunt notch.

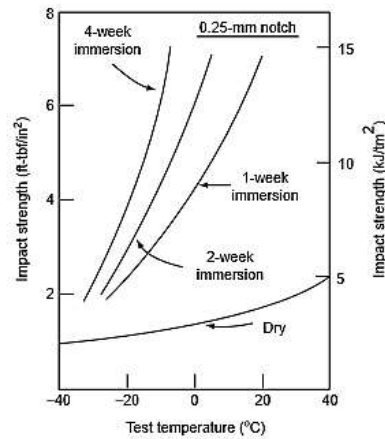


FIGURE 6 Effect of water content on impact strength of nylon.

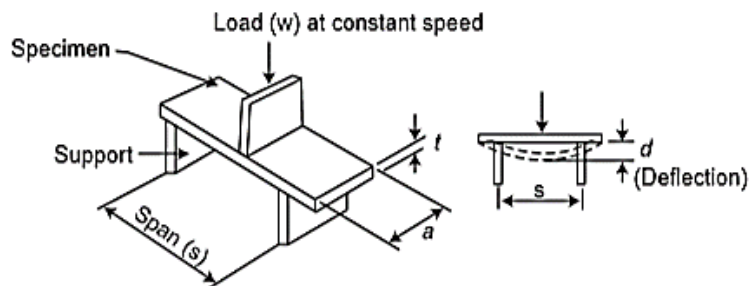


FIGURE Tests for flexural properties of plastics. Flexural strength = $3ws/2at$ (lbf/in.² or kgf/cm²). Standard test method: ASTM D790. Modulus in flexure = $s^3w/4at^3d$ (lbf/in.² or kgf/cm²). Standard test methods: BS 2782 method 302D, ASTM D790, ISO R178.

ΚΑΘΕΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ

Δοκιμή αντοχής των άκρων κυματοειδούς χαρτοκιβωτίου (Edge-crush test).

Το κυματοειδές χαρτόνι αποτελείται από την εκατέρωθεν ενός κυματοειδούς κατασκευής, δύο επίπεδων χαρτονιών. Οι επίπεδες επιφάνειες παρέχουν αντοχή στην κάμψη και το κυματοειδές τμήμα αντοχή στο σχίσιμο. Οι ιδιότητες του συνδυασμού δίνουν τις ανάλογες των υλικών που χρησιμοποιούνται και του κυματοειδούς σχηματισμού. Από εκεί και πέρα παίζει ρόλο ο σχεδιασμός του κιβωτίου. Αν και τα αποτελέσματα εργαστηριακών ελέγχων ολόκληρων χαρτοκιβωτίων κατά τα γνωστά μπορούν να δώσουν αρκετά ακριβείς ενδείξεις, μεγάλη προσοχή έχει δοθεί στη συσχέτιση των επιμέρους υλικών και της αντοχής των τελικών χαρτοκιβωτίων.

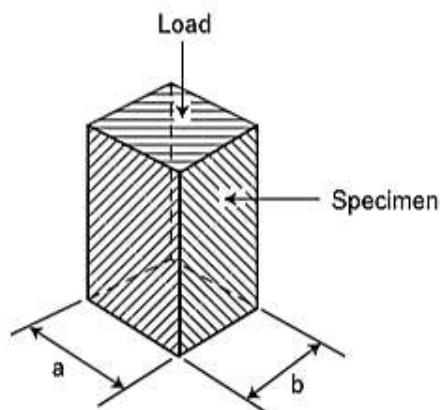


FIGURE Test for compressive strength of plastics. Compressive strength (lbf/in.² or kgf/cm²) = load (lbf or kgf)/ $a \cdot b$ (in.² or cm²). Standard test methods: ASTM D795, BS 2782 method 303, ISO R604.

Οι τέσσερις βασικές μηχανικές ιδιότητες που επηρεάζουν την δομική συμπεριφορά του κυματοειδούς υλικού είναι: α) τα χαρτιά και οι προσανατολισμοί των ινών τους, β) το ύψος των κυμάτων, γ) ο αριθμός των κυμάτων και η μεταξύ τους απόσταση, και δ) η αξιοπιστία των γραμμών κόλλας.

Η εξίσωση McKee υπολογίζει την αντοχή ενός RSC χαρτοκιβωτίου ως:

$$BCT = k_1 ECT^{bS} S^{1-b} Z^{2b-1}$$

Και γενικά τροποποιείται για όλα τα χαρτοκιβώτια ως:

$$BCT = k_1 (ECT^{0,75}) S^{0,25} Z^{0,5}$$

Όπου S είναι η κατά μέσο όρο γεωμετρική σκληρότητα, η οποία δίνεται ως:

$$S = (S_{MD} * S_{CD})^{1/2}$$

Όπου η σκληρότητα του υλικού έχει μετρηθεί κατά τη φορά της μηχανής (MD) και κάθετα σε αυτή (CD), και Z η περίμετρος του κιβωτίου. Η k_1 είναι μια σταθερά που χρησιμοποιείται για να δώσει το BCT σε N.

Ο παράγοντας ECT (edge crush compression test) ορίζεται ως η μέγιστη δύναμη συμπίεσης την οποία μπορεί να αντέξει ένα δείγμα χωρίς να σπάσει. Το δείγμα στερεώνεται με τα κύματα κάθετα στην φορά εφαρμογής της δύναμης. Η τιμή δίνεται σαν δύναμη ανά μήκος υλικού (kN/m, lbf/in, 1lbf/in = 0,1751268 N/m). Για την επίτευξη του ECT είναι βασική η σωστή προετοιμασία του δείγματος, ώστε να αποφύγουμε την συσσώρευση της εφαρμόσιμης δύναμης στις άκρες. Η τιμή του ECT εξαρτάται από όλα τα υλικά που αποτελούν το κυματοειδές χαρτόνι, δηλαδή:

ECT = k (σύνολο των αντοχών συμπίεσης των πλευρικών χαρτονιών + α χ την αντοχή στη συμπίεση του κυματοειδούς μέρους)

Όπου το α για κυματοειδές χαρτόνι τύπου A είναι 1,54, για τύπου B είναι 1,34 και για τύπο C είναι 1,45. Ο παράγοντας k εξαρτάται από τις συνθήκες του πειράματος.

Σε μια απλοποιημένη εξίσωση McKee η αντοχή στην κύρτωση αντικαταστάθηκε εμπειρικός το πάχος του υλικού, t, δίνοντας μια εκτίμηση της αντοχής του χαρτοκιβωτίου με τη χρήση της εξίσωσης

$$\text{Αντοχή χαρτοκιβωτίου } P = 5,76 \times \text{ECT} \times (Z \times t)^{1/2}$$

όπου:

ECT = (Edge Crush Test) η τιμή αυτή εκφράζει την ικανότητα ενός μικρού κομματιού χαρτονιού να αντιστέκεται στη συμπίεση όταν κοπεί σε συγκεκριμένο σχήμα και τοποθετηθεί ανάμεσα σε δύο παράλληλες πλάκες (lb/in)

Z = περίμετρος του χαρτοκιβωτίου (in)

t = το πάχος του υλικού από το οποίο είναι φτιαγμένο το χαρτοκιβώτιο (in).

Η εξίσωση αυτή ισχύει μόνο για τα χαρτοκιβώτια τύπου RCS (Regular Slotted Container), ο οποίος είναι και ο πλέον διαδεδομένος, εφόσον όλες οι τιμές των παραμέτρων δίνονται σε in (inches, 1 in = 2,54 cm) lb (pounds, 1 lb = 0.454 kg).

Η χρήση της εξίσωσης McKee προέκυψε μετά από εκτεταμένη μελέτη του τρόπου με τον οποίο ένα χαρτοκιβώτιο υποχωρεί υπό πίεση. Βρέθηκε ότι είναι οι πλευρές του κιβωτίου συνήθως υποχωρούν πρώτα, μειώνοντας την ικανότητα του κιβωτίου να μεταφέρει το βάρος στις πλευρές αλλά πλέον μόνο στις γωνίες. Το μέγιστο βάρος που μπορεί να αντέξει ένα χαρτοκιβώτιο θα εξαρτάται όχι μόνο από το ίδιο το κυματοειδές αλλά και από την ικανότητα του να αντιστέκεται στην κύρτωση, καθώς όσο μεγαλύτερη η αντοχή στην κύρτωση τόσο μεγαλύτερη και η αντοχή του χαρτοκιβωτίου στην κάθετη συμπίεση. Σε αυτό το σημείο η χρήση της απλοποιημένης μορφής της εξίσωσης McKee δεν θα πρέπει να γίνεται χωρίς περαιτέρω κριτική καθώς στην εξίσωση υπονοείται ότι η αντοχή στη συμπίεση μπορεί να βρεθεί ξέροντας το ECT. Ακόμα, παρεκκλίσεις κατά την κατασκευή του κιβωτίου και των συστατικών της κυματοειδούς δομής επηρεάζουν την αντοχή του χαρτοκιβωτίου όπως υπολογίζεται από τις εξισώσεις McKee. Οι παράμετροι αυτοί μετράζονται όσο προχωρά η μηχανική και η τεχνολογία στην παραγωγή των υλικών και στην κατασκευή των κιβωτίων και καθιστούν τόσο τον υπολογισμό του ECT όσο και την τελική εκτίμηση της αντοχής στη συμπίεση πιο αξιόπιστα.

Έτσι για παράδειγμα σε ένα χαρτοκιβώτιο με έξι μπουκάλια χωρίς ενδιάμεσο κενό χώρο μεταξύ των προϊόντων και το επάνω μέρος του κλειστού χαρτοκιβωτίου, το οποίο ζυγίζει 35 kg, και αποθηκεύεται για ένα (1) μήνα σε μια αποθήκη με 75 % RH, θα υπολογίσουμε τους παράγοντες ασφαλείας 60% και 80% για τις δύο συνθήκες, αντίστοιχα. Θεωρώντας σαν πιο πιθανό η παλέτα να είναι χτισμένη με αποκλίσεις στην στοίβαξη των χαρτοκιβωτίων, θα πρέπει να υπολογιστεί και ένα 50% επιπλέον. Η αποδοχή αυτή απορρέει από το γεγονός ότι και μια μικρή απόκλιση της τάξης του πάχους του χαρτοκιβωτίου, από την κάθετη τέλεια στοίβαξη θα προκαλέσει την μείωση της αντοχής στη στοίβαξη, καθώς τώρα οι γωνίες δεν θα είναι τέλεια ευθυγραμμισμένες. Οι παράγοντες αυτοί δρουν αθροιστικά στην μείωση της αντοχής του χαρτοκιβωτίου, δίνοντάς του τελικά

$$\text{Αρχική Αντοχή στη Στοίβαξη} \times 60\% \times 80\% \times 50\% = 24\% \text{ της Αρχικής Αντοχής στη Στοίβαξη,}$$

αλλάζοντας φυσικά και το συνολικό ύψος της στοίβας, δηλαδή τον συνολικό αριθμό των κάθετα στοιβαγμένων χαρτοκιβωτίων σε:

Παράγοντες προϊόντος.

Υπάρχουν και διορθωτικοί παράγοντες που αφορούν το ίδιο το προϊόν. Έτσι, στην περίπτωση των πλαστικών μπουκαλιών, ο παράγοντας χρόνος επηρεάζει τη συμπεριφορά του πολυμερούς, ενώ δεν επηρεάζονται από την υγρασία. Τα μεταλλικά κουτιά και τα γυάλινα μπουκάλια δεν απαιτούν διορθωτικούς παράγοντες αφού είναι πολύ πιο ανθεκτικά. Οι παράγοντες που ισχύουν για τα χαρτοκιβώτια, δεν ισχύουν γενικά για τα πλαστικά υλικά, αφού το περιβάλλον επηρεάζει τα δύο υλικά διαφορετικά. Έτσι, αφού γίνει η διόρθωση για όλα τα στοιχεία, υπολογίζεται η αντοχή της συσκευασίας για όλο το συσκευασμένο προϊόν.

Παράγοντες περιέκτη.

Τα πιο πάνω αποτελούν μία μέθοδο για την διαχείριση των περιβαλλοντικών παραγόντων που επηρεάζουν την αντοχή των χαρτοκιβωτίων. Μια άλλη μέθοδος, εναρμονισμένη με το ISTA-Project 1A (International Safe Transit Association, Διεθνής Οργανισμός Ασφαλών Μεταφορών), διαχειρίζεται τους παράγοντες του περιβάλλοντος, προτείνοντας την δοκιμή χωριστά του περιέκτη και χωριστά του προϊόντος και την εφαρμογή διορθωτικών συντελεστών ασφαλείας για τον υπολογισμό του ύψους στοίβαξης. Ξεκινώντας με το αναμενόμενο ύψος στοίβαξης, προτείνουν ένα επίπεδο βάρους στο οποίο ελέγχεται το συσκευασμένο προϊόν. Συγκεκριμένα, προτείνουν μια δοκιμή στο επίπεδο συμπίεσης

$$L = W \left(\frac{H - h}{h} \right) F$$

όπου,

W = το συνολικό βάρος του συσκευασμένου προϊόντος

H = το αναμενόμενο ύψος κατά την αποθήκευση ή μεταφορά

h = το ύψος του περιέκτη, και

F = π συντελεστής ασφάλειας.

Το συσκευασμένο προϊόν συμπιέζεται σε αυτή την τιμή κάθετης πίεσης, εξετάζεται για τυχόν ζημιές και κατόπιν του αφαιρείται το βάρος αμέσως. Εάν δεν παρατηρηθούν ζημιές, το συσκευασμένο προϊόν περνά τη δοκιμή, και άρα θα μπορεί να στοιβαχθεί με ασφάλεια σε ύψος H. Η ποσότητα στην παρένθεση στην προαναφερθείσα εξίσωση, είναι ο αριθμός των πακέτων που βρίσκονται επάνω από το χαρτοκιβώτιο βάσης, ο οποίος πολλαπλασιαζόμενος με το βάρος του κάθε πακέτου θα μας δώσει ο συνολικό βάρος/πίεση που εφαρμόζεται στο κουτί της βάσης. Το προσδοκώμενο αυτό φορτίο πολλαπλασιάζεται με τον συντελεστή ασφαλείας (F) ο οποίος επιλέγεται από τον πιο κάτω πίνακα. Ο συντελεστής ασφαλείας βασίζεται

α) στην κατασκευή του περιέκτη,

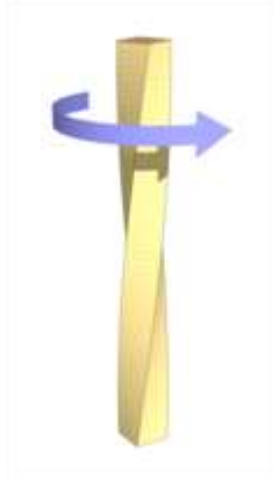
β) στο εάν το προϊόν μέσα έχει σχεδιαστεί για να αντέχει κάποιο βάρος ή όχι, και

γ) σε ένα «επίπεδο ασφαλείας».

Τα τρία προτεινόμενα επίπεδα ασφαλείας, σχετίζονται σε απροσδιοριστίες των παραγόντων του περιβάλλοντος. Το επίπεδο I, αντιπροσωπεύει την χειρότερη περίπτωση κατά την οποία το κιβώτιο βάσης μπορεί να συμπιεστεί μέχρι και οκτώ (8) φορές το αναμενόμενο βάρος, εάν το υλικό κατασκευής του ταιριάζει με την περιγραφή που δίνεται στην πρώτη στήλη του πίνακα. Αυτό όμως έχει μικρή πιθανότητα να συμβεί. Το επίπεδο II αντιπροσωπεύει την κατά μέσο όρο κατάσταση και το επίπεδο III αντιπροσωπεύει την περίπτωση εμπειρικής την μεγαλύτερη πιθανότητα να συμβεί. Το επίπεδο I συνήθως χρησιμοποιείται για ακριβά προϊόντα και το επίπεδο II για ογκώδη, μέσου κόστους προϊόντα.

ΣΤΡΟΦΟΡΜΗ (torsion)

Για την φυσική των στερεών, στροφορμή είναι η περιστροφή ενός αντικείμενου λόγω της εφαρμογής περιστροφικής δύναμης Εκφράζεται σε N·m ή ft·lbf. Σε περιοχές κάθετες στον άξονα περιστροφής το αποτέλεσμα είναι η τάση διάτμησης (shear stress), κάθετη στην ακτίνα το κύκλου περιγραφής της περιστροφής.



Για άξονες ομοιόμορφης διατομής η στροφορμή δίνεται ως:

$$T = \frac{J_T}{r} \tau = \frac{J_T}{\ell} G \theta$$

όπου:

T είναι η εφαρμοζόμενη δύναμη σε Nm.

T είναι η μέγιστη τάση διάτμησης στην εξωτερική επιφάνεια

J_T είναι η σταθερά στροφορμής για την δεδομένη περιοχή

r είναι η απόσταση μεταξύ του άξονα περιστροφής και το μέγιστα απομακρυσμένο σημείο του αντικειμένου

(στην εξωτερική του επιφάνεια).

ℓ το μήκος του αντικειμένου όπου εφαρμόζεται η δύναμη

θ είναι η γωνία στρέψης σε μοίρες.

G είναι ο συντελεστής τάσης (shear modulus) ή πιο κοινά ο συντελεστής ακαμψίας (modulus of rigidity) συνήθως

σε GPa, lbf/in² (psi), ;h lbf/ft².

Το $J_T G$ ονομάζεται ακαμψία στροφορμής (torsional rigidity), w_T .

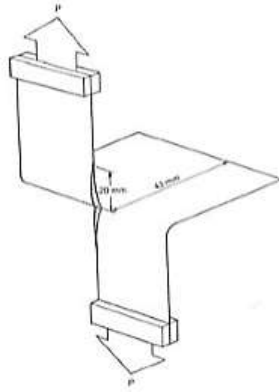
Εφαρμογές

Το άνοιγμα ενός βιδωμένου καπακιού συνεπάγεται την εφαρμογή ενός ζεύγους ίσως και αντίρροπων δυνάμεων στο καπάκι με στόχο την περιστροφή γύρω από τον κάθετο άξονα του. Η δύναμη εφαρμογής του καπακιού είναι σε γενικές γραμμές μικρότερη από την δύναμη απομάκρυνσης του, δηλαδή χρειάζεται με απλά λόγια περισσότερη προσπάθεια να βιδώσουμε παρά να ξεβιδώσουμε ένα καπάκι.

Ένας ασφαλής τρόπος που εφαρμόζεται πρακτικά από την βιομηχανία για τον υπολογισμό της δύναμης βιδώματος, λέει πως η εφαρμοζόμενη δύναμη να είναι περίπου το μισό της διαμέτρου του καπακιού σε mm. Έτσι, για παράδειγμα, για να βιδωθεί ένα καπάκι 50mm διαμέτρου θα χρειαστούν περίπου 25 torque-inch-lb (TIP) μονάδες δύναμης. Για την απομάκρυνση του καπακιού ένας βασικός κανόνας λέει ότι η δύναμη που θα χρειαστεί είναι περίπου 20% μικρότερη της δύναμης εφαρμογής του ίδιου καπακιού. Άρα για να αφαιρεθεί το προηγούμενο καπάκι θα χρειαστεί 20 TIP.

ΣΧΙΣΙΜΟ

Σχίσιμο είναι η πράξη του να σπάσει, να διαχωρίζεται ένα υλικό σε δύο κομμάτια με την εφαρμογή μιας δύναμης, χωρίς τη βοήθεια ενός εργαλείου κοπής. Ένα σχίσιμο σε ένα κομμάτι χαρτί, ύφασμα, ή κάποιο άλλο παρόμοιο αντικείμενο μπορεί να είναι το αποτέλεσμα της εκ προθέσεως προσπάθειας με κάποιον σκοπό, ή η τυχαία και αθέμιτη πράξη (ζημιά). Σε αντίθεση με μια τομή, η οποία είναι γενικά σε ευθεία ή διαμορφωμένη γραμμή που ελέγχεται από ένα εργαλείο όπως ένα κοπίδι ή ένα ψαλίδι, ένα σχίσιμο είναι μια γενικά άνιση και, ως επί το πλείστον, απρογραμματίστη διεργασία. Μια εξαίρεση αποτελεί το σχίσιμο κατά μήκος μιας διάτρητης γραμμής, έτσι ώστε η προσπάθεια του σχισίματος να παράγει πιθανώς ένα αποτέλεσμα διαχωρισμού σε ευθεία γραμμή.



Τα υλικά διαφέρουν ως προς την ευαισθησία τους σε σχίσσιμο. Ορισμένα υλικά μπορεί να είναι αρκετά ανθεκτικά στο σχίσσιμο, όταν είναι στην πλήρη μορφή τους, αλλά όταν γίνει ένα μικρό κόψιμο ή σχίσσιμο, το υλικό βρίσκεται σε υψηλότερο κίνδυνο και η προσπάθεια που απαιτείται για να συνεχίσει το σχίσσιμο κατά μήκος αυτής της γραμμής μικραίνει.

Ο χαρακτηρισμός των υλικών γίνεται με πρότυπες μεθόδους για τη μέτρηση της «αντοχή σε σχίσσιμο» τους. Υπάρχουν αρκετά αναλυτικά πρότυπα σε όλο τον κόσμο, αλλά σε γενικές γραμμές οι μεταβλητές που επηρεάζουν την αντοχή στο σχίσσιμο μπορεί να συνοψιστούν ως εξής:

Η τιμή της αντοχής στο σχίσσιμο που λαμβάνεται εξαρτάται από το σχήμα του τεμαχίου δοκιμής, την ταχύτητα του τεντώματος και την θερμοκρασία δοκιμής.

ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

Η ηλεκτρονική ακτινοβολία αναφέρεται στο μέρος του φάσματος μεταξύ ορατού και μικροκυμάτων, με ιδιαίτερο ενδιαφέρον τε μήκη κύματος μεταξύ 4000 cm^{-1} και 666 cm^{-1} ($2,5 - 15 \mu\text{m}$). Η συχνότητα απορρόφησης στο τμήμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας εκφράζεται συνήθως με την συχνότητα (wavenumbers) (ν), με μονάδες το cm^{-1} , είναι δηλαδή το αντίστροφο του μήκους κύματος σε cm. Όταν το μήκος κύματος είναι σε μm , η συχνότητα (wavenumber) δίνεται ως:

$$\nu = 1 \times 10^4 / \mu$$

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα χαρακτηρίζονται από την συχνότητα (ν) και το μήκος τους (λ), όπου,

$$\nu \times \lambda = c \text{ (η ταχύτητα του φωτός } \sim 300 \times 10^6 \text{ m/sec)}$$

Κύματα με διαφορετικά ν και λ αντιδρούν διαφορετικά με τα άτομα της ύλης. Μερικοί τύποι αντιδράσεων και οι πληροφορίες που παρέχουν είναι:

| ΤΥΠΟΙ | ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ |
|----------------------------|--|
| Ακτίνες – X VIS/UV | απόσταση μεταξύ των δεσμών σε κρυστάλλους μετάβαση ενεργειακών επιπέδων τροχιακών ηλεκτρονίων e^- |
| IR | μοριακές δονήσεις και περιστροφές |
| Microwaves | μοριακές περιστροφές |
| Ultra high frequency (NMR) | μαγνητικές ιδιότητες των πυρήνων και των μορίων |

Η ηλεκτρονική ακτινοβολία αντιδρά με τα μόρια. Όταν συμβεί αυτό, οι δεσμοί μεταξύ των ατόμων επανατοποθετούν τα ελεύθερα ηλεκτρόνια τους με ταυτόχρονη απορρόφηση ενέργειας. Παράδειγμα η εφαρμογή μικροκυμάτων για την θέρμανση υλικών λόγω δονήσεων των μορίων και τριβής τους μεταξύ των και λουτά.

Στην πράξη, το φάσμα απορρόφησης στην περιοχή του υπέρυθρου περιγράφεται είτε σαν η απορρόφηση ή η % διαπερατότητα ανά μήκος κύματος είτε σαν απορρόφηση ανά συχνότητα (συχνότητα σε cm^{-1}).

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, η ακτινοβολία που προσπίπτει σε ένα δείγμα μερικώς ανακλάται και μερικώς απορροφάται από το δείγμα, κατά βαθμό που εξαρτάται από το δείγμα και την συχνότητα εκπομπής. Απορρόφηση μπορεί να υπάρξει μόνο εφόσον η συχνότητα εκπομπής της ακτινοβολίας είναι ταυτόσημη με την ενέργεια που εκπέμπεται μέσα από το ίδιο το δείγμα. Τα κβαντισμένα ενεργειακά πεδία εντός του δείγματος επιτρέπουν τα μόρια να μεταβαίνουν από ένα ενεργειακό επίπεδο σε ένα άλλο. Τα ενεργειακά επίπεδα λόγω δόνησης και περιστροφής των μορίων ταυτίζονται με την ενέργεια της υπεριώδους ακτινοβολίας και άρα

αλλαγές της ενέργειας των μορίων θα μπορούσαν να μετρηθούν μέσω του διαχωρισμού της προσπίπτουσας υπέρυθρης ακτινοβολίας. Για να αντιδρά ένα μόριο στην υπέρυθρη ακτινοβολία θα πρέπει:

- Να αποτελείται από θετικά και αρνητικά φορτισμένα στοιχεία όπως καθορίζονται από τον πυρήνα και τα ηλεκτρόνια του. Στα συμμετρικά μόρια (H_2 , O_2 , N_2) το κέντρο του θετικού φορτίου συμπίπτει με το κέντρο του αρνητικού φορτίου και παραμένουν σε συστοιχία παρά την δόνηση των ατόμων τους. Με ανομοιόμορφα άτομα, τα κέντρα αυτά δεν θα ταυτίζονταν και θα άλλαζε η σχετική τους θέση με την δόνηση δημιουργώντας παλλόμενα δίπολα.
- Όταν ακτινοβολία ίδιας συχνότητας πέφτει επάνω σε ένα μόριο, εγκαθίσταται μια κατάσταση συντονισμού μεταξύ των παλλόμενων δίπολων και του ηλεκτρικού φορτίου της ακτινοβολίας. Έτσι, προστίθεται ενέργεια στο μόριο με αυξημένη ταλάντωση και μήκος της δόνησης, αλλά χωρίς μεταβολή της συχνότητας.
- Αν και η απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας φαίνεται να συμβαίνει σαν αποτέλεσμα της δόνησης και των μεταπτώσεων λόγω περιστροφής εσωτερικά των μορίων, οι περιοχές απορρόφησης της δόνησης έχουν μεγαλύτερο πρακτικό ενδιαφέρον αφού μπορούν να μετρηθούν πιο εύκολα. Υπάρχουν δύο είδη μοριακών δονήσεων:
 - ο Έκτασης (stretching) – ρυθμική κίνηση κατά μήκος του άξονα δεσμού, με αυξανόμενη ή μειούμενη απόσταση μεταξύ των ατόμων, είτε συμμετρικά είτε ασύμμετρα
 - ο Λυγίσματος (bending) -

Κάθε μοριακή δόνηση, αφορά το σύνολο του μορίου, αλλά η περισσότερη ενέργεια στην πράξη εμπλέκεται σε ένα ιδιαίτερο δομικό στοιχείο του μορίου. Αυτό το σχήμα, μπορεί να θεωρηθεί ότι δονείται ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα άτομα, μια κατάσταση η οποία παρέχει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά δόνησης κάθε τέτοιου στοιχείου. Αυτή η ιδιαίτερη ανταλλαγή ενέργειας με τα ιδιαίτερα στοιχεία, μπορεί να καταγραφεί από το FT-IR και να βοηθήσει στην αναγνώριση των πολυμερών. Αυτά τα στοιχεία απορροφούν σε πολύ στενή ζώνη συχνοτήτων. Η παρουσίαση πλευρικών στοιχείων μπορεί να επηρεάσουν την συμπεριφορά των κύριων δομών, καθώς και η συμπεριφορά της υπόλοιπης δομής των μορίων και μπορούν και τα δύο να είναι ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των πολυμερικών χημικών σχέσεων και δομών. Η επίδραση μοριακών δομών προσκολλημένων σε δομικά στοιχεία, μπορεί να επηρεάσει την ενεργειακή κατάσταση της ύλης. Αυτά αντανakλούν στην μετάβαση της συχνότητας απορρόφησης συγκεκριμένων ομάδων.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζονται το φάσμα απορρόφησης του πολυαιθυλενίου με αναγραφόμενες τις χαρακτηριστικές ζώνες απορρόφησης των λειτουργικών του ομάδων με αναφορά στην ενδομοριακή αιτία της απορρόφησης.

FTIR

FT-IR ουσιαστικά σημαίνει μετασχηματισμός Fourier με υπέρυθρες ακτίνες, γνωστή και ως μέθοδος υπέρυθρης φασματοσκοπίας. Στην υπέρυθρη φασματοσκοπία, η IR ακτινοβολία διέρχεται μέσω ενός δείγματος όπου, ένα μέρος της απορροφάται από το δείγμα και κάποιο διέρχεται μέσω του δείγματος. Το προκύπτον φάσμα αντιπροσωπεύει την μοριακή απορρόφηση και μετάδοση, δίνοντας το «μοριακό δακτυλικό αποτύπωμα» του κάθε δείγματος. Όπως ακριβώς για ένα μοναδικό δακτυλικό αποτύπωμα, έτσι και για την ύλη, δεν υπάρχουν δύο μοναδικές μοριακές δομές που να παράγουν το ίδιο υπέρυθρο φάσμα. Αυτό καθιστά την υπέρυθρη φασματοσκοπία χρήσιμη για διάφορους τύπους ανάλυσης.

Πληροφορίες που μπορούν να παρέχουν τα φάσματα FT-IR

- Αναγνώριση άγνωστων υλικών
- Καθορισμός της ποιότητας ή της συνοχής του δείγματος
- Καθορίζει της ποσότητας των συστατικών ενός μείγματος

Η υπέρυθρη φασματοσκοπία υπήρξε μία εργαστηριακή τεχνική ανάλυσης των υλικών για πάνω εβδομήντα χρόνια. Ένα υπέρυθρο φάσμα αντιπροσωπεύει ένα δακτυλικό αποτύπωμα ενός δείγματος με κορυφές απορρόφησης που αντιστοιχούν στις συχνότητες των δονήσεων μεταξύ των δεσμών των ατόμων που απαρτίζουν το υλικό. Επειδή κάθε διαφορετικό υλικό είναι ένας μοναδικός συνδυασμός των ατόμων, δεν υπάρχουν δύο ενώσεις που να παράγουν το ίδιο ακριβώς υπέρυθρο φάσμα. Ως εκ τούτου, η υπέρυθρη φασματοσκοπία μπορεί να οδηγήσει σε θετική ταυτοποίηση (Ποιοτική ανάλυση) του κάθε διαφορετικού είδους του υλικού. Επιπλέον, το μέγεθος των κορυφών στο φάσμα είναι μια άμεση ένδειξη της ποσότητας του υλικού που είναι παρόν στο δείγμα. Με τις σύγχρονες μεθόδους χρήσης των αλγόριθμων του λογισμικού, το υπέρυθρο είναι ένα εξαιρετικό εργαλείο για την ποσοτική ανάλυση.

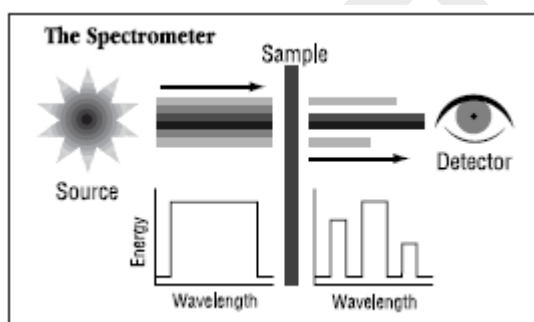
Η μέθοδος FT-IR προτιμάται για διάφορους λόγους:

- Είναι μια μη καταστρεπτική τεχνική

- Παρέχει μια ακριβή μέθοδο μέτρησης η οποία δεν απαιτεί καμία εξωτερική διακρίβωση
- Μπορεί να αυξήσει την ταχύτητα της ανάλυσης με συλλογή στοιχείων με μια σάρωση κάθε δευτερόλεπτο
- Μπορεί να έχει αυξημένη αναλυτική ευαισθησία
- Έχει μεγαλύτερη οπτική απόδοση
- Είναι μηχανικά απλό όργανο όπου βασίζεται σε ένα μόνο κινητό μέρος

Χρήσεις FT-IR

Η μέθοδος φασματοσκοπίας FT-IR αναπτύχθηκε προκειμένου να ξεπεραστούν οι περιορισμοί και οι δυσκολίες όπως ήταν η αργή διαδικασία σάρωσης και η ανάγκη για μια μέθοδο μέτρησης όλων των υπέρυθρων συχνοτήτων ταυτόχρονα. Επειδή ο αναλυτής απαιτεί ένα φάσμα συχνοτήτων (ένα γράφημα της έντασης σε κάθε επιμέρους συχνότητα), προκειμένου να προβεί σε αναγνώριση, το μετρούμενο σήμα δεν μπορεί να ερμηνευθεί απ' ευθείας και απαιτείται μια «αποκωδικοποίηση» των επιμέρους συχνοτήτων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω μιας γνωστής μαθηματικής τεχνικής που ονομάζεται μετασχηματισμός Fourier. Αυτή η διαδικασία εκτελείται από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, ο οποίος στη συνέχεια παρουσιάζει στο χρήστη τις φασματικές πληροφορίες του δείγματος.



Εφαρμογές στα υλικά συσκευασίας

Ένα καλό παράδειγμα είναι η αναγνώριση των συνολικών μεθυλικών ομάδων ($-CH_3$) στο πολυαιθυλένιο. Η γνώση αυτή, συνδυασμένη με το μοριακό βάρος και των δραστικών στοιχείων των άκρων των αλυσίδων μπορεί να οδηγήσει σε θεωρητική αναγνώριση των δομικών χαρακτηριστικών και της διεργασίας πολυμερισμού των προϊόντων PE. Επίσης μπορεί να αναλογιστεί με συγκεκριμένες ιδιότητες του πολυμερούς, όπως η θερμοκρασία τήξης, η πυκνότητα, η σκληρότητα και δυσκαμψία και λοιπές, οι οποίες σχετίζονται με τον βαθμό κρυστάλλωσης του πολυμερούς. Η ανάλυση βασίζεται στην απορρόφηση στα 1378 cm^{-1} ($7,25\text{ }\mu\text{m}$), την ζώνη συμμετρικής παραμόρφωσης των μεθυλικών ομάδων ($-CH_3$), (βλ. ASTM – D2238-68).

Άλλο παράδειγμα συνεχούς καταμέτρησης και ελέγχου με τη χρήση FT-IR αποτελεί η ποσοτικοποίηση του μονομερούς του βινυλοχλωριδίου (VCM). Μια γρήγορη, ακριβής και ευαίσθητη μέθοδος ιδιαίτερα στα $8 - 14\text{ }\mu\text{m}$, όπου η απορρόφηση εξαρτάται ιδιαίτερα από μικρές αλλαγές στην δομή και συγκέντρωση των συστατικών των πολυμερών. Με την κατάλληλη καμπύλη βαθμονόμησης όπου συσχετίζεται η ποσότητα του VCM και της απορρόφησης, μπορούν να ποσοτικοποιηθεί το VCM στα υλικά.

Τέλος, μια ακόμη περιοχή με ιδιαίτερο ενδιαφέρον αποτελεί η αναγνώριση και ποσοτικοποίηση των απορροφούμενων από τα πολυμερή ουσιών, είτε πρόκειται για υγρασία είτε για αρωματικά συστατικά, ενώ ενδιαφέρον παρουσιάζει η μεταβολή των ζωνών απορρόφησης κατά την εξέλιξη της περιβαλλοντικής γήρανσης και καταπόνησης των.

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

ΥΛΗ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Θερμότητα κρυσταλλοποίησης, T_c

Υπάρχουν βασικά 4 καταστάσεις της ύλης: στερεά, υγρό, αέριο, και το πλάσμα.

Για ένα αέριο που εκτείνεται στο κενό, τα μόρια του είναι ελεύθερα να κινηθούν, γιατί υπόκεινται σε πολύ ασθενείς δεσμευτικές δυνάμεις μεταξύ τους. Η συνολική ενέργεια του αερίου θα είναι κατανεμημένη σε ολόκληρο τον όγκο του αερίου. Αυτή η μορφή ενέργειας που ονομάζεται Εντροπία (S), είναι το μέτρο για το βαθμός της διαταραχής ενός συστήματος. Τα αέρια θα έχουν πολύ υψηλή εντροπία, σε σύγκριση με ένα υγρό, το οποίο έχει ισχυρότερη σύνδεση, ισχυρότερες δυνάμεις μεταξύ των μορίων του. Ένα στερεό θα έχει ακόμη χαμηλότερη εντροπία (δηλαδή πολύ χαμηλό βαθμό διαταραχής), επειδή το στερεό αποτελείται από πολύ καλά τοποθετημένα μόρια με πολύ ισχυρές εσωτερικές δυνάμεις.

Ως εκ τούτου: S (για το φυσικό αέριο) $\gg S$ (για υγρά) $> S$ (για στερεά)

Η εσωτερική ενέργεια για όλες τις ουσίες συμβολίζεται U . Μια αλλαγή στο έργο (ενέργεια) ορίζεται ως:

$$\Delta W = P \Delta V,$$

όπου P είναι η πίεση και ΔV είναι η αλλαγή στον όγκο.

Μια αλλαγή στη μεταφορά θερμότητας ορίζεται ως

$$\Delta Q = T \Delta S,$$

όπου T είναι η απόλυτη θερμοκρασία (Kelvin) και ΔS είναι η αλλαγή της εντροπίας.

Η σχέση μεταξύ της εσωτερικής ενέργειας και εντροπίας για ένα κλειστό σύστημα είναι:

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W = T \Delta S - P \Delta V$$

Για ένα σύστημα πολλαπλών συστατικών μπορούμε να γράψουμε:

$$U = TS - PV + \sum \mu_i,$$

όπου μ είναι η χημική δυναμική των διαφόρων συστατικών.

Το χημικό δυναμικό, μ , είναι η μερική γραμμομοριακή εσωτερική ενέργεια, και είναι ταυτόσημη με την μοριακή Η ελεύθερη ενέργεια Gibbs, (G) είναι μία κρίσιμη παράμετρος για την περιγραφή της εγγύτητας προς ισορροπία για ενός συστήματος πολλών συστατικών. Στην ισορροπία για συνεχή P και T :

$$\Delta G = \Delta U - T \Delta S + P \Delta V = \Delta Q - T \Delta S = \Delta H - T \Delta S$$

όπου ΔH είναι η ενθαλπία = ΔQ (σε σταθερή πίεση) .

Για μια αναστρέψιμη χημική αντίδραση σε ισορροπία της, $\Delta G = 0$.

Ένα μεγάλο αρνητικό ΔG σημαίνει ότι η χημική αντίδραση τείνει να πάει προς την κατεύθυνση ολοκλήρωσης. Μια θετική ΔG σημαίνει ότι η αντίδραση τείνει να πάει προς την αντίθετη κατεύθυνση. Σταθερή είναι η κατάσταση που έχει τη χαμηλότερη τιμή για το χημικό δυναμικό σε μια δεδομένη θερμοκρασία.

Κρυστάλλωση

Εάν ένα υγρό βρίσκεται σε μια θερμοκρασία κάτω από το T_m (το σημείο τήξεως), δηλαδή στο σημείο α , βλέπουμε

Ότι το χημικό δυναμικό του υγρού (μ_a) είναι μεγαλύτερη από ό, τι του στερεού (χημικό δυναμικό μ_b) σε αυτή τη θερμοκρασία. Το υγρό, στη συνέχεια, θα πρέπει να υπό-ψύχεται, το υγρό είναι μετασταθές. Άρα μπορεί να παγώσει αυθόρμητα σε αυτή την θερμοκρασία, γιατί μια τέτοια αλλαγή στην κατάσταση της ύλης θα μειώσει την ελεύθερη ενέργεια (G) για το σύστημα. Και κάθε σύστημα προσπαθεί πάντα να επιτύχει τη χαμηλότερη

δυνατή η ελεύθερη ενέργεια. Αλλά για να κρυσταλλώσει το υγρό, θα πρέπει να απαλλαγεί από την ενεργειακή διαφορά μεταξύ υγρής και στερεάς κατάστασης της ύλης ($\Delta\mu = \mu_a - \mu_b$), το οποίο ονομάζεται λανθάνουσα θερμότητα κρυστάλλωσης. Αυτή η διαφορά ενέργειας σε αυτή την απομονωμένη περίπτωση σταθερής πίεσης πρέπει να εκλαμβάνεται ως το αντίστοιχο της ενθαλπίας (μεταφορά θερμότητας), που συμβολίζεται H. Δηλαδή $H = Q$.

Θερμοκρασία λιώσιματος, T_m

Το σημείο τήξεως (ή, σπανίως, σημείο υγροποίησης) ενός στερεού είναι η θερμοκρασία στην οποία αλλάζει η κατάσταση του από στερεό σε υγρό υπό ατμοσφαιρική πίεση. Στο σημείο τήξης η στερεά και υγρή φάση βρίσκονται σε ισορροπία. Το σημείο τήξεως μιας ουσίας εξαρτάται από την πίεση και συνήθως ορίζεται σε κανονική πίεση. Όταν το θερμοκρασιακό σημείο ορίζεται ως η θερμοκρασία της αντίστροφης αλλαγής δηλαδή από υγρό σε στερεό, αυτό αναφέρεται ως το σημείο πήξης ή το σημείο κρυστάλλωσης. Λόγω της ικανότητας ορισμένων ουσιών για υπερψύξη, το σημείο πήξεως δεν θεωρείται ως μια χαρακτηριστική ιδιότητα της ουσίας. Σε αντίθεση με κρυσταλλικά στερεά, τα υαλώδη δεν έχουν ένα σημείο τήξεως, αλλά κατά την θέρμανση υφίστανται μια ομαλή μετάβαση από την υαλώδη φάση σε μια φάση ιξώδους υγρού. Μετά από περαιτέρω θέρμανση μαλακώνουν σταδιακά, φαινόμενο το οποίο μπορεί να περιγραφεί με την καταγραφή διαφορετικών σημείων μαλακώματος (softening points).

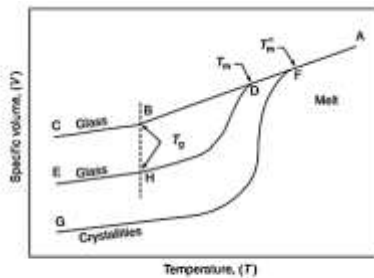


FIGURE 1 Schematic representation of the change of specific volume of a polymer with temperature for a completely amorphous sample (A-B-C), a semicrystalline sample (A-D-E), and a perfectly crystalline material (A-F-G).

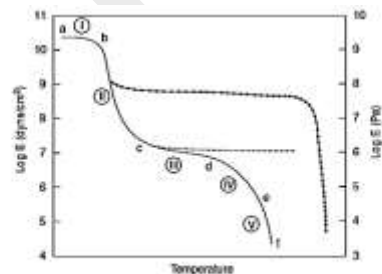


FIGURE 2 Five regions of viscoelastic behavior for a linear, amorphous polymer: I (a-b), II (b-c), III (c-d), IV (d-e), and V (e-f). Also illustrated are effects of crystallinity (dotted line) and cross-linking (dashed line).

TABLE 1 Glass Transition Temperatures (T_g) and Crystalline Melting Temperatures (T_m) of Polymers

| Polymer | T_g (°C) | T_m (°C) |
|---|------------|------------|
| Polyethylene (high density) | -115 | 137 |
| Polyoxymethylene | -85 | 181 |
| Polyisoprene (natural rubber) | -73 | 28 |
| Polyisobutylene | -73 | 44 |
| Polypropylene | -20 | 176 |
| Poly(vinylidene chloride) | -19 | 190 |
| Poly(chlorotrifluoroethylene) (kel-F) | 45 | 220 |
| Poly(hexamethylene adipamide) (nylon-6,6) | 53 | 265 |
| Poly(ethylene terephthalate) (Terylene, Dacron) | 69 | 265 |
| Poly(vinyl chloride) | 81 | 212 |
| Polystyrene | 100 | 240 |
| Poly(methyl methacrylate) (Perspex, Lucite) | 105 | 200 |
| Cellulose triacetate | 105 | 306 |
| Polytetrafluoroethylene (Teflon) | 127 | 327 |

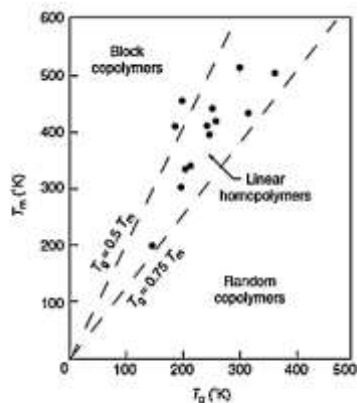


FIGURE Plot of T_m against T_g for linear homopolymers with T_g/T_m in the range 0.5 and 0.75 broadly demarcating $T_m - T_g$ domains covered by homopolymers and copolymers.

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΦΑΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ

Με τον όρο θερμική ανάλυση ορίζεται μια ομάδα τεχνικών με τις οποίες μετρίεται κάποια φυσική ιδιότητα μιας ουσίας ή των προϊόντων αντίδρασης της ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, όταν η τελευταία μεταβάλλεται κατά έναν ορισμένο τρόπο.

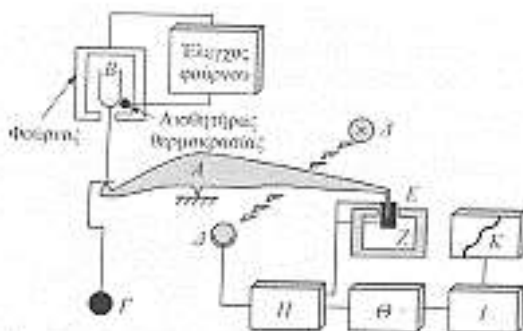
Υπάρχουν περισσότερες από 12 θερμικές μέθοδοι οι οποίες διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τις μετρούμενες παραμέτρους και τον τρόπο προγραμματισμού της θερμοκρασίας. Τρεις από αυτές που παρέχουν κυρίως χημικές πληροφορίες για τα εξεταζόμενα δείγματα, θα παρουσιαστούν πιο κάτω, η θερμοσταθμική ανάλυση, η διαφορική θερμική ανάλυση και η διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης.

Θερμοσταθμική ανάλυση

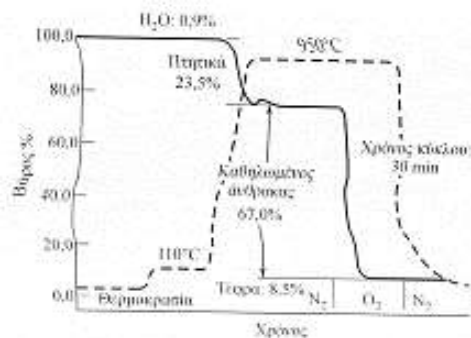
Κατά την μέθοδο αυτή η καταγράφεται συνεχώς η μάζα του δείγματος σε μια ελεγχόμενη ατμόσφαιρα, ως συνάρτηση της θερμοκρασίας ή του χρόνου, καθώς η θερμοκρασία του δείγματος αυξάνει συνεχώς γραμμικά με τον χρόνο. Το διάγραμμα της μάζας ή του ποσοστού της μάζας με τον χρόνο ονομάζεται θερμογράφημα (thermogram) ή καμπύλη θερμικής διάσπασης (thermal decomposition curve).

Τα σύγχρονα όργανα θερμοσταθμικής ανάλυσης αποτελούνται από

- α) ένα ευαίσθητο αναλυτικό ζυγό
- β) ένα φούρνο
- γ) ένα σύστημα καθαρισμού με διαβίβαση αερίου που εξασφαλίζει αδρανή (η πολλές φορές δραστική) ατμόσφαιρα
- δ) έναν μικρο-υπολογιστή/επεξεργαστή για συλλογή των στοιχείων τη πληροφορίας, επεξεργασία και παρουσίαση
- ε) επιπλέον συστήματα όπως εναλλαγής του αερίου καθαρισμού, για αλλαγή ατμόσφαιρας κατά την μέτρηση.



Σχήμα. Τμήματα ενός θερμικού ζυγού: Α: βραχιόνας, Β: δοχείο δείγματος και υποδοχέας, Γ: αντισταθμιστικό βάρος, Δ: λυχνία και φωτοδιόδος, Ε: πηνία, Ζ: μαγνήτης, Η: ενισχυτής ελέγχου, Θ: υπολογιστής απόβλητου, Ι: ενισχυτής, Κ: καταγραφικό. (Προσφορά της: Mettler Instrument Corp., Hightstown, NJ).

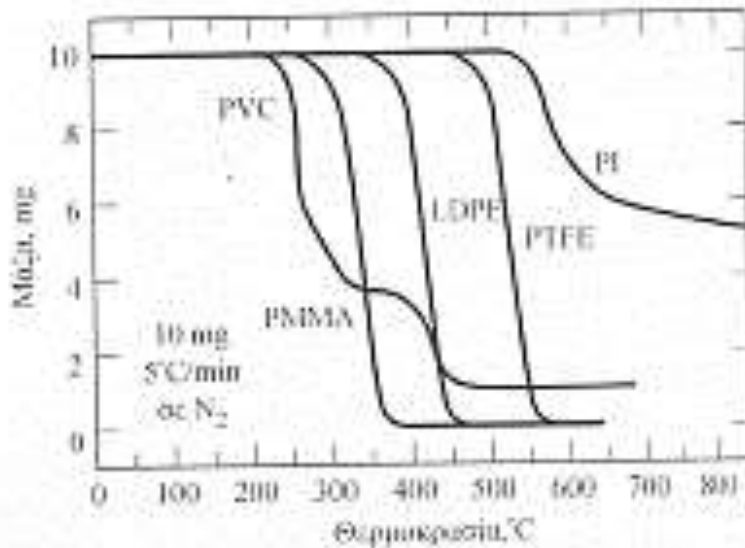


Σχήμα Ένα θερμογράφημα ελεγχόμενης ατμόσφαιρας δείγματος ασφαλιτικού γυψοθήρακα. Χρησιμοποιήθηκε ατμόσφαιρα αζώτου για 18 min και στη συνέχεια ατμόσφαιρα οξυγόνου για 4 έως 5 min. Η ανάλυση μετά ολοκληρώθηκε σε ατμόσφαιρα αζώτου. (Αναπομπή με άδεια από τον C. M. Eason, Anal. Chem., 1984, 56, 1478A. Copyright 1984 American Chemical Society).

Εφαρμογές

Καθώς η κύρια προϋπόθεση είναι ότι η μεταβολές θα πρέπει αν προκαλούν αλλαγή στην μάζα του αναλύτη, οι εφαρμογές είναι σχετικά περιορισμένες στα ανάλογα ενδιαφέροντος αντικείμενα, όπως οι αντιδράσεις διάσπασης, οξειδωσης, προσρόφησης, εξάτμισης, κ.λπ.

Ίσως η σημαντικότερη εφαρμογή να είναι στο πεδίο των πολυμερών όπου μπορούν να συλλεχθούν πληροφορίες για την αποσύνθεση των πολυμερών, καθώς είναι χαρακτηριστικά για το είδος του πολυμερούς, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ταυτοποίηση τους.



Σχήμα Θερμογραφήματα για μερικά συνηθισμένα πολυμερή. PVC = πολυβινυλοχλωρίδιο, PMMA = πολυμεθυλομεθακρυλικό, LDPE = πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας, PTFE = πολυτετραφθορααιθαιλένιο, PI = αρωματικό πολυμελλιτιμιδίο. (Από το: J. Chia, στο Thermooanalysis of Fiber-Forging Polymers. R. P. Schuerlein, Ed., p. 26. New York: Interscience, 1996. Αναπαραγωγή με άδεια από την John Wiley & Sons, Inc.).

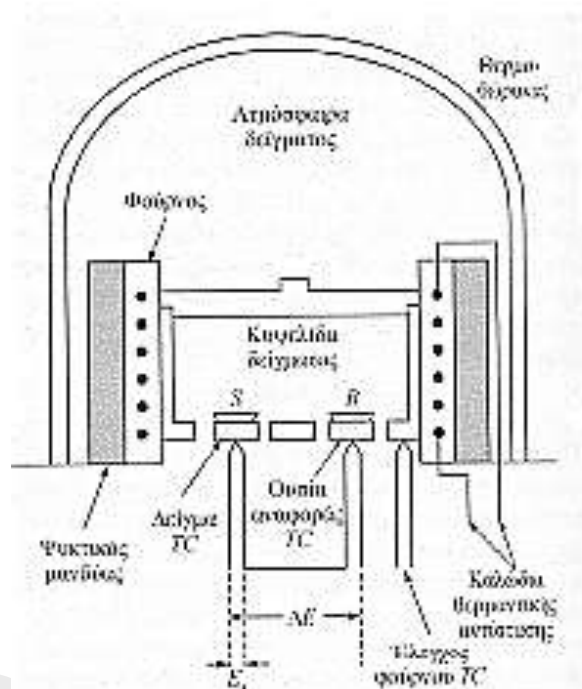
Μια άλλη σειρά αναλύσεων με την μέθοδο αυτή μπορεί να προσδιορίσει το ποσοστό απορρόφησης ή εκκρόφησης ουσιών προς και από το πολυμερές σε διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Με την μέθοδο αυτή μπορούν να προσδιοριστούν οι συντελεστές διάχυσης των ουσιών στο πολυμερές ή από αυτό

καθορίζοντας έτσι τους σχετικούς συντελεστές συνάφειας των υλικών για διάφορες κλάσεις ουσιών, κυρίως πτητικών όπως αρώματα και διαλύτες.

Διαφορική Θερμική ανάλυση (differential thermal analysis, DTA)

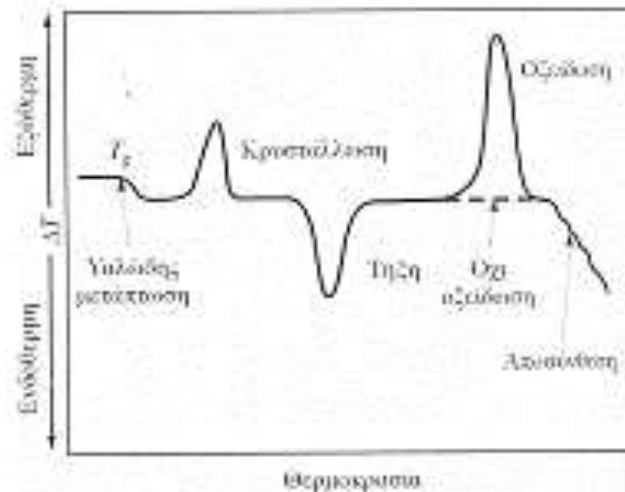
Με την μέθοδο αυτή μετρείται η διαφορά στην θερμοκρασία μεταξύ μιας ουσίας κι ενός υλικού αναφοράς, όταν και τα δύο υπόκεινται σε προγραμματισμένη μεταβολή της θερμοκρασίας.

Μερικά mgς της ουσίας R και δείγματος S τοποθετούνται στο εσωτερικό του ελεγχόμενα θερμαινόμενου. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει συνήθως γραμμικά μεταβαλλόμενη με τον χρόνο θέρμανση και καταγράφεται η ΔT μεταξύ θερμοκρασίας δείγματος και υλικού αναφοράς ($\Delta T = T_s - T_r$).



Σχήμα . Σχηματικό διάγραμμα ενός τοπικού οργάνου για διαφορική θερμική ανάλυση (TC = θερμοζεύγος).

Το σήμα από το θερμοζεύγος του δείγματος μετατρέπεται σε ενδείξεις θερμοκρασίας η οποία αποτελεί την τεταγμένη του θερμογραφήματος. Η γραφική παράσταση σχεδιάζεται με την μεταβολή της ΔT σε σχέση με την θερμοκρασία του δείγματος, δίνοντας ένα διαφορικό θερμογράφημα του τύπου:



Σχήμα 1 Σχηματικό διάγραμμα διαφορικού θερμωγραφήματος, που δείχνει τους τύπους μεταβολών, τις οποίες υφίστανται πολυμερικά υλικά. (Από το: R. H. Schiiken Jr., R. E. Roy Jr., and R. H. Cox, J. Polymer Sci., Part C, 1964, 6, 18. Ανατυπωμένο με άδεια της John Wiley & Sons, Inc.).

Στο πιο πάνω σχηματικό θερμογράφημα παρουσιάζεται αρχικά η θερμοκρασιακή μεταβολή που οφείλεται στην μετάβαση υαλώδους φάσης (T_g) που παρουσιάζουν τα υαλώδη άμορφα πολυμερή και οφείλεται στην έναρξη κίνησης μεγάλου μέρους της μάζας τους καθιστώντας τα εύκαμπτα και ελαστικά. Η μεταβολή δεν οφείλεται στην μεταβολή της ενθαλπίας αλλά στην αλλαγή της θερμοχωρητικότητας λόγω μετάβασης στην υαλώδη κατάσταση και καθώς δεν υπάρχει έκκλιση ή απορρόφηση θερμότητας, δεν παρουσιάζεται και ανάλογη κορυφή στο θερμογράφημα.

Τα μέγιστα είναι αποτέλεσμα εξώθερμων διεργασιών, ενώ το ελάχιστο ως αποτέλεσμα της ενδόθερμης «τήξης» παρουσιάζει ελάχιστο, δηλαδή αρνητική κορυφή. Η πρώτη εξώθερμη κορυφή οφείλεται στην έκκλιση θερμότητας για τη δημιουργία κρυστάλλων (ενέργεια κρυσταλλοποίησης). Το εμβαδόν της είναι αντιστρόφως ανάλογο του ρυθμού θέρμανσης του θαλάμου, λόγω ευνοϊκότερων συνθηκών δημιουργίας περισσότερων κρυστάλλων.

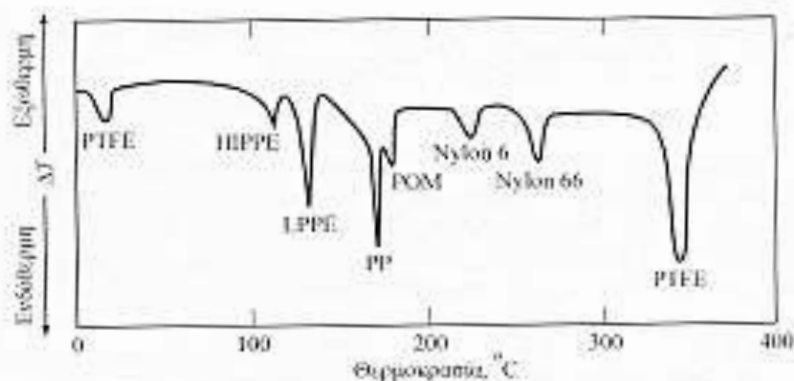
Η τήξη των μικροκρυστάλλων που δημιουργήθηκαν κατά το αρχικό ενδόθερμο στάδιο, παρουσιάζεται με την εξώθερμη κορυφή που ακολουθεί.

Η τρίτη εξώθερμη κορυφή είναι χαρακτηριστική της οξείδωσης του πολυμερούς και παρουσιάζεται μόνο παρουσία οξυγόνου ή αέρα. Η τελική αρνητική ΔT προκαλείται από την ενδόθερμη αποσύνθεση του πολυμερούς που παράγει διάφορα προϊόντα.

Τα εμβαδά των κορυφών εξαρτώνται από το μέγεθος του δείγματος, την ενθαλπία της διεργασίας, ορισμένους γεωμετρικούς παράγοντες και παράγοντες θερμικής αγωγιμότητας.

Εφαρμογές

Χρησιμοποιείται ευρύτατα στον προσδιορισμό της χημικής συμπεριφοράς και σύνθεσης των προϊόντων. Αποτελεί πολύ ισχυρό μέσο μελέτης των πολυμερών.



Σχήμα . . . Διαφορικό θερμογράφημα ενός μίγματος επί πολυμερών. PTFE = πολυτετραφθοροαιθυλένιο, HIPPE = υψηλής πίεσης (χαμηλής πυκνότητας) πολυαιθυλένιο, LPPE = χαμηλής πίεσης (υψηλής πυκνότητας) πολυαιθυλένιο, PP = πολυπροπυλένιο, POM = πολυοξυμεθυλένιο. (Από το: J. Clin. DuRoi's Thermogram, 1965, 2(3), 9. Μετάφραση)

Διαφορική Θερμιδομετρία - Differential Scanning Calorimetry (DSC)

Το διαφορικό θερμιδομέτρο είναι ένα βασικό εργαλείο στη θερμική ανάλυση και χρησιμοποιείται σε πολλές βιομηχανίες από τη φαρμακοβιομηχανία ως τα πολυμερή και από τα νανοσωματίδια ως τα τρόφιμα. Χρησιμοποιείται για την κατανόηση της άμορφης και της κρυσταλλικής συμπεριφοράς, πήξης, ευτηκτικές μεταβολές κ.α. σε σκοπό το σχεδιασμό την παρασκευή και τον έλεγχο των προϊόντων.

Η βασική διαφορά με την προηγούμενη μέθοδο είναι ότι εδώ μετριοούνται διαφορές στην ενέργεια. Η διαφορική θερμιδομετρία, είναι μία τεχνική όπου μετρείται η μεταβολή της ειδικής θερμότητας (C_p) όπως αυτή επηρεάζεται σε σχέση με τη θερμοκρασία. Δείγμα γνωστής μάζας θερμαίνεται ή ψύχεται και οι μεταβολές στην ειδική θερμότητα αναφέρονται ως αλλαγές μετάβασης, αλλαγές φάσης, πήξη.

Προσδιορίζεται πόση ενέργεια απαιτείται για τη θέρμανση ενός δοχείου που περιέχει ένα δείγμα σε σχέση με ένα άδειο δείγμα αναφοράς. Αν το δείγμα υπόκειται σε μία ενδοθερμη (απορρόφηση θερμότητας) ή εξώθερμη (δίνει θερμότητα) αντίδραση, το δείγμα θα απαιτεί περισσότερη ή λιγότερη ενέργεια για την αύξηση της θερμοκρασίας στον ίδιο ρυθμό με το δείγμα αναφοράς. Με μέτρηση της διαφοράς θερμότητας μεταξύ των δύο δοχείων όταν αυξάνεται η θερμοκρασία μπορεί να προσδιοριστεί η ενέργεια που καταναλώνεται ή απελευθερώνεται από το δείγμα.

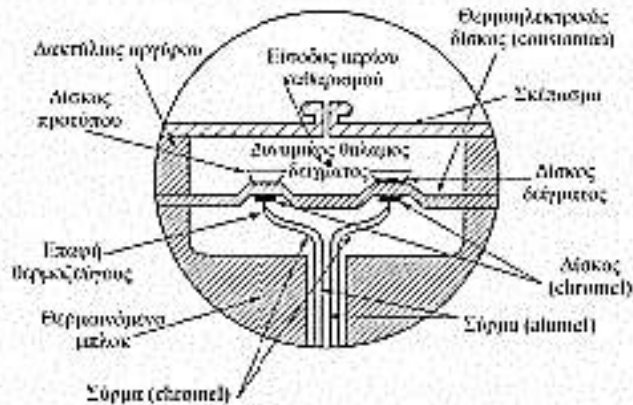
Η DSC μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην εκτίμηση των

1. Μετάβασης υαλώδους φάσης
2. Θερμοκρασίας λειωσίματος
3. Λανθάνουσας θερμότητας
4. % κρυστάλλωσης
5. Κινητική κρυστάλλωσης και μεταβολής φάσης
6. Οξειδωτική σταθερότητα
7. Κινητική σκλήρυνσης

Τύποι οργάνων DSC

Με βάση το μηχανισμό της λειτουργίας DSC μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο τύπους.

- Ροή θερμότητας DSC - Heat flux DSC. Μετρείται η διαφορά των ροών θερμότητας προς το δείγμα και προς την ουσία αναφοράς, καθώς αυξάνει ή μειώνεται γραμμικά η θερμοκρασία του δείγματος.



Εικόνα 1. Σχηματικό διάγραμμα μιας κυψελίδας DSC ροής θερμότητας. (Πηροφορία της: DuPont Instrument Systems, Wilmington, DE).

- Αλληλοσυμπληρούμενης ισχύος DSC - Power Compensated DSC. Το δείγμα και το υλικό αναφοράς θερμαίνονται με χωριστές πηγές θέρμανσης, ώστε οι θερμοκρασίες τους να διατηρούνται ίδιες ενώ ταυτόχρονα αυξάνουν ή μειώνονται γραμμικά.

Για μια ανάλυση DSC, η θερμότητα ρέει προς δείγμα και το υλικό αναφοράς μέσω ενός ηλεκτρικά θερμαινόμενου θερμοηλεκτρικού δίσκου από θερμοηλεκτρικό υλικό constantan. Ο κλίβανος θερμαίνεται σε γραμμική ταχύτητα θέρμανσης και η θερμότητα μεταφέρεται από τον δίσκο στο δείγμα και στο υλικό αναφοράς μέσω των δισκίων. Η διαφορά στην ροή της θερμότητας προς το δείγμα και προς το υλικό αναφοράς παρακολουθείται από δύο θερμοζεύγη επιφανείας (chromel/constantan). Η θερμοκρασία του δείγματος υπολογίζεται από το θερμοζεύγος κάτω από το δοχείο του δείγματος.

Ωστόσο, λόγω της θερμοχωρητικότητας του δείγματος υπάρχει μία διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του δείγματος και των δίσκων αναφοράς που μετράτε με θερμοστοιχεία. Η επακόλουθη θερμική ροή προσδιορίζεται από το θερμικό ισοδύναμο (νόμος του Ohm) και απεικονίζεται στα σχετικά διαγράμματα, η ανάλυση των οποίων παραθέτει τις σχετικές πληροφορίες της θερμικής ανάλυσης. Αποδεικνύεται ότι η διαφορική ροή θερμότητας στα δοχεία είναι ευθέως ανάλογη προς την διαφορά στην έξοδο των δύο θερμοζευγών.

Σε γενικές γραμμές, ενδιαφέρουν και θα πρέπει να ελέγχονται κατά την επιλογή της πειραματικής μεθόδου, οι πιο κάτω παράγοντες του πειράματος

$$q = \text{ροή θερμότητας στο δείγμα} \quad (q = \Delta T / R)$$

ΔT = διαφορά θερμοκρασία μεταξύ δείγματος και μάρτυρα

R = αντίσταση του θερμοηλεκτρικού δίσκου

Εφαρμογές

Στον άξονα τεταγμένων της γραφικής παράστασης δίνεται η ροή ενέργειας mW. Τα πειράματα γίνονται με προγραμματισμένη θερμοκρασιακή αλλαγή ή και ισόθερμα σε ατμόσφαιρα αζώτου ή αέρα και τα θερμογραφήματα είναι ανάλογα της προηγούμενης μεθόδου DTA.

Θερμική αγωγιμότητα

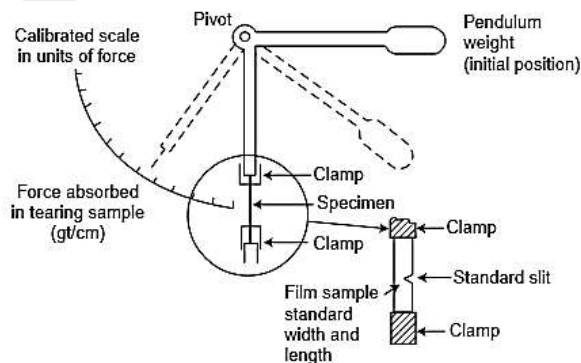


FIGURE Test for tear propagation resistance of plastic film and thin sheeting. Tear resistance (gf/cm/mil) = force required to tear sample (gf/cm)/thickness of film (mil). Standard test methods: ASTM D1922, BS 2782 method 308B.

Θερμοκρασία παραμόρφωσης (Deflection Temperature) πολυμερών

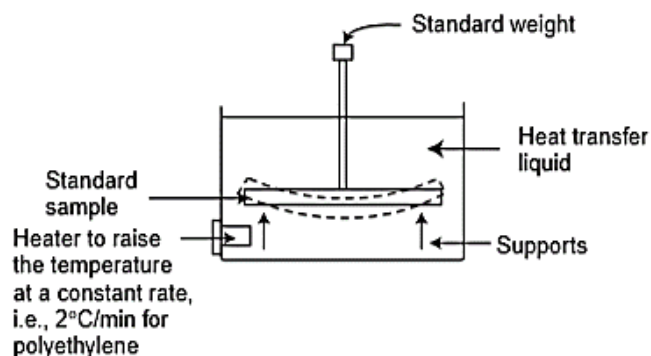


FIGURE Test for deflection temperature of plastics under flexural load. Heat distortion temperature is the temperature at which a sample deflects by 0.1 in. (2.5 mm). Two measurements are made and quoted: (a) with a stress of 66 lbf/in.² (4.6 kgf/cm²) and (b) with a stress of 264 lbf/in.² (18.5 kgf/cm²). Standard test methods: ASTM D648, BS 2782 method 102, ISO R75.

ΘΕΡΜΙΚΟ ΣΤΡΕΣ

Ανυψώνοντας την θερμοκρασία ενός υλικού προκαλούμε την διόγκωσή του ενώ μείωση την συρρίκνωση του λόγω μεταβολής της μοριακής του κατάστασης. Το ποσοστό εκτόνωσης μετριέται για κάθε του διάσταση και είναι ανάλογο μεταξύ των διαφορετικών διαστάσεων. Εξαρτάται μόνο από τον τύπο των υλικών και την θερμοκρασία.

Συντελεστές θερμικής έκτασης για μερικά χαρακτηριστικά υλικά:

| ΥΛΙΚΟ | ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΕ in/in/°F |
|-----------|-------------------------|
| Αλουμίνιο | 13 x 10 ⁻⁶ |
| Ατσάλι | 7,5 x 10 ⁻⁶ |
| Γυαλί | 4,4 x 10 ⁻⁶ |
| Ξύλο | 90 x 10 ⁻⁶ |
| Χαρτί | 85 x 10 ⁻⁶ |
| Καουτσούκ | 370 x 10 ⁻⁶ |
| LDPE | 90 x 10 ⁻⁶ |
| HDPE | 47 x 10 ⁻⁶ |
| PP | 38 x 10 ⁻⁶ |
| PVC | 38 x 10 ⁻⁶ |
| PET | 36 x 10 ⁻⁶ |

Αυτή η αναλογική σχέση θερμοκρασίας / εκτόνωσης μπορεί να ορίσει την ιδιότητα των υλικών σε βαθμιαία κλίμακα και ορίζεται ως συντελεστής εκτόνωσης (expansion coefficient) του υλικού. Δίνεται σε μονάδες μήκους εκτόνωσης ανά μήκος του υλικού ανά μονάδα μέτρησης της θερμοκρασίας. Για παράδειγμα εάν η εκτόνωση του γυαλιού είναι 0,00001cm/cm/°C, θα σημαίνει ότι για κάθε έναν βαθμό θερμοκρασιακής μεταβολής, η διάσταση αλλάζει κατά 0,00001cm ανά cm αρχικού μήκους της διάστασης που εκτονώνεται.

Η μεταβολές, αν και πολύ μικρές μερικές φορές, δεν σημαίνει ότι είναι και επιτρεπτές σε ένα σύστημα συσκευασίας όπου τα εμπλεκόμενα κομμάτια και υλικά θα πρέπει να παρουσιάζουν την μέγιστη επαφή και μικρότερη χαλαρότητα ή διαπερατότητα ή πίεση μεταξύ τους.

Αν και η θερμική μεταβολή της διάστασης είναι μικρή, τα επακόλουθα θερμικά στρες μπορεί να είναι αρκετά μεγάλα. Πράγμα που ισχύει και στην περίπτωση μείωσης της θερμοκρασίας.

Το στρες του υπολογίζεται σε αυτήν την περίπτωση είναι το μέγιστο δυνατό υπό συνθήκες πλήρως περιορισμένου υλικού το οποίο υπόκειται σε μεταβολή της θερμοκρασίας, τάση = (μέτρο) x συντελεστή θερμικής μεταβολής x διαφορά θερμοκρασίας

$$RS = E \times \alpha \times \Delta T$$

Όπου, E = τάση @ μέγιστο σημείο / παραμόρφωση @ μέγιστο σημείο

Η εξίσωση έχει εφαρμογή μόνο για περιοριζόμενα υλικά που δεν μπορούν να εκτονωθούν. Σε αντίθετη περίπτωση τα υλικά εκτομώνονται ελεύθερα.

Συμπερασματικά η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί τάσεις πίεσης ενώ η μείωση τάσεις τάνυσης.

Μια χαρακτηριστική περίπτωση είναι ο περιορισμός μεταβολής των διαστάσεων λόγω ενδογενών περιοριστικών παραγόντων όπως στην περίπτωση της απότομης μεταβολής της θερμοκρασίας σε γυάλινο περιέκτη (περίπτωση θερμού γεμίσματος σε κρύο βάζο). Εδώ, η εσωτερική επιφάνεια σε επαφή με το ζεστό προϊόν τείνει να εκταθεί ενώ η κρύα μακριά από το ζεστό προϊόν τείνει να παραμείνει σε συστολή λόγω ψύχους. Αυτό ισχύει μέχρι εξισορρόπησης της θερμοκρασίας σε όλη την μάζα του υλικού συσκευασίας.

Για γυάλινους περιέκτες η τάση θερμικής μεταβολής είναι:

$$S_{oc} \cong 252 (T_2 - T_1) l^{1/2}$$

$$S_{of} \cong 140 (T_2 - T_1) l^{1/2}$$

ΟΠΤΙΚΕΣ

Στα θερμοπλαστικά υλικά ένας μεγάλος αριθμός ιδιοτήτων περιγράφονται ως οπτικές και αφορούν στην αλληλεπίδραση τους με το φως. Χαρακτηριστικές μετρήσεις όπως η διαύγεια, η θολότητα, το χρώμα, η αντανάκλαστικότητα, ο δείκτης διάθλασης κ.λπ., χρησιμοποιούνται κυρίως στην περιγραφή της εμφάνισης αλλά και της φραγής των υλικών στο φως.

Τα πολυμερή στην σύσταση τους αποτελούνται από μακρομοριακές ενώσεις οι οποίες λόγω της στερεοχημικής τους δομής και των αλληλοεπιδράσεων τους, μπορούν να έχουν συγκεκριμένο προσανατολισμό, συσσωμάτωση, κρυσταλλική δομή. Οι διαστάσεις των σχηματισμών αυτών και κυρίως οι δομή και όγκος των σφαιρουλιτών (κρυστάλλων) σε σχέση με το μήκος κύματος του φωτός καθορίζει ένα μεγάλο αριθμό ιδιοτήτων και κυρίως της διαφάνειας. Εάν π.χ. το μήκος του σφαιρουλίτη είναι μικρότερο από το μήκος κύματος του φωτός, τα υλικά γίνονται διαφανή, ενώ στην αντίθετη περίπτωση το φως θα σκεδαστεί και η διαύγεια θα περιοριστεί. Συνεπάγεται βέβαια, πως η μεταχείριση των υλικών μπορεί να επιφέρει και τροποποίηση των ιδιοτήτων τους.

Αντίστοιχη επίδραση έχει η πυκνότητα των υλικών καθώς η διαπερατότητα του φωτός μειώνεται στα πυκνότερα υλικά. Βασική συνιστώσα η διαφορά πυκνότητας μεταξύ κρυσταλλικών και άμορφων περιοχών.

Η θολότητα, ως νεφελώδης (cloudy) ή γαλακτώδης (milky) όψη, είναι κυρίως το αποτέλεσμα ατελειών της επιφάνειας των υλικών, ειδικά στην περίπτωση των λεπτών μεμβρανών. Στις ατέλειες της επιφάνειας σκεδάζεται το φως δίνοντας μικρή διαφάνεια και ευκρίνεια. Οι παράγοντες της πυκνότητας, κρυστάλλων και πάχους έχουν αντίστοιχη με την προγραφείσα επίδραση.

Ως θόλωμα ορίζεται το ποσό του φωτός το οποίο διέρχεται από ένα δείγμα και αποκλίνει περισσότερο του 2,5° κατά μέσο όρο από την προσπίπτουσα παράλληλη δέσμη, σκεδαζόμενο και από τις δύο επιφάνειες και από το εσωτερικό του δείγματος.

Όταν το φως πέφτει επάνω σε ένα υλικό, ένα μέρος του το διαπερνά, ένα ανακλάται και ένα διαθλάται. Οι λόγοι των ποσοτήτων του αρχικού με το αντιδρών φως ορίζονται ως μετρήσιμες ιδιότητες της διαπερατότητας (transmission, %), ανάκλασης (reflection, %) και διάθλασης (diffraction, %).

Ως στιλπνότητα (gloss) μιας μεμβράνης ορίζεται ο βαθμός που η επιφάνεια προσομοιάζει σε τέλειο κάτοπτρο, όσο αφορά στην ικανότητά της να αντανάκλα το προσπίπτον φως. Συνεπώς είναι το αποτέλεσμα της αντανάκλασης και του φινιρίσματος του υλικού. Το άθροισμά των ποσοστών της αντανάκλασης και της διαπερατότητας θα υπολείπεται του 100% κατά το ποσοστό της διάθλασης. Αν η απορρόφηση δεν είναι ομοιόμορφη πάνω στο ορατό φάσμα, τότε το υλικό εμφανίζεται ως άχρωμο.

Η στιλπνότητα προσδιορίζεται με το στιλπνόμετρο, ένα όργανο που μετρά το ποσοστό του φωτός που προσπίπτει υπό γωνία 45° και αντανάκλα υπό την ίδια γωνία. Το κλάσμα είναι η στιλπνότητα.

ΡΕΟΛΟΓΙΚΕΣ

Ρεολογία είναι η επιστήμη που μελετά την παραμόρφωση και τη ροή. Επιπλέον η ρεολογία μελετά την επίδραση του χρόνου με την εφαρμογή κάποιας δύναμης. Οι ρεολογικές ιδιότητες είναι σημαντικές στο σχεδιασμό μιας διεργασίας ροής, στον ποιοτικό έλεγχο, στις μετρήσεις σταθερότητας κατά την αποθήκευση και τις διάφορες διεργασίες και στον προσδιορισμό της υφής. Επίσης είναι ιδιαίτερα χρήσιμες στην ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης που έχουν ως βάση τη μοριακή αρχιτεκτονική διαφόρων υλικών.

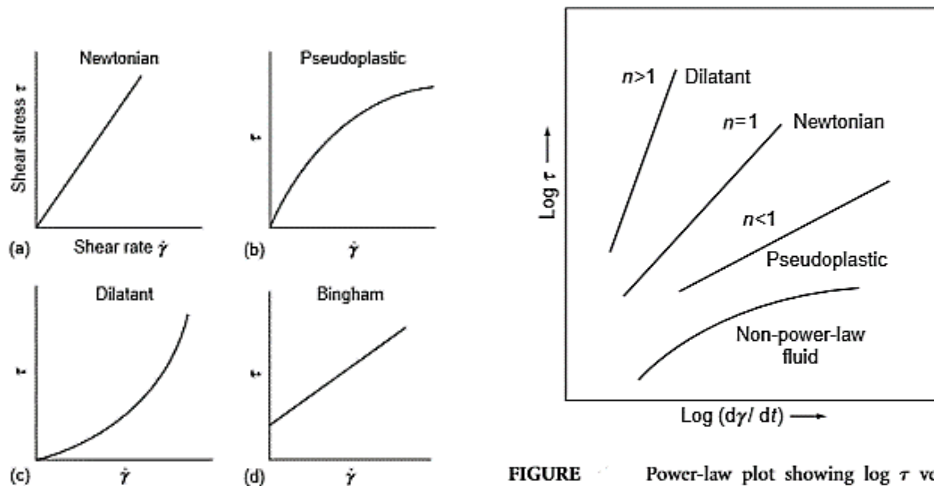
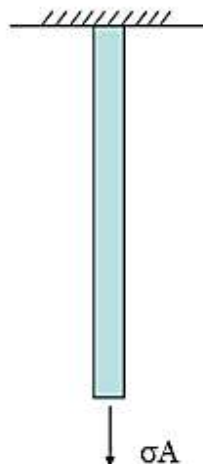
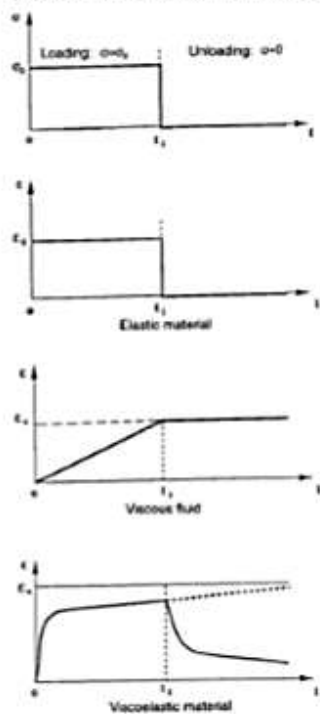


FIGURE 1 Flow curves (τ versus $\dot{\gamma}$) for different types of fluid material.

FIGURE 2 Power-law plot showing $\log \tau$ versus $\log(d\gamma/dt)$ for different types of fluid material (schematic).

Elastic, Viscous, and Viscoelastic Responses



Οι ρεολογικές ιδιότητες είναι μηχανικές αλλά οι μηχανικές ιδιότητες δεν είναι όλες ρεολογικές, δεδομένου ότι αρκετές μηχανικές δεν εμπεριέχουν παραμόρφωση και έτσι δεν μπορούν να καταταχθούν στις ρεολογικές ιδιότητες. Με τον όρο μηχανικές ιδιότητες εννοείται η συμπεριφορά ενός υλικού όταν σε αυτό εφαρμόζεται κάποια δύναμη. Όταν η δύναμη που εφαρμόζεται έχει ως αποτέλεσμα την παραμόρφωση τότε οι μηχανικές ιδιότητες μπορεί να χαρακτηριστούν ως ρεολογικές. Εκτός από αυτή τη διαφορά τα ρεολογικά πειράματα συνήθως αναφέρονται σε μικρές παραμορφώσεις των υλικών ενώ οι μηχανικές παράμετροι σε μεγάλες παραμορφώσεις. Αυτό συμβαίνει διότι οι μηχανικές ιδιότητες συνδέονται άμεσα με την υφή και τον οργανοληπτικό προσδιορισμό της που περιλαμβάνει μεγάλες καταπονήσεις καθώς και με τη συμπεριφορά των υλικών σε διάφορες διεργασίες που οι καταπονήσεις είναι μεγάλες.

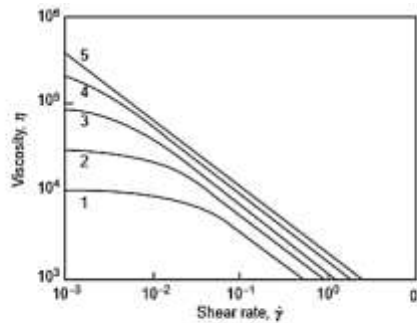


FIGURE Typical log viscosity-log shear rate curves at five different temperatures. Curve 1 is for the highest temperature and curve 5 is for the lowest temperature. For a typical polymer, the temperature difference between each curve is approximately 10°C.

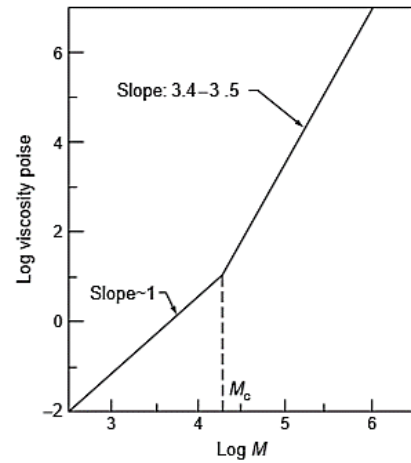


FIGURE Dependence of polymer (melt) viscosity on molecular weight (M): a typical plot of log viscosity against log M .

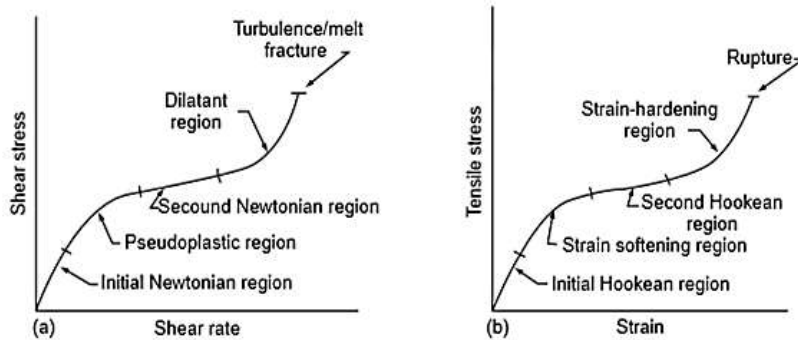


FIGURE (a) Generalized flow curve. (b) Typical fully developed stress-strain curve as found in tough plastics under appropriate conditions. The conventional stress has been converted to the true stress.

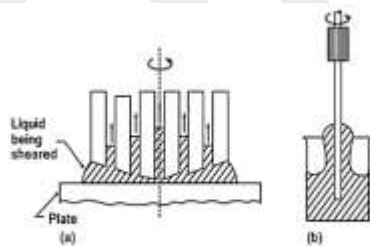


FIGURE Experiments demonstrating the normal force (Weissenberg) effect. Liquid climb on rotation (a) in channels drilled into a cone and (b) in a coaxial cylinder.

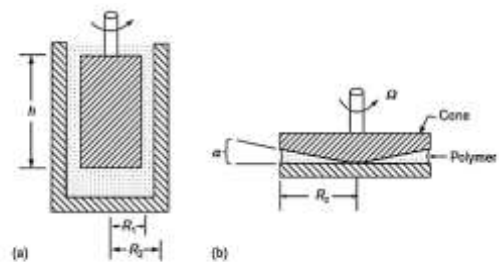


FIGURE (a) Coaxial cylinder viscometer; (b) Cone and plate rheometer.

Δείκτης ροής λειωμένου υλικού (Melt flow index)

Ο δείκτης ροής λειωμένου υλικού είναι μια μέτρηση της ευκολίας με την οποία ρέει ένα τήγμα ενός θερμοπλαστικού πολυμερούς. Ορίζεται ως η μάζα του πολυμερούς σε γραμμάρια η οποία ρέει σε 10 λεπτά διαμέσου ενός τριχοειδούς σωλήνα συγκεκριμένης διαμέτρου και συγκεκριμένου μήκους όταν εφαρμοστεί δύναμη οριζόμενη από βάρη ανάλογα της θερμοκρασίας εφαρμογής. Η μέθοδος περιγράφεται στα πρότυπα ASTM D1238 και ISO 1133

Ο δείκτης ροής λειωμένου υλικού είναι μια μέτρηση του μοριακού βάρους, καθώς υψηλός δείκτης σημαίνει χαμηλό μοριακό βάρος και αντίστροφα. Την ίδια στιγμή ο δείκτης είναι καμιά μέτρηση της ιδιότητας του υλικού να ρέει υπό πίεση. Είναι αντιστρόφως ανάλογος του ιξώδους του τήγματος στις συνθήκες της δοκιμής, παρόλο που δεν θα πρέπει να ξεχνάμε ότι το ιξώδες είναι συνάρτηση της εφαρμοζόμενης πίεσης.

Η σχέση των διαφορετικών δεικτών για το ίδιο υλικό όταν μετράτε σε διαφορετικές συνθήκες πίεσης χρησιμοποιείται συχνά σαν ένδειξη της ευρύτητας κατανομής του μοριακού βάρους του πολυμερούς. Ο δείκτης ροής του λειωμένου πολυαιθυλενίου μετριέται στους 190 °C και του πολυπροπυλενίου στους 230 °C. Ο υπεύθυνος επιλογής των υλικών συσκευασία θα πρέπει να λάβει υπόψη του τον δείκτη και να επιλέξει υλικά στα οποία ο δείκτης είναι αρκετά υψηλός ώστε να υλικά να μπορούν εύκολα να σχηματοποιηθούν στο επιθυμητό σχήμα, αλλά και αρκετά χαμηλός ώστε να προσδώσει τις μηχανικές αντοχές που χρειάζεται το αντικείμενο για την εκάστοτε εφαρμογή του.

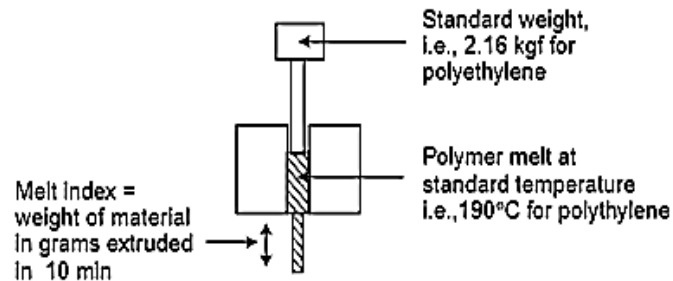


FIGURE Melt index of plastics. The test measures the rate of flow of polymer melt. It provides an indication of the ease of processing. Standard test methods: ASTM D 1238, BS 2782 method 105C, ISO R292.

Ο MFI χρησιμοποιείται συχνά για τον καθορισμό των συνθηκών επεξεργασίας του πολυμερούς. Όμως, ο MFI δεν λαμβάνει υπόψη του την διάτμηση, τον ρυθμό της ή την προϋστορία παρουσίας της στην μάζα του πολυμερούς και έτσι δεν είναι και η καλύτερη ένδειξη για το πώς θα πρέπει να χειριστούμε το υλικό. Το όργανο μέτρησης του MFI δεν είναι εξωθητής (extruder) ούτε μπορεί να τον προσομοιάσει καθώς δεν υπάρχουν κοχλίες προώθησης να συμπιέσουν, να θερμάνουν και να διατμήσουν το υλικό. Επίσης ο MFI δεν λαμβάνει υπόψη του την παρουσία μακρομοριακών πλευρικών αλυσίδων ή τις διαφορές στην ρεολογία μεταξύ διάτμησης και επιμήκυνσης. Έτσι δύο πολυμερή με το ίδιο MFI δεν θα συμπεριφερθούν το ίδιο κάτω από τις όποιες παρόμοιες συνθήκες επεξεργασίας.

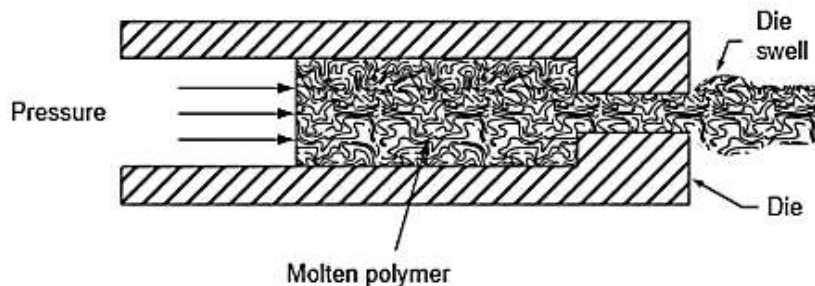
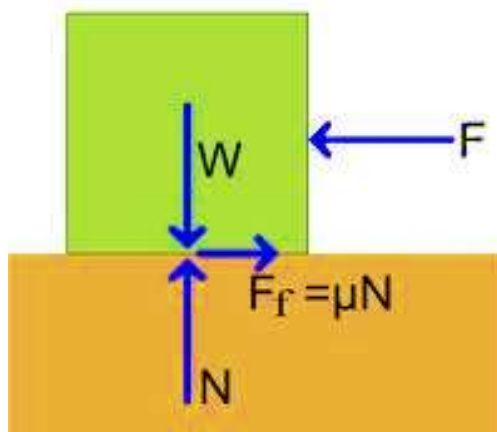


FIGURE Schematic representation of polymer flow through a die orifice.

ΤΡΙΒΗ

Εφόσον ένα σώμα Σ_1 βρίσκεται σε επαφή με την επιφάνεια ενός άλλου σώματος Σ_2 και τα δύο σώματα αλληλοσυμπιέζονται, το Σ_2 ασκεί στο Σ_1 - εκτός από την κάθετη αντίδραση - και δύναμη με το όνομα τριβή η οποία έχει κατεύθυνση πάντοτε αντίθετη από εκείνη της ταχύτητας του σώματος Σ_1 ως προς το Σ_2 .



Η τριβή είναι δύναμη αντίστασης που εκδηλώνεται ενάντια σε οποιαδήποτε μετακίνηση μερών του αυτού σώματος ή στην σχετική κίνηση δύο σωμάτων που οι επιφάνειές τους εφάπτονται. Στη πρώτη περίπτωση εκδηλώνεται εσωτερική τριβή, στη δε δεύτερη (μεταξύ σωμάτων) εξωτερική τριβή με φορά της εκδηλούμενης τριβής πάντα αντίθετη προς την φορά της κίνησης. Αιτία της εμφάνισης της δύναμης της τριβής είναι οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις που αναπτύσσονται ανάμεσα στα μόρια των δύο επιφανειών των σωμάτων.

Η δύναμη τριβής διακρίνεται σε στατική τριβή όταν τα σώματα ισορροπούν και σε τριβή ολίσθησης όταν τα σώματα κινούνται μεταξύ τους.

Η στατική τριβή είναι η δύναμη που εμποδίζει ένα σώμα να κινηθεί όσο ακόμα το σώμα ισορροπεί. Το μέτρο της είναι ίσο με το μέτρο της εφαρμοζόμενης δύναμης που τείνει να κινήσει το σώμα με μέγιστο μέγεθος την τιμή:

$$F_f = \mu_s \cdot F_N$$

όπου,

μ_s , ο συντελεστής τριβής. Είναι α-διάστατο μέγεθος και εξαρτάται από το πόσο τραχιά είναι μία επιφάνεια, «εκπροσωπεί» δηλαδή τη φύση των δύο επιφανειών επαφής.

Ενδεικτικά, για ένα ξύλινο αντικείμενο που κινείται πάνω σε τραπέζι ο συντελεστής τριβής θα είναι γύρω στο 0,4, ενώ για ένα ατσάλινο αντικείμενο που κινείται σε επιφάνεια από ατσάλι θα είναι $\mu = 0,47$ και εάν ανάμεσα στις δύο επιφάνειες βάλουμε λιπαντικό η τιμή του μ ελαττώνεται εντυπωσιακά. Σε κάθε περίπτωση, ο συντελεστής τριβής υπολογίζεται πειραματικά.

F_N , η δύναμη που αναπτύσσεται ανάμεσα στα σώματα που εφάπτονται.

Για να ολισθήσει ένα σώμα θα πρέπει η εξωτερική δύναμη να υπερκεράσει, την αντίσταση λόγω τριβής. Μετά από το σημείο εκκίνησης των σωμάτων ασκείται πλέον δύναμη ίση με την τριβή ολίσθησης.

Η τριβή ολίσθησης λέγεται επίσης και κινητική τριβή. Η τριβή ολίσθησης συνυπάρχει δηλαδή πάντοτε με την κάθετη αντίδραση η οποία επίσης ασκείται στο κινούμενο σώμα από την επιφάνεια του άλλου σώματος.

Τα δύο σώματα βρίσκονται σε επαφή, αλληλοσυμπιέζονται και συγχρόνως κινούνται, το ένα ως προς το άλλο. Έχει φορά αντίθετη της κίνησης και μέτρο που δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$F_k = \mu_k \cdot F_N$$

Όπου, μ_k , ο συντελεστής τριβής ολίσθησης, σε αντιστοιχία με τον συντελεστή στατικής τριβής.

Η τριβή ολίσθησης είναι μικρότερη από το μέγιστο της στατικής τριβής γιατί ήδη από τη στιγμή που το σώμα αποκτήσει μια πρώτη ελάχιστη ταχύτητα υπερκεράζοντας την στατική τριβή, οι απαιτούμενες δυνάμεις διατήρησης της κίνησης ελαττώνονται λόγω ορμής του σώματος, οπότε και η δύναμη που απαιτείται για να κινεί το σώμα από εδώ και εμπρός είναι ελαττωμένη επίσης.

Οπότε, ο τύπος της τριβής ολίσθησης ισχύει μόνο όταν η στατική τριβή είναι οριακή, δηλαδή το σώμα είναι έτοιμο να κυλήσει.

Η πρακτική εφαρμογή των τύπων της τριβής απαιτούν να ισχύουν οι πιο κάτω γενικοί κανόνες:

- α) Η δύναμη της τριβής F δρα στο επίπεδο της επιφάνειας επαφής (κάθετη στην κανονική δύναμη N) και αντιστέκεται στην κατεύθυνση της ολίσθησης
- β) Η κανονική και η δύναμη τριβής ισορροπούν τις λοιπές δυνάμεις στις αντίστοιχες διευθύνσεις, με δεδομένο ότι οι δυνάμεις τριβής δεν υπερβαίνουν το μέγιστο όριο για την ολίσθηση, $\max F_f = \mu_s \cdot F_N$
- γ) Εάν η δύναμη τριβής που απαιτείται ξεπερνά το $\mu_s \cdot F_N$, τότε αρχίζει η ολίσθηση και η δύναμη τριβής υπολογίζεται ως $\mu_k \cdot N$

Τριβή υλικών συσκευασίας

Ενώ σε γενικές γραμμές η τριβή θεωρείται ότι έχει αρνητική επίδραση στην απόδοση συγκεκριμένων διεργασιών, εν τούτοις άλλες διεργασίες εξαρτώνται από την τριβή για την καλύτερη λειτουργικότητά τους. Παραδείγματα είναι η εκτύπωση και η ετικετοποίηση, το δέσιμο των στοιβάδων των συσκευασιών (παλλέτες), η μετακίνηση αντικειμένων, η διαχείριση στις γραμμές παραγωγής κ.α. Από τα κύρια αρνητικά αποτελέσματα τα τριβής είναι η απόξεση και φθορά των επιφανειών.

| Υλικά σε επαφή | Συντελεστής στατικής τριβής | Συντελεστής τριβής ολίσθησης |
|----------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Μέταλλο σε μέταλλο | 0,38 | 0,30 |
| Μέταλλο σε γυαλί | 0,20 | 0,15 |
| Μέταλλο σε πλαστικό | 0,35 | 0,30 |
| Μέταλλο σε ξύλο | 0,45 | 0,30 |
| Μέταλλο σε χαρτί | 0,40 | 0,30 |
| Γυαλί σε γυαλί | 0,20 | 0,15 |
| Γυαλί σε πλαστικό | 0,40 | 0,25 |
| Γυαλί σε ξύλο | 0,20 | 0,15 |
| Γυαλί σε χαρτί | 0,13 | 0,10 |
| Πλαστικό σε πλαστικό | 0,53 | 0,33 |
| Πλαστικό σε ξύλο | 0,40 | 0,32 |
| Πλαστικό σε χαρτί | 0,40 | 0,28 |
| Ξύλο σε ξύλο | 0,63 | 0,40 |
| Ξύλο σε χαρτί | 0,63 | 0,40 |
| Χαρτί σε χαρτί | 0,58 | 0,35 |

Οι πιο πάνω τιμές αφορούν σε υλικά σε επαφή. Επίσης, οι τιμές αφορούν τα υλικά ανεξάρτητα από το ποιο από τα δύο θα κινηθεί σε σχέση με το άλλο. Όσο δεν αλλάζουν τα υλικά και το βάρος των προϊόντων, οι συντελεστές τριβής παραμένουν ίδιοι.

Επίσης, οι συντελεστές τριβής που παρατέθηκαν αφορούν μόνο στην «ξηρή» κατάσταση, όπου δηλαδή δεν υπεισέρχεται ο παράγοντας υγρασία, υλικών λίπανσης, λαδιού κ.λπ. ανάμεσα στις δύο επιφάνειες σε επαφή. Η ροή δύο ρευστών δεν μπορεί να περιγραφεί με συντελεστές τριβής.

Ακόμη, οι συντελεστές αυτοί αφορούν μόνο σε «κανονικές» καταστάσεις υλικών όπου δεν έχουν τροποποιηθεί η αλλάξει οι επιφάνειες ή τα υλικά, πχ. με γυάλισμα.

Όπως συνάγεται και από τις εξισώσεις, η έκταση της επιφάνειας επαφής δεν έχει ρόλο στον υπολογισμό της τριβής, δηλαδή η ίδια δύναμη απαιτείται για όποια δύο υλικά είτε πρόκειται για μικρή είτε για μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής τους. Ο λόγος είναι ότι τελικά, η επαφή μεταξύ δύο σωμάτων γίνεται σε μικρό-επιφάνειες – μεμονωμένες κορυφές και στις δύο επιφάνειες. Η πραγματική επιφάνεια επαφής λοιπόν δεν έχει ευθεία σχέση με την φαινομενική επιφάνεια επαφής. Στην πραγματικότητα η αληθινά εφαιπτόμενη επιφάνεια μεταξύ των δύο σωμάτων είναι τόσο μικρή ώστε οι τάσεις (στρες) ανάμεσα στις δύο επιφάνειες εμφανίζονται στα σημεία/κορυφές που εφάπτονται κι έχουν το μέγιστο σημείο τους στο μαλακότερο από τα δύο υλικά. Καθώς προχωρά η ολίσθηση το μαλακότερο από τα δύο υλικά γλιστρά απομακρυνόμενο.

Εσωτερική τριβή

Το κύριο μακροσκοπικό χαρακτηριστικό των ρευστών είναι πως δεν αντιδρούν σε τάση ολίσθησης. Αυτό ισχύει απόλυτα για όλα τα ρευστά που η παραμόρφωση γίνεται με αργό ρυθμό. Σε πραγματικούς ρυθμούς τα πραγματικά ρευστά παρουσιάζουν απόκλιση από την ιδανική συμπεριφορά καθώς αντιδρούν στις τάσεις ολίσθησης.

Στην περίπτωση κίνησης ενός υγρού σε μια επιφάνεια τα διάφορα στρώματα του υγρού κινούνται στην φορά της κίνησης με μειούμενη ταχύτητα καθώς προσεγγίζουμε την σταθερή επιφάνεια μέχρι την μηδενική ταχύτητα στην επιφάνεια επαφής με το στερεό υλικό. Η κλίση αυτή της ταχύτητας εκφράζεται με το dv/dz , οπότε,

$$T = F/S = \eta * dv/dz \text{ (Νόμος τους Newton για το ιξώδες)}$$

Η σχέση αυτή ορίζει πως το υγρό αντιδρά σε τάση ολίσθησης και η αντίδραση είναι ανάλογη του dv/dz .

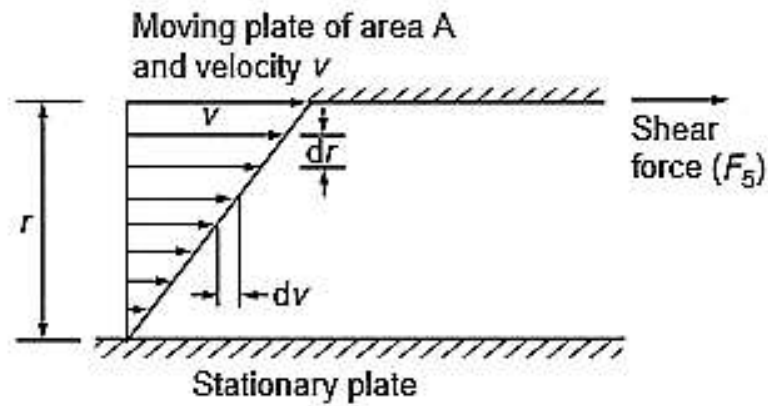


FIGURE Velocity distribution of a liquid between two parallel plates, one stationary and the other moving.

Έτσι, λοιπόν, καθώς απαιτούνται δυνάμεις για να κινηθεί το ένα στρώμα υγρού σε σχέση με το επόμενο, το ιξώδες μπορεί να θεωρηθεί ανάλογος παράγοντας με την τριβή ανάμεσα σε επιφάνειες που ολισθαίνουν, εξ ου και ο όρος εσωτερική τριβή και συντελεστής εσωτερικής τριβής που χρησιμοποιούνται σε ανάλογες περιπτώσεις.

ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΑΖΑΣ

Ο όρος μεταφορά μάζας αναφέρεται στην σχετική κίνηση κάποιου ή κάποιων συστατικών σε σχέση με τα υπόλοιπα συστατικά ενός συστήματος. Είναι θεμελιώδους σημασίας για την συσκευασία των τροφίμων καθώς συνδέονται με την διαθεσιμότητα των αερίων εντός της συσκευασίας και τη μεταφορά ουσιών δια μέσω αυτής, όπως και από τα υλικά συσκευασίας προς τα τρόφιμα. Οι μηχανισμοί είναι είτε:

- η μοριακή διάχυση, όπου η μεταφορά ουσιών οφείλεται στην ελεύθερη κίνηση των μορίων χωρίς μακροσκοπικά να παρατηρείται ροή, είτε
- η συναγωγή, στην οποία η μεταφορά μάζας οφείλεται κυρίως στην κίνηση του ρευστού μίγματος που επιτρέπει σε «πακέτα» ύλης να μετακινηθούν από μια περιοχή υψηλού δυναμικού σε μια άλλη χαμηλότερης συγκέντρωσης, οδηγώντας το σύστημα σε ισορροπία. Ο ρυθμός μεταφοράς είναι ανάλογος της κίνησης του ρευστού.

Και στις δύο περιπτώσεις τα μόρια κινούνται από την μια περιοχή στην άλλη μεταφέρουν εκτός από την μάζα τους και την ενεργειακή τους κατάσταση και την ορμή τους. Γι' αυτό στην μελέτη μεταφοράς μάζας περιγράφονται οι διαφορετικοί ρυθμοί, ταχύτητες των διαφορετικών συστατικών του μείγματος αλλά το ίδιο το σύστημα καθορίζεται με μια μέση τιμή ταχύτητας αναφοράς.

Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση, διαφορά του μείγματος, από την ισορροπία, τόσο ταχύτερα θα εκδηλωθούν τα φαινόμενα αποκατάστασης της ισορροπίας, ενισχυόμενα και από την αυξημένη θερμοκρασία. Ο ρυθμός μεταφοράς μάζας είναι διανυσματικό μέγεθος καταγραφής της ποσότητας του A που διέρχεται στην μονάδα του χρόνου από μια επιφάνεια κάθετη στην κατεύθυνση μεταφοράς του συστατικού.

Τόσο για την μεταφορά με διάχυση όσο και με συναγωγή γίνεται δεκτή μια γραμμική εξάρτηση του ρυθμού μεταφοράς από το δυναμικό. Εφαρμόζονται εδώ απλές σχέσεις που διευκολύνουν τους υπολογισμούς αλλά ισχύουν μόνο προσεγγιστικά για τα διάφορα συστήματα. Συνεπακόλουθα, οι συντελεστές διάχυσης και μεταφοράς μάζας για την συναγωγή να μην είναι ανεξάρτητοι του δυναμικού.

Γενικά μπορούν να διατυπωθούν οι πιο κάτω αρχές:

- α. Σε ένα φυσικό μείγμα και δεδομένη θερμοκρασία και ολική πίεση, υπάρχουν ζεύγη τιμών των συγκεντρώσεων ενός συστατικού (A) για τις οποίες δεν παρατηρείται μεταφορά του συστατικού μεταξύ των δύο φάσεων.
- β. Όταν οι δύο φάσεις που έρχονται σε επαφή δεν βρίσκονται σε ισορροπία, το σύστημα τείνει στην ισορροπία με την μεταφορά ενός ή περισσότερων συστατικών από την μία φάση στην άλλη.
- γ. Κινούσα δύναμη μεταφοράς είναι η απόσταση του συστήματος από τις συνθήκες ισορροπίας, δηλαδή η διαφορά των συγκεντρώσεων του συστατικού A στη μία φάση από την συγκέντρωση που θα έπρεπε αν έχει κατά την ισορροπία (όπου δεν μεταβάλλεται η ελεύθερη ενέργεια Gibbs του συστήματος).

Ως σταθερά ισορροπίας (K) ορίζεται η σχέση

$$K = \text{συγκέντρωση A στην φάση 1} / \text{συγκέντρωση A στην φάση 2},$$

όπου η «συγκέντρωση» μπορεί να εκφραστεί με διάφορους τρόπους, όπως:

- η μάζα (μαζική συγκέντρωση ρ_A). Επιλέγεται συνήθως για υγρά μείγματα όπου η μεταβολή του ειδικού όγκου με το μοριακό βάρος είναι σχετικά μικρή, με αποτέλεσμα ο ειδικός όγκος ανά κιλό (kg) να μην εξαρτάται σημαντικά από την σύσταση.
- το γραμμομοριακό κλάσμα (γραμμομοριακή συγκέντρωση (c_A). Επιλέγεται κυρίως σε προβλήματα μεταφοράς αερίων καθώς τα ιδανικά αέρια εξαρτώνται μόνο από την θερμοκρασία και την πίεση και όχι από την σύσταση του μείγματος, ενώ η αναλογία όγκων είναι ίδια με την αναλογία μορίων.
- η μερική πίεση (p_A), κ.α.

Στις γραμμικές σχέσεις ισορροπίας η σταθερά K εξαρτάται μόνο από την θερμοκρασία, ενώ στις μη-γραμμικές αλλάζει ανάλογα με την συγκέντρωση της ουσίας. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται ο λόγος των αντίστοιχων μεταβολών [$m_{yx} = dy_A / dx_A$], όπου η κλίση της καμπύλης, m, αντικατοπτρίζει το άθροισμα των αντιστάσεων μεταφοράς μάζας μεταξύ φάσεων.

Νόμος του Fick για την διάχυση

Συνδέει τον ρυθμό διάχυσης με την αντίστοιχη βαθμίδα συγκέντρωσης. Για ένα διμερές μίγμα A και B, ο ρυθμός γραμμομοριακής διάχυσης σε κάποια κατεύθυνση είναι ανάλογος της βαθμίδας συγκέντρωσης στην κατεύθυνση αυτή:

$$J_{A,z} = -D_{AB} \frac{dc_A}{dz}$$

Ο συντελεστής αναλογίας D_{AB} ονομάζεται συντελεστής διάχυσης του συστατικού Α στο Β. Στο σύστημα SI έχει διαστάσεις $m^2 \cdot s^{-1}$.

Η σχέση ισχύει για σύστημα σε σταθερή θερμοκρασία και πίεση που έχει δηλαδή σταθερή ολική συγκέντρωση. Μια γενικότερη σχέση χωρίς αυτόν τον περιορισμό είναι:

$$J_{A,z} = -cD_{AB} \frac{dx_A}{dz}$$

Όπου x_A το γραμμομοριακό κλάσμα και c η ολική συγκέντρωση.

Φυσικά οι δύο σχέσεις είναι ισοδύναμες για σταθερή ολική συγκέντρωση, δηλαδή για σταθερή θερμοκρασία και πίεση και αναφέρονται στην ροή προς μία κατεύθυνση.

Συντελεστής διάχυσης

Η επίλυση ενός προβλήματος μεταφοράς μάζας απαιτεί αρχικά τον πειραματικό προσδιορισμό του συντελεστή διάχυσης. Λόγω όμως πληθώρας των μειγμάτων, της εξάρτησης του συντελεστή από την θερμοκρασία, την πίεση και την σύσταση του μείγματος, σπάνια υπάρχουν επαρκή πειραματικά δεδομένα, άρα πρέπει να βρεθούν αξιόπιστες σχέσεις αναγωγής των περιορισμένων πειραματικών δεδομένων σε άλλες συνθήκες. Αυτό απαιτεί πλήρη κατανόηση του μηχανισμού διάχυσης σε μοριακό επίπεδο.

Δυσκολότερη είναι η πρόβλεψη για τον συντελεστή διάχυσης σε στερεά, λόγω της διαφορετικότητας κατά περίπτωση παρουσίας κρυσταλλικού πλέγματος, άμορφων περιοχών ή ρευστών μέσα από τους πόρους του στερεού. Επιπλέον του μεγέθους των μορίων, σημαντικό ρόλο παίζουν οι επιφανειακές και δια-μοριακές δυνάμεις. Η διάχυση σε κρυσταλλικό πλέγμα μπορεί να γίνει είτε μέσα από την κίνηση των μορίων σε γειτονικές κενές θέσεις του κρυσταλλικού πλέγματος ή διάχυση μεταξύ των ατόμων των κρυστάλλων. Εξαρτάται από το σχετικό μέγεθος των ατόμων των κρυστάλλων και των μορίων.

Σε κάθε περίπτωση για να μετατοπιστεί ένα άτομο πρέπει να υπερβεί το ενεργειακό του φράγμα, να αποκτήσει δηλαδή την απαραίτητη ενέργεια ενεργοποίησης. Αυτό συνεπάγεται την εξάρτηση του συντελεστή διάχυσης από την θερμοκρασία ως εξής:

$$D = D_0 e^{\frac{\Delta H}{RT}}$$

όπου T η τιμή της θερμοκρασίας σε βαθμούς της κλίμακας Kelvin. Η δομή του κρυστάλλου επηρεάζει την ενέργεια ενεργοποίησης.

Στη σειρά δυσκολίας ακολουθούν τα υγρά, ειδικά τα μη-ιδανικά διαλύματα και τέλος τα αέρια όπου συνέχεια τα αέρια σχετικά χαμηλής πίεσης.

Ο συντελεστής διάχυσης που ορίστηκε από τον νόμο του Fick με την αντίστοιχη βαθμίδα συγκέντρωσης είναι

$$D_{AB} = \frac{J_A}{\frac{dc_A}{dz}} = \frac{[\text{ποσότητα A}][\text{χρόνος} \cdot \text{επιφάνεια}]^{-1}}{[\text{ποσότητα}][\text{όγκος} \cdot \text{μήκος}]^{-1}} = \frac{L^2}{T}$$

Ο συντελεστής αναφέρεται σε διάχυση του Α στο Β και γι' αυτό ονομάζεται *διμερής συντελεστής διάχυσης (binary diffusion coefficient)* και εξαρτάται από την θερμοκρασία, την πίεση και την σύσταση του δείγματος.

Γενικά, η διάχυση εμποδίζεται από τη κρούση των μορίων μεταξύ τους ή με τα τοιχώματα των πόρων ενός στερεού. Για αυτό το λόγο ο συντελεστής διάχυσης είναι τόσο μεγαλύτερος όσο μικρότερο είναι το μοριακό βάρος του διαχεόμενου συστατικού και όσο μικρότερη η πυκνότητα του μέσου μέσα στο οποίο γίνεται η διάχυση.

Σε αέρια υπό χαμηλή πίεση, ο συντελεστής διάχυσης είναι σχεδόν ανεξάρτητος της σύστασης του μείγματος, αυξάνει με την θερμοκρασία και μειώνεται με την πίεση. Στα υγρά και τα στερεά, όπου οι διαμοριακές αποστάσεις είναι μικρές, ο όγκος εξαρτάται από τον αριθμό των ατόμων και οι δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ των μορίων εξαρτώνται από τον τύπο του χημικού δεσμού. Έτσι διαφορετικά μόρια εξασκούν διαφορετική επίδραση στο διαχεόμενο συστατικό και ο συντελεστής διάχυσης εξαρτάται από την σύσταση του μείγματος.

Μονοστρωματικές μεμβράνες

Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο συντελεστής διαπερατότητας δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ένα ενιαίο αναλυτικό τρόπο. Στη θέση του, μια πιο ακριβής ανάλυση της διαδικασίας διεισδύσεως των μορίων στην μήτρα του πολυμερούς είναι απαραίτητο να καθοριστεί ώστε να οριστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια οι ιδιότητες φραγμού της μεμβράνης.

Όσον αφορά την εξάρτηση της διαπερατότητας χαμηλού μοριακού βάρους ενώσεων από την σχετική υγρασία στα όρια της επιφάνειας των μεμβρανών, αυτή μπορεί να παρουσιάζει αναλόγως αυξητική ή μειωτική τάση ή μια συμπεριφορά που περιγράφεται με καμπύλες ανοδικής κοιλότητας. Μια σταθερή αύξηση του συντελεστή διαπερατότητας με την σχετική υγρασία, θα μπορούσε να υφίσταται όταν τα μόρια του νερού ενεργούν ως πλαστικοποιητές και αυξάνουν την μακρομοριακή κινητικότητα του πολυμερούς. Από την άλλη πλευρά, ο συντελεστής διαπερατότητας μπορεί να μειώνεται σταθερά με την σχετική υγρασία στην περίπτωση όπου τα μόρια του νερού ανταγωνίζονται με τα μόρια της ουσίας που διαπερνά το πολυμερές για τα σταθερά μικρο-ανοίγματα της μήτρας του πολυμερούς. Αυτό αναλογεί στην ικανότητα ενός υαλώδους πολυμερούς να φιλοξενήσει την κάθε ουσία που τείνει να εισχωρήσει στην μήτρα του. Στην πραγματικότητα, μια γραφική παράσταση ανοδικής καμπύλης περιγράφει τα δύο φαινόμενα, από τα οποία το πρώτο επικρατεί σε χαμηλότερη σχετική υγρασία, ενώ το δεύτερο σε υψηλότερες τιμές.

Μια μηχανιστική προσέγγιση στο πρόβλημα περιγραφής της διαπερατότητας των υλικών θα πρέπει να ξεκινά περιγράφοντας τα φαινόμενα που εμπλέκονται στην διαπερατότητα των ενώσεων χαμηλού μοριακού βάρους μέσω των πολυμερών μεμβρανών. Είναι γενικά αποδεκτό ότι ο μηχανισμός αυτός αποτελείται από τρία στάδια: (1) αρχικά με την απορρόφηση της χαμηλού μοριακού βάρους ένωσης στην πλευρά της μεμβράνης με την υψηλή μερική πίεση, (2) κατόπιν την διάχυση της ένωσης μέσω πολυμερικής μήτρας, και (3) τρίτον, την εκρόφιση της ένωσης στην πλευρά χαμηλής πίεσης της μεμβράνης.

Έτσι, η διείσδυση μέσα από μία πολυμερική μήτρα είναι ουσιαστικά ένας συνδυασμός δύο διακριτών διεργασιών: της διαλυτοποίησης (solubility) και της διάχυσης (diffusivity).

Η προσρόφηση των υδρατμών αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές περιπτώσεις ενώσεων χαμηλού μοριακού βάρους που διαπερνούν τις εύκαμπτες μεμβράνες με ενδιαφέρον για τις εφαρμογές της συσκευασίας των τροφίμων. Ο συντελεστής διαπερατότητας στην περίπτωση των υδρατμών εξαρτάται από την μερική πίεση τους στα όρια των εκατέρωθεν επιφανειών της μεμβράνης.

Για τον ακριβέστερο υπολογισμό των σχέσεων διαπερατότητας σε υδρατμούς, θα πρέπει να λαμβάνονται οι ακόλουθες πληροφορίες: (1) η σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης του νερού στο πολυμερές σε ισορροπία και η μερική του πίεση, ως μια ποσοτική περιγραφή της διαδικασίας διαλυτοποίησης των υδρατμών στο πολυμερές και (2), η επίδραση της διάχυσης του νερού στην συγκέντρωση νερού, ως μια ποσοτική περιγραφή της διαδικασίας διάχυσης των υδρατμών. Η προσρόφηση του νερού σε μετρίως υδρόφιλα πολυμερή είναι ένα μάλλον πολύπλοκο φαινόμενο που οφείλεται στις ειδικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μορίων του νερού και των υδρόφιλων θέσεων των αλυσίδων του πολυμερούς. Κατά συνέπεια, τα μόρια του νερού που προσροφώνται είναι εν μέρει τυχαία διασπαρμένα εντός της μήτρας του πολυμερούς (διαλυμένο ή ελεύθερο νερό) και εν μέρει φυσικά συνδεδεμένο στις υδρόφιλες θέσεις (προσροφημένο νερό ή δεσμευμένο νερό).

Σαν μια πρώτη προσέγγιση, μπορεί να υποτεθεί ότι η ποσότητα του προσροφημένου νερού είναι αμελητέα σε σύγκριση με την ποσότητα του διαλυμένου νερού.

Η διάχυση του νερού μέσα από μετρίως υδρόφιλα πολυμερή περιγράφεται γενικά με το μαθηματικό μοντέλο του Fick όπου ο συντελεστής διάχυσης του νερού εξαρτάται από τη συγκέντρωση. Πολλές εξισώσεις μπορούν να βρεθούν στη βιβλιογραφία σχετικά με την εξάρτηση του συντελεστή διάχυσης του νερού με την συγκέντρωση του νερού, οι περισσότερες εμπειρικής φύσης.

Διαπερατότητα σε οξυγόνο (Oxygen Permeability)

Η διάχυση ενώσεων χαμηλού μοριακού βάρους στα πολυμερή περιγράφεται γενικά από δύο ταυτόχρονα φαινόμενα. Το ένα είναι μια ουσιαστικά στοχαστική διαδικασία (που σχετίζεται με την κίνηση Brown), όπου η ένωση κινείται οδηγούμενη αποκλειστικά από την διαφορά (κλίση) της συγκέντρωσης. Το άλλο αφορά στο φαινόμενο χαλάρωσης, το οποίο καθορίζεται από την απόσταση της θέσης του συστήματος από την θέση ισορροπίας του.

Όταν η μεταφορά μάζας γίνεται σε μία ουσιαστικά αδιατάρακτη μάζα ενός πολυμερούς, (βλ. περιπτώσεις της διάχυσης αερίου σε ελαστικά πολυμερή, ή των περιπτώσεων όπου ο διαλύτης προκαλεί αμελητέα διόγκωση), η διαδικασία διάχυσης μπορεί πιο εύκολα να ελεγχθεί και να περιγραφεί με κάποιο μαθηματικό μοντέλο. Περιοριστικές συμπεριφορές, (όπως αυτή που συναντάται πολύ συχνά και αφορά στην διόγκωση που προκαλεί μια ένωση χαμηλού μοριακού βάρους στην μήτρα του πολυμερούς), οδηγούν σε έναν πολύ χαμηλότερο χρόνο διάχυσης σε σχέση με τον χρόνο χαλάρωσης του πολυμερούς. Έτσι, η χαλάρωση γίνεται το περιοριστικό φαινόμενο που ελέγχει την κινητική πρόσληψης του διαλύτη στην μάζα του πολυμερούς. Στην περίπτωση της διάχυσης του νερού σε μέτρια υδρόφιλα πολυμερή, οι πειραματικές παρατηρήσεις κυμαίνονται μεταξύ αυτών

των δύο περιοριστικών φαινομένων. Να αναφερθεί πως η διάχυση του νερού που σχετίζεται με κινήσεις Μπράουν περιγράφεται γενικά με τη βοήθεια του μοντέλου του Fick με συντελεστή διάχυσης ανάλογο της συγκέντρωσης του νερού.

Συντελεστής διαπερατότητας (Permeability Coefficient) σε κατάσταση ισορροπίας (steady state)

Σε πολλές περιπτώσεις, οι εύκαμπτες μεμβράνες που προορίζονται για εφαρμογές συσκευασίας τροφίμων γίνονται με το συνδυασμό τεχνικών όπως η πλαστικοποίηση, ή η συνεξέταση πολλών πολυμερών στρωμάτων. Οι τύποι των μεμβρανών που προκύπτουν αναφέρονται συνήθως ως πολυστρωματικές μεμβράνες ή πολυστρωματικά συστήματα. Η πρόβλεψη των ιδιοτήτων φραγής ενός πολυστρωματικού φιλμ έχει μία πρόσθετη δυσκολία, εκτός αυτών που υπάρχουν στην πρόβλεψη των φαινομένων μεταφοράς μάζας ενός μονοστρωματικού υλικού: πρέπει κανείς να γνωρίζει γενικά την διαπερατότητα και το πάχος του κάθε στρώματος.

Δύο διαφορετικές περιπτώσεις συναντώνται: (1) ο συντελεστής διαπερατότητας του κάθε στρώματος δεν εξαρτάται από τον την μερική πίεση του νερού στα όρια του κάθε στρώματος και (2), όπου το πολυστρωματικό έχει τουλάχιστον ένα υδρόφιλο στρώμα του οποίου η διαπερατότητα συντελεστής εξαρτάται από το σχετική υγρασία στα όρια της

Συντελεστής διαπερατότητας και εξάρτηση από την σχετική υγρασία (Relative-Humidity-Dependent Permeability Coefficient)

Αυτή είναι η περίπτωση όπου ένα πολυστρωματικό υλικό αποτελείται από στρώματα πολυολεφίνης όπως πολυαιθυλένιο (PE) και πολυπροπυλένιο (PP). Η υδρόφοβη φύση της πολυολεφίνης καθιστά αυτά τα στρώματα σχετικά ανθεκτικά σε παρουσία υδρατμών. Ως εκ τούτου, ο συντελεστής διαπερατότητας τους δεν εξαρτάται από τη δραστηριότητα του νερού και κατά συνέπεια, ο συντελεστής διαπερατότητας του αντίστοιχου πολυστρωματικού υλικού δεν εξαρτάται επίσης από την ύπαρξη σχετικής υγρασίας στις δύο πλευρές της μεμβράνης. Εφόσον δεν υπάρχουν άλλου τύπου διαρροές, όπως λόγω κακής συγκόλλησης, μπορεί να αποδειχθεί εύκολα ότι ο συντελεστής διαπερατότητας ενός πολυστρωματικού φιλμ σχετίζεται με τον συντελεστή διαπερατότητας των συστατικών στρωμάτων και το πάχος του καθενός από αυτά.

Η συμβατική προσέγγιση κατά την παραγωγή μεμβρανών φραγής για εφαρμογές στην συσκευασία τροφίμων είναι να συνδυάσει διάφορα υλικά σε μια πολυστρωματική δομή. Στην πραγματικότητα, η στρατηγική του συνδυασμού διαφόρων πολυμερών με διαφορετικές ιδιότητες φραγμών σε αέρια ή υδρατμούς, είναι επίσης ένα χρήσιμο μέσο για τη μείωση της ευαισθησίας των επιμέρους στρωμάτων σε ενώσεις χαμηλού μοριακού βάρους και για τη βελτίωση της πολυστρωματικής λειτουργικότητας. Γενικά, οι εμπορικά διαθέσιμες πολυστρωματικές μεμβράνες έχουν μία μετρίως υδρόφιλη μεμβράνη, όπως PET, αιθυλ-βινυλική αλκοόλη (EVOH) ή πολυαμίδιο (PA), η οποία χρησιμεύει ως το κύριο στρώμα φραγμού. Συνήθως τοποθετείται μεταξύ δύο υδρόφωβων μεμβρανών, όπως πολυολεφίνες. Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη την εξάρτηση των ιδιοτήτων μεταφοράς μάζας της συνολικής μεμβράνης από την διαπερατότητα υδρατμών προς κάθε κατεύθυνση. Ο συντελεστής διαπερατότητας υδρατμών σε υλικά πολυολεφινών δεν εξαρτάται από την εξωτερική υγρασία. Στην περίπτωση αυτή οι ιδιότητες φραγμού του νερού της μεμβράνης μπορεί να προσδιορισθούν με μια μόνο δοκιμή διαπερατότητας της υγρασίας.

Μέτρηση διαπερατότητας

Η μέτρηση της διαπερατότητας για αέρια και υδρατμούς μπορεί να γίνει με τις ακόλουθες βασικές μεθόδους:

Μέτρηση διαπερατότητας αερίων. Για την πλήρη κατανόηση των μεθόδων μέτρησης της διαπερατότητας θα πρέπει αρχικά να διευκρινιστούν δύο όροι: α) ολική και β) μερική πίεση αερίου σε ένα μίγμα.

Σε σταθερό όγκο, η ολική πίεση που ασκείται από τα αέρια είναι το άθροισμα των μερικών πιέσεων του καθ' ενός από τα αέρια χωριστά (νόμος του Dalton). Η μερική πίεση του κάθε αερίου είναι η πίεση που θα ασκούσαν εάν αυτό το αέριο καταλάμβανε από μόνο του τον ίδιο όγκο με το μίγμα. Ο ρυθμός διαπερατότητας ενός συγκεκριμένου αερίου δια μέσω ενός πολυμερούς εξαρτάται από τη μερική πίεση αυτού του αερίου κατά μήκος του υλικού και όχι της διαφοράς της συνολικής πίεσης μεταξύ των δύο πλευρών.

Μέτρηση διαπερατότητας υδρατμών. Η βασική μέθοδος για τον προσδιορισμό της διαπερατότητας ενός υλικού στους υδρατμούς είναι η τοποθέτηση μιας ποσότητας από κάποιο αποξηραντή σε ένα πιατάκι αλουμινίου το οποίο καλύπτεται από το προς μελέτη πολυμερές και κολλιέται επάνω στο πιατάκι με πολύ προσοχή προς αποφυγή μικρο-οπών και α-συνεχειών της επιφάνειας επαφής τους. Αυτό το πιατάκι τοποθετείται κατόπιν σε ένα θάλαμο με ελεγχόμενη ατμόσφαιρα θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, (π.χ. 25±0,5°C και 75±2% RH ή 38±0,5°C και 90±2% RH) και καταγράφεται η αύξηση του βάρους για το κάθε πιατάκι με το χρόνο. Εάν τα βάρη που θα μετρηθούν τοποθετηθούν σε ένα γράφημα με το χρόνο προκύπτει μια ευθεία

γραμμή με το χρόνο επειδή και η Δρ παραμένει σταθερή. Αυτή η μέθοδος έχει τα μειονεκτήματα του μεγάλου χρόνου που απαιτεί για την ολοκλήρωση μιας μέτρησης (2 – 14 μέρες) και του μικρού κάτω ορίου που μπορεί να ανιχνευθεί. Ακόμα, η Δρ μπορεί να μην παραμείνει σταθερή, πράγμα που εξαρτάται από το είδος του αποξηραντή που θα χρησιμοποιηθεί και έχει παρατηρηθεί η συμπεριφορά των υλικών συσκευασίας διαφέρει σε πραγματικές συνθήκες. Για τον τελευταίο αυτό λόγο προτείνεται η τοποθέτηση μιας ποσότητας του αποξηραντή μέσα στην τελική συσκευασία και η επακόλουθη δοκιμή μέτρησης της μεταβολής του βάρους του όπως προηγουμένως.

Μεταξύ των διαφόρων άλλων μεθόδων που έχουν προταθεί μια μέθοδος μέτρησης της διαπερατότητας των υλικών στους υδρατμούς βασίζεται στην τοποθέτηση του πολυμερούς μεταξύ δύο θαλάμων, από τους οποίους ο ένας περιέχει ατμόσφαιρα κορεσμένη σε υδρατμούς ενώ ο άλλος ένα σύστημα μέτρησης της υγρασίας. Ο μετρητής καταγράφει την άνοδο του ποσοστού υγρασίας με το χρόνο.

Μέτρηση διαπερατότητας αρωμάτων. Για τις αντίστοιχες μετρήσεις της διαπερατότητας ενός πολυμερούς σε χημικές ουσίες που ευθύνονται για κάποιο χαρακτηριστικό άρωμα, έχουν αναπτυχθεί ανάλογες μεθοδολογίες και μηχανήματα. Η μετρήσεις αυτές αποσκοπούν στο να επιλεγούν τα κατάλληλα πολυμερή τα οποία δεν θα επιτρέπουν τη διαφυγή των επιθυμητών αρωματικών ουσιών, αλλά ούτε και την εισαγωγή των ανεπιθύμητων. Πολλές από τις διαπερατότητες των αρωματικών ουσιών εξαρτώνται από τη συγκέντρωση της ουσίας ενώ επηρεάζονται και από τα ποσοστά υγρασίας της ατμόσφαιρας. Σε αυτή την περίπτωση η οργανική πτητική ουσία που διέρχεται μέσω του πολυμερούς, διογκώνει τη μάζα του ή ανταγωνίζεται με την υγρασία για τις διαθέσιμες θέσεις στο εσωτερικό του πολυμερούς. Η παρουσία του οργανικού διαλύτη στη μάζα του πολυμερούς μπορεί να επιφέρει και αλλαγές στη δομή και στις ιδιότητες του επηρεάζοντας έτσι τη διαπερατότητα του υλικού.

Καθώς η διαπερατότητα των οργανικών ουσιών δια μέσω των πολυμερών είναι πολύ αργότερη από αυτή των αερίων και έτσι μπορεί να έχουμε λάθος υπολογισμό του συντελεστή P από την φάση υστέρησης, έχει προταθεί ο υπολογισμός του S μέσω πειραμάτων απορρόφησης/εκρόφησης στα οποία το κερδισμένο ή χαμένο βάρος ενός πολυμερούς εκτεθειμένου στην οργανική ουσία υπολογίζεται με το χρόνο σαν ένδειξη της διαλυτότητας της οργανικής ουσίας στο πολυμερές αυτό. Και εδώ θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά όψη ο παράγοντας θερμοκρασία ώστε να έχουμε ασφαλή αποτελέσματα ανάλογα με τη χρήση.

TABLE Permeability Data for Various Polymers

| Polymer | Permeability ($P \times 10^{10} \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{mm}/\text{s}/\text{cm Hg}$) | | | | Ratios (to N_2 Permeability as 1.0) | | | Nature of Polymer |
|--|--|--------------|---------------|-----------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| | N_2 (30°C) | O_2 (30°C) | CO_2 (30°C) | H_2O (25°C, 90% RH) | P_{O_2}/P_{N_2} | P_{CO_2}/P_{N_2} | P_{H_2O}/P_{N_2} | |
| Poly(vinylidene chloride) (Saran) | 0.0094 | 0.053 | 0.29 | 14 | 5.6 | 31 | 1,400 | Crystalline |
| Polychlorotrifluoro-ethylene | 0.03 | 0.10 | 0.72 | 2.9 | 3.3 | 24 | 97 | Crystalline |
| Poly(ethylene terephthalate) (Mylar A) | 0.05 | 0.22 | 1.53 | 1,300 | 4.4 | 31 | 25,000 | Crystalline |
| Rubber hydrochloride (Fluofilm ND) | 0.08 | 0.30 | 1.7 | 240 | 3.8 | 21 | 3,000 | Crystalline |
| Polyamide (Nylon 6) | 0.10 | 0.38 | 1.6 | 7,000 | 3.8 | 16 | 70,000 | Crystalline |
| Poly(vinyl chloride) (acrylate-free) | 0.40 | 1.20 | 1.0 | 1,560 | 3.0 | 25 | 3,900 | Semicyrystalline |
| Celulose acetate | 2.8 | 7.8 | 68 | 75,000 | 2.8 | 24 | 2,680 | Glassy |
| Polyethylene ($d=0.954, 0.960$) | 2.7 | 10.6 | 39 | 130 | 3.9 | 13 | 48 | Crystalline |
| Polyethylene ($d=0.922$) | 19 | 55 | 392 | 800 | 2.9 | 19 | 42 | Semicyrystalline |
| Polystyrene | 2.9 | 11 | 88 | 12,000 | 3.8 | 30 | 4,100 | Glassy |
| Polypropylene ($d=0.910$) | — | 23 | 92 | 680 | — | — | — | Crystalline |
| Butyl rubber | 3.12 | 13.0 | 51.8 | — | 4.1 | 16.2 | — | Rubbery |
| Polybutadiene | 64.5 | 191 | 1,380 | — | 3.0 | 21.4 | — | Rubbery |
| Natural rubber | 80.8 | 233 | 1,310 | — | 2.9 | 16.2 | — | Rubbery |

Source: From Sauerbrey, V. T. and Sauer, M. 1955. *J. Polym. Sci.*, 16, 89 and Paine, F. A. 1962. *J. Roy. Inst. Chem.*, 86, 263.

Προσρόφηση υγρασίας

Το φαινόμενο της προσρόφησης υγρασίας από ορισμένα τρόφιμα αποτελεί ιδιαίτερη σημαντική κατηγορία παράγοντα αλλοίωσης των τροφίμων τα οποία επιδιώκεται να συντηρούνται σε χαμηλή ενεργότητα (a_w).

Η διαθεσιμότητα του νερού μπορεί να είναι σημαντικός παράγοντας στην αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας και της συντήρησης ενός τροφίμου. Το νερό σε ένα σύστημα παρουσιάζει μια πίεση υδρατμών η οποία εξαρτάται από την ποσότητα του νερού που είναι ελεύθερο για εξάτμιση. Ο λόγος της πίεσης των ατμών του νερού του υποστρώματος προς την πίεση του καθαρού νερού στην ίδια θερμοκρασία καλείται «ενεργότητα νερού», a_w . Η ικανότητα συντήρησης ενός τροφίμου εξαρτάται από το επίπεδο της a_w , γι' αυτό πολλές παραγωγικές διεργασίες αποσκοπούν α) στην απομάκρυνση ενός μέρους του νερού από το τρόφιμο για τη σταθεροποίηση του, όπως στην ξήρανση β) την μεταλλαγή του νερού σε μη ενεργό συστατικό, όπως κατά την κατάψυξη, γ) την ακινητοποίηση του νερού σε γλασέ, δομημένα τρόφιμα και προϊόντα χαμηλής ή μέσης περιεκτικότητάς σε νερό.

Αποξηραμένα τρόφιμα, τρόφιμα με ιδιαίτερα χαμηλή ανοχή σε υγρασία λόγω μικροβιακών προβλημάτων, τρόφιμα όπου οι αντιδράσεις αλλοίωσης σχετίζονται άμεσα με την παρουσία υγρασίας, όπως υδρολύσεις, ή τρόφιμα όπου οι ρυθμοί αλλοίωσης αυξάνονται σημαντικά λόγω της παρουσίας του νερού-διαλύτη, αποτελούν τις βασικότερες κατηγορίες για τις οποίες μας ενδιαφέρει η σχετική τους υγρασία και μετεξέλιξη της κατά την συντήρησή τους. Το νερό επηρεάζει ακόμα την κινητικότητα των αντιδρώντων σε μια αντίδραση μέσω των αλλαγών που επιφέρει στο ιξώδες του τροφίμου. Μπορεί να φτιάξει δεσμούς υδρογόνου ή σύμπλοκα με τα ενεργά συστατικά, ενώ και η δομή του τροφίμου εάν αλλάξει επηρεάζει την ενεργότητα των στοιχείων. Η ανάγκη πολλές φορές για υψηλή ενεργότητα νερού η οποία διασφαλίζει τα επιθυμητά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά σε ένα τρόφιμο, μπορεί να επιτρέψει την ανάπτυξη μικροοργανισμών, οι οποίοι σε γενικές γραμμές αναπτύσσονται καλύτερα σε υψηλές τιμές a_w .

Ενεργότητα νερού

Ο όρος της ενεργότητας του νερού προέρχεται από τις θεμελιώδεις αρχές της θερμοδυναμικής και της Φυσικοχημείας. Για τον καθορισμό της ενεργότητας του νερού πρέπει δεχόμαστε ότι για καθαρό νερό η $a_w = 1,0$ και ότι η ισορροπία του συστήματος καθορίζεται από την θερμοκρασία.

Στην κατάσταση ισορροπίας :

$$\mu = \mu_0 + RT \ln (f / f_0)$$

όπου :

μ (J mol⁻¹) είναι το χημικό δυναμικό του συστήματος , δηλαδή η θερμοδυναμική δραστηριότητα ή ενέργεια ανά mole της ουσίας,

μ_0 είναι το χημικό δυναμικό του καθαρού υλικού στη θερμοκρασία T (° K)

R είναι η σταθερά των αερίων (8.314 J mol⁻¹ K⁻¹) ,

f είναι η πτητικότητα ή η τάση διαφυγής μιας ουσίας και

f_0 η τάση διαφυγής του καθαρού υλικού.

Η δραστηριότητα ενός είδους ορίζεται ως

$$a = f / f_0.$$

Ειδικά για το νερό,

$$a_w = f / f_0$$

Η a_w είναι η δραστηριότητα του νερού, ή η τάση διαφυγής του νερού. Για πρακτικούς λόγους, κάτω από τις περισσότερες συνθήκες στις οποίες βρίσκονται τα τρόφιμα, η πτητικότητα περιγράφεται αρκετά καλά με την πίεση ατμών ($F \sim p$), έτσι:

$$a_w = f / f_0 \sim p / p_0$$

Η ισορροπία επιτυγχάνεται σε ένα σύστημα όταν το μ είναι το ίδιο παντού. Έτσι, η ισορροπία μεταξύ του υγρού του ατμού σημαίνει ότι το μ είναι ίδιο και στις δύο φάσεις. Είναι αυτό το γεγονός που επιτρέπει τη μέτρηση της φάσης ατμών για τον προσδιορισμό της δραστηριότητας του νερού του δείγματος.

Η ενεργότητα του νερού ορίζεται ως ο λόγος της τάσεως των ατμών του νερού σε ένα υλικό (p) προς την πίεση των ατμών του καθαρού ύδατος (p_0) στην ίδια θερμοκρασία.

Η σχετική υγρασία του αέρα ορίζεται ως ο λόγος των πιέσεων των ατμών του αέρα με την πίεση των ατμών κορεσμού του. Υπό συνθήκες θερμοκρασιακής ισορροπίας, η ενεργότητα του νερού του δείγματος είναι ίση με την σχετική υγρασία του αέρα που περιβάλλει το δείγμα σε ένα σφραγισμένο θάλαμο μέτρησης. Πολλαπλασιασμός της δραστηριότητας του νερού με το 100 δίνει την σχετική υγρασία ισορροπίας (ERH) επί τοις εκατό.

$$a_w = p / p_0 = ERH (\%) / 100$$

Η δραστικότητα του νερού είναι ένα μέτρο της ενεργειακής κατάστασης του νερού σε ένα σύστημα. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που σχετίζονται με την ενεργειακή κατάσταση του συστήματος και άρα ελέγχουν την δραστικότητα του νερού σε ένα σύστημα, όπως,

- η επίδραση των διαλυμένων ειδών (π.χ. αλάτι ή ζάχαρη) που αλληλεπιδρούν με το νερό μέσω αντιδράσεων του διπόλου-διπόλου, ιοντικής μορφής, και δεσμών υδρογόνου.
- Οι αλληλεπιδράσεις δι-επιφάνειας όπου το νερό αλληλεπιδρά άμεσα με χημικές ομάδες σε αδιάλυτα συστατικά (π.χ. άμυλα και πρωτεΐνες) μέσω των δυνάμεων δίπολο-δίπολο, ιοντικών δεσμών ($H_2O + H^-$), δυνάμεων van der Waals (υδρόφοβοι δεσμοί), και των δεσμών υδρογόνου.

Ένας συνδυασμός αυτών των παραγόντων έχουν σαν αποτέλεσμα να μειώνεται η ενέργεια του νερού και έτσι να μειώνεται η σχετική υγρασία, σε σύγκριση με καθαρό νερό. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες τους οσμωτικούς και τους παράγοντες αλληλεπίδρασης της δομής και του δικτύου του προϊόντος.

Η δραστηριότητα του νερού εξαρτάται από τη θερμοκρασία η οποία αλλάζει την δραστικότητα του νερού λόγω των αλλαγών στην σύνδεση του νερού, την διάσπαση των δεσμών, την διαλυτότητα των διαλυμένων ουσιών, ή η την δομική κατάσταση του προϊόντος. Την μεγαλύτερη επίδραση έχει συνήθως η δομή της μάζας του προϊόντος (π.χ. υαλώδης ή άμορφη). Καθώς όλες οι καταστάσεις αυτές εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, η θερμοκρασία επηρεάζει συνεπακόλουθα και τη δραστηριότητα του νερού των τροφίμων. Σε ορισμένα προϊόντα αυξάνει η δραστηριότητα του νερού τους με αύξηση της θερμοκρασίας, σε άλλα μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, ενώ στα περισσότερα τρόφιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία παρουσιάζεται σχετικά αμελητέα μεταβολή με τη θερμοκρασία. Ως εκ τούτου, δεν είναι εύκολο να προβλέψει κάποιος ακόμη και την κατεύθυνση της αλλαγής της ενεργότητας του νερού με τη θερμοκρασία, δεδομένου ότι εξαρτάται από το πώς η θερμοκρασία θα επηρεάσει τους παράγοντες που ελέγχουν την δραστικότητα του νερού στο συγκεκριμένο τρόφιμο.

Γενικά, η κίνηση του νερού γίνεται από περιοχές υψηλής δραστηριότητας σε περιοχές με χαμηλή ενεργότητα, όπως κατά την μετανάστευση της υγρασίας μεταξύ πολλών συστατικών των τροφίμων (π.χ. μεταξύ του σάντουιτς, ή μεταξύ κράκερ και τυριού), η κίνηση του νερού από το έδαφος προς τα φύλλα των φυτών και λοιπά. Μια ενδιαφέρουσα για τα τρόφιμα εφαρμογή είναι τα μικροβιακά κύτταρα. Όταν μια διαλυμένη ουσία των κυττάρων, που περιβάλλεται από ημι- διαπερατές μεμβράνες, είναι σε υψηλές συγκεντρώσεις, η ωσμωτική της επίδραση στην ελεύθερη ενέργεια του νερού προσδιορίζει το δυναμικό ισορροπίας του νερού και επομένως τους ρυθμούς λειτουργίας / ανάπτυξης των κυττάρων.

Γιατί είναι σημαντική η δραστηριότητα του νερού;

Η ενεργότητα του νερού (a_w) είναι ένας από τους πιο κρίσιμους παράγοντες για τον προσδιορισμό της ποιότητας και της ασφάλειας των προϊόντων. Επηρεάζει την διάρκεια ζωής, την ασφάλεια, την υφή, το άρωμα και την οσμή των τροφίμων. Ενώ η θερμοκρασία, το pH και διάφοροι άλλοι παράγοντες μπορεί να επηρεάσουν εάν και πόσο γρήγορα θα αυξηθούν οι μικρο-οργανισμοί σε ένα προϊόν, η δραστικότητα του νερού μπορεί να είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας στον έλεγχο της αλλοίωσης του. Τα περισσότερα βακτήρια, για παράδειγμα, δεν αναπτύσσονται σε δραστηριότητες νερού κάτω από 0,91, και τα σπόρια τους παύουν να αυξάνονται με δραστηριότητες νερού κάτω από 0,80. Με την μέτρηση της ενεργότητας του νερού, είναι δυνατόν να προβλεφθεί ποια μικροοργανισμοί θα παρουσιαστούν και ποιοι θα είναι πιθανές πηγές αλλοίωσης. Η δραστηριότητα του νερού - όχι η περιεκτικότητα σε νερό - καθορίζει το κατώτερο όριο του διαθέσιμου νερού για την ανάπτυξη μικροβίων. Επιπρόσθετα με τον επηρεασμό της μικροβιακής αλλοίωσης, η δραστικότητα του νερού μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της δραστικότητας των ενζύμων και των βιταμινών στα τρόφιμα με σημαντικό αντίκτυπο στο χρώμα, τη γεύση και το άρωμα.

Ελεύθερο και δεσμευμένο νερό.

Το νερό σε ένα προϊόν φαίνεται να «δεσμεύεται» σε διάφορους βαθμούς με δυνάμεις σε συνεχείς ενεργειακές καταστάσεις, και όχι «στατικά» και αμετάβλητα. Η δραστηριότητα του νερού ορίζεται και ορίζεται από το "ελεύθερο", το "δεσμευμένο", ή το "διαθέσιμο νερό" σε ένα σύστημα. Αυτοί οι όροι είναι πιο εύκολο να τους αντιληφθούμε, αν και δεν προσδιορίζουν επαρκώς όλες τις πτυχές της έννοιας της δραστηριότητας του νερού. Έτσι, η ενεργότητα του νερού περιγράφει τη συνέχεια των ενεργειακών καταστάσεων του νερού σε ένα σύστημα. Η μέση λοιπόν ενεργότητα του νερού μετρά την ποσότητα του ελεύθερου (μερικές φορές αναφέρεται ως μη δεσμευμένο ή ενεργό) νερού που υπάρχει στο δείγμα.

Ένα τμήμα της συνολικής περιεκτικότητας σε νερό που υπάρχει σε ένα προϊόν είναι έντονα δεσμεύεται σε ειδικές θέσεις επί των χημικών ουσιών που αποτελούν το προϊόν. Αυτές οι θέσεις μπορούν να είναι ομάδες υδροξυλίου στους πολυσακχαρίτες, καρβονυλικές και αμινο-ομάδες πρωτεϊνών όπως και άλλες πολικές

περιοχές. Το νερό συγκρατείται με δεσμούς υδρογόνου, δεσμούς ιόντων-διπόλου, και άλλους ισχυρούς χημικούς δεσμούς. Μικρότερες ποσότητες νερού βρίσκονται δεσμευμένες με χαλαρότερους δεσμούς, αλλά εξακολουθεί να μην είναι διαθέσιμο ως διαλύτης.

Πολλές διεργασίες συντήρησης προσπαθούν να περιορίσουν τις αλλοιώσεις με τη μείωση της διαθεσιμότητας του νερού, όπως η στην περίπτωση των μικροοργανισμών. Μειώνοντας την ποσότητα του ελεύθερου - ή αδέσμευτου - νερού, ελαχιστοποιούνται επίσης και οι λοιπές ανεπιθύμητες χημικές μεταβολές που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να μειώσουν την ποσότητα του ελεύθερου νερού περιλαμβάνουν την συμπύκνωση, την αφυδάτωση και την ξήρανση δια καταψύξεως, όπου το νερό βρίσκεται υπό την μορφή κρυστάλλων πάγου και συνεπώς δεν είναι άμεσα διαθέσιμο για τους μικροοργανισμούς και τις αντιδράσεις μεταξύ των συστατικών των τροφίμων.

Μέτρηση της ενεργότητας του νερού

Οι διαφορετικοί βαθμοί δέσμευσης του νερού επηρεάζουν τις αναλυτικές μεθόδους μέτρησης της ολικής υγρασίας σε ένα δείγμα, με αποτέλεσμα οι μετρήσεις με τη χρήση διαφορετικών μεθόδων να μην συμφωνούν πάντα.

Δεν υπάρχει καμία συσκευή για την άμεση μέτρηση της δραστηριότητας του νερού. Εντούτοις, η δραστηριότητα του νερού ενός προϊόντος μπορεί να προσδιοριστεί από τη σχετική υγρασία του αέρα που περιβάλλει το δείγμα όταν ο αέρας και το δείγμα είναι σε ισορροπία. Ως εκ τούτου, το δείγμα πρέπει να είναι σε κλειστό χώρο όπου αυτή η αναλογία ισορροπίας μπορεί να λάβει χώρα. Μόλις συμβεί αυτό, η ενεργότητα νερού του δείγματος και η σχετική υγρασία του αέρα είναι ίσες. Η μέτρηση της υγρασίας που λαμβάνεται στην κατάσταση ισορροπίας ονομάζεται «σχετική υγρασία ισορροπίας, ή «ERH».

Επιλογή του εργαλείου μέτρησης.

Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι μέσων μέτρησης της ενεργότητας του νερού. Ο ένας χρησιμοποιεί το σημείο δρόσου κρύου καθρέφτη, ενώ ο άλλος μέτρα την σχετική υγρασία με αισθητήρες που αλλάζουν την ηλεκτρική αντίσταση ή χωρητικότητα. Καθένας έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα και οι μέθοδοι διαφέρουν ως προς την ακρίβεια, την επαναληψιμότητα, την ταχύτητα της μέτρησης, της σταθερότητας στη βαθμονόμηση, την γραμμικότητα, και την ευκολία χρήσης. Τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου του σημείου δρόσου κρύου καθρέφτη είναι η ακρίβεια, η ταχύτητα, η ευκολία χρήσης και η ακρίβεια από 0.030 έως 1.000aw, με ανάλυση $\pm 0.001aw$ και ακρίβεια $\pm 0.003aw$. Η διάρκεια της μέτρησης είναι συνήθως μικρότερη από πέντε λεπτά. Οι αισθητήρες χωρητικότητας έχουν το πλεονέκτημα του χαμηλότερου κόστους, αλλά δεν είναι συνήθως τόσο ακριβείς ή τόσο γρήγοροι όσο η μέθοδος του σημείου δρόσου κρύου καθρέφτη. Μετρά το φάσμα της ενεργότητας του νερού από μηδέν έως 1,00 aw, με ανάλυση $\pm 0.005aw$ και ακρίβεια $\pm 0,015$ και απαιτούν συνήθως 30 έως 90 λεπτά για να φθάσει το δείγμα σε συνθήκες σχετικής ισορροπίας.

Αναλυτικότερα, η στην μέθοδος του σημείου δρόσου κρύου καθρέφτη, ένα δείγμα εξισορροπείται μέσα σε ένα σφραγισμένο θάλαμο που περιέχει έναν καθρέφτη, έναν οπτικό αισθητήρα, έναν εσωτερικό ανεμιστήρα και έναν αισθητήρα θερμοκρασίας με υπέρυθρες ακτίνες. Σε κατάσταση ισορροπίας, η σχετική υγρασία του αέρα στο θάλαμο είναι ίδια με τη δραστηριότητα του νερού του δείγματος. Ένας θερμοηλεκτρικός ανιχνευτής (Peltier) ελέγχει με ακρίβεια την θερμοκρασία του καθρέφτη. Ένας οπτικός αισθητήρας ανάκλασης ανιχνεύει το ακριβές σημείο στο οποίο η πρώτη συμπύκνωση εμφανίζεται επάνω στον καθρέφτη. Μία δέσμη υπέρυθρου φωτός κατευθύνεται πάνω στον καθρέφτη και ανακλάται πίσω σε ένα φωτοανιχνευτή, ο οποίος ανιχνεύει τη μεταβολή της ανακλάσεως όταν λαμβάνει χώρα κάποια συμπύκνωση. Ένα θερμοζεύγος το οποίο επισυνάπτεται στο κάτοπτρο μετρά με ακρίβεια τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου. Ο εσωτερικός ανεμιστήρας χρησιμεύει στην κυκλοφορία του αέρα, η οποία μειώνει τον χρόνο ισορροπίας των ατμών χρόνος και ελέγχει το όριο αγωγιμότητας στο επιφανειακό στρώμα του καθρέφτη. Επιπλέον, ένας αισθητήρας θερμοσυστοιχίας (υπέρυθρο θερμόμετρο) μετρά τη θερμοκρασία της επιφάνειας του δείγματος. Τόσο το σημείο δρόσου όσο και η θερμοκρασία του δείγματος στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της ενεργότητας του νερού. Δεδομένου ότι η μέτρηση βασίζεται στον προσδιορισμό της θερμοκρασίας, η βαθμονόμηση δεν είναι απαραίτητη, αλλά η ορθή λειτουργία της συσκευής ελέγχεται με την μέτρηση ενός πρότυπου διαλύματος αλάτος. Ο καθρέφτης είναι εύκολα προσβάσιμος και καθαρίζεται σε λίγα λεπτά.

Οι **αισθητήρες χωρητικότητας** χρησιμοποιούν έναν αισθητήρα κατασκευασμένο από ένα υγροσκοπικό πολυμερές και ένα κύκλωμα το οποίο δίνει ένα σήμα ανάλογο του ERH. Ο αισθητήρας μετρά την ERH του αέρα αμέσως γύρω από αυτόν. Αυτό το ERH είναι ίσο με δείγμα μόνο εφόσον οι θερμοκρασίες του δείγματος και του αισθητήρα είναι ίδιες. Δεδομένου ότι τα μέσα αυτά χρησιμοποιούν ένα ηλεκτρικό σήμα σε αναλογία με την σχετική υγρασία, απαιτούν βαθμολόγηση η οποία γίνεται με γνωστά πρότυπα διαλύματα αλάτων. Χρειάζονται

μεταξύ 30 και 90 λεπτά για να φθάσει το σύστημα σε θερμοκρασιακή ισορροπία ενώ για ακριβείς μετρήσεις απαιτείται καλός έλεγχος της θερμοκρασίας.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΛΟΓΩ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΟΞΥΓΟΝΟ ΚΑΙ ΥΔΡΑΤΜΟΥΣ

Οι ιδιότητες φραγμού των εύκαμπτων μεμβρανών διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της διάρκειας ζωής (shelf life, SL) των συσκευασμένων τροφίμων. Στην πραγματικότητα, οι χρησιμοποιούμενες στην συσκευασία των τροφίμων πολυμερείς μεμβράνες, ελέγχουν το ρυθμό με τον οποίο οι μικρές μοριακού βάρους ενώσεις διαπερνούν μία συσκευασία. Έτσι, οι μεμβράνες αυτές μπορούν να επιβραδύνουν πολλά από τα επιβλαβή φαινόμενα μεταφοράς μάζας που ευθύνονται για την μη υποβάθμιση και τελικά την μη-αποδοχή της ποιότητας ενός συσκευασμένου προϊόντος. Γενικά, οι ιδιότητες μεταφοράς μάζας για τις πολυμερείς μεμβράνες προσδιορίζονται σχετικά απλά με την αξιολόγηση του συντελεστή διαπερατότητας ενός δεδομένου πολυμερικού συστήματος διάχυσης. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς οπουδήποτε ο συντελεστής διαπερατότητας δεν εξαρτάται από τις οριακές συνθήκες του φιλμ συσκευασίας. Για παράδειγμα, αυτή είναι η περίπτωση με την διαπερατότητα των αερίων μέσω άμορφων μεμβρανών, όπως το πολυαιθυλένιο. Στην πραγματικότητα, σε αυτές τις περιπτώσεις, ο συντελεστής διάχυσης είναι σταθερός επειδή τα μόρια των αερίων δεν αλλάζουν, σε σημαντικό βαθμό, τον ελεύθερο όγκο του πολυμερούς.

Η προσέγγιση αυτή όμως αποτυγχάνει οπουδήποτε η διαπερατότητα εξαρτάται από τη μερική πίεση του αερίου που διαπερνά την συσκευασία, όπως είναι η περίπτωση της μεταφοράς υδρατμών μέσω μετρίως υδρόφιλων πολυμερών. Στην πραγματικότητα, τα μόρια του νερού ενεργούν ως πλαστικοποιητές που αυξάνουν την μακρομοριακή κινητικότητα του πολυμερούς. Ως συνέπεια, τόσο οι συντελεστές διαλυτότητας ή διάχυσης και, κατά συνέπεια, ο συντελεστής διαπερατότητας, εξαρτώνται από την δραστικότητα του νερού.

Υπολογισμός του χρόνου ζωής με την χρήση μαθηματικών μοντέλων πρόβλεψης.

Τα μοντέλα περιγραφής του χρόνου ζωής βασίζονται στις ιδιότητες μεταφοράς μάζας σε σχέση με την διαδικασία υποβάθμισης των τροφίμων. Οι εξισώσεις μπορεί να συνδυαστούν για να προβλέψουμε διάρκεια ζωής των τροφίμων. Έτσι, αποτελούν ένα γενικά αναγνωρισμένο και χρήσιμο εργαλείο είτε για την πρόβλεψη ή απλά για τον υπολογισμό του χρόνου ζωής των συσκευασμένων τροφίμων.

Αρχικά, ένα ποσοτικό μέτρο της ποιότητας των τροφίμων και μια οριακή τιμή για αυτό είναι απαραίτητα. Αυτό που χρειάζεται περισσότερο είναι μια λειτουργία, μία σχέση, που να σχετίζει την ποιότητα των τροφίμων με το χρόνο αποθήκευσής τους. Για να οριστεί λοιπόν η σχέση μεταξύ της ποιότητας των τροφίμων και του χρόνου αποθήκευσης, υπάρχουν δύο πιθανοί τρόποι. Ο πιο γρήγορος τρόπος να εξαχθεί ένα μοντέλο SL είναι να παρέχει άμεσα μια εξίσωση που συσχετίζει την ποιότητα και τον χρόνο αποθήκευσης (δηλαδή, άμεσο μοντέλο). Υπάρχουν διάφοροι τύποι στην βιβλιογραφία, όπως η πολυωνυμική εξίσωση (I.1), η εκθετική εξίσωση (I.2), και η εξίσωση δύναμης (I.3), Παρατίθενται μερικά παραδείγματα:

$$FQ(t) = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 + \dots + a_n \cdot t^n, \quad (I.1)$$

$$FQ(t) = a_0 \cdot \exp(-a_1 \cdot t), \quad (I.2)$$

$$FQ(t) = a_0 \cdot t^{a_1} \quad (I.3)$$

όπου $FQ(t)$ είναι η ποιότητα συσκευασμένων τροφίμων, a_i είναι σταθερές και t είναι ο χρόνο αποθήκευσης. Σε γενικές γραμμές, οι παράμετροι a_i δεν έχουν καμία ιδιαίτερη φυσική σημασία, δεδομένου ότι τα μοντέλα αυτά δεν βασίζονται σε μια συγκεκριμένη περιγραφή των φαινομένων που εμπλέκονται στην αποικοδόμηση των τροφίμων.

Η μηχανιστική προσέγγιση είναι ο άλλος τρόπος για τον ορισμό της σχέσης μεταξύ της ποιότητας των τροφίμων και του χρόνου αποθήκευσης. Συνίσταται στην αρχική ταυτοποίηση όλων των φαινομένων που εμπλέκονται στη διαδικασία φθοράς και που επηρεάζουν τα συσκευασμένα τρόφιμα κατά την αποθήκευση. Στη συνέχεια, παρέχει μια ποσοτική περιγραφή για κάθε ένα από αυτά, και, τέλος, συνδυάζει όλες αυτές τις πληροφορίες σε ένα ενιαίο σύνολο συνήθως διαφορικών εξισώσεων. Τα φαινόμενα υποβάθμισης μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο κύριες ομάδες: μεταφοράς μάζας της συσκευασίας και υποβάθμισης των τροφίμων. Ως παράδειγμα, η εξίσωση που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του ποσού μιας ένωσης χαμηλού μοριακού βάρους μεταξύ του εσωτερικού και τού εξωτερικού μίας εύκαμπτης συσκευασίας υπό συνθήκες σταθερής κατάστασης έχει την ακόλουθη μορφή: $J_{ss} = P \cdot X \cdot \Delta p / l$

όπου J_{ss} είναι η σταθερή κατάσταση ροής, P είναι ο συντελεστής διαπερατότητας της μεμβράνης συσκευασίας, Δp είναι η μερική πίεση κατά μήκος της μεμβράνης συσκευασίας, και l είναι το πάχος του φιλμ

συσκευασίας. Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα είναι η απλότητα και η εμπειρική προσέγγιση. Επίσης, το ότι αυτά τα μοντέλα δίνουν μια ποσοτική περιγραφή του κάθε εμπλεκόμενου φαινομένου και ως εκ τούτου, μπορούν επίσης να παρέχουν προβλέψεις για κάθε γεγονός που λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης.

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Μαθηματική απεικόνιση της αλλοίωσης των τροφίμων (Food Deterioration Modeling)

Η επιδείνωση της ποιότητας των συσκευασμένων τροφίμων κατά την αποθήκευση είναι το άλλο στοιχείο ενός μηχανιστικού μοντέλου προσδιορισμού του χρόνου ζωής των προϊόντων. Στην πραγματικότητα, αρκετές εξισώσεις έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία που προσπαθούν να περιγράψουν τα φαινόμενα που ευθύνονται για την απώλεια της ποιότητας των τροφίμων κατά την αποθήκευση. Για παράδειγμα, προτάθηκε από τον T. Labuza ο υπολογισμός της έκτασης της οξειδωσης σε αποξηραμένα τρόφιμα, με την χρήση της αντίδρασης οξειδωσης σε τρόφιμα υπό διαφορετική μερική πίεση υδρατμών και οξυγόνου στον ελεύθερο χώρο εσωτερικά της συσκευασίας. Άλλα παραδείγματα είναι η ισόθερμη προσρόφηση των υδρατμών, η οποία χρησιμοποιείται για να δείξει την απώλεια της τραγανότητας σε προϊόντα νιφάδων σιτηρών πρωινού κατά την αποθήκευση.

Ενώ, η ελάχιστη επεξεργασία δίνει πρόσθετη αξία σε φρούτα και λαχανικά από την άποψη της ευκολίας και της εξοικονόμησης χρόνου, ωστόσο, προκαλεί ταχεία φθορά με την αύξηση του ρυθμού αναπνοής, την έντονη διαπνοή, την αυξημένη ενζυματική δραστηριότητα, και τον έντονο μικροβιακό πολλαπλασιασμό μειώνοντας έτσι τον χρόνο ζωής του συσκευασμένου προϊόντος σε λίγες ημέρες. Σε προϊόντα όπως τα φρέσκα φρούτα και τα λαχανικά, επεξεργασίες κατά το πλύσιμο, την κοπή, την επεξεργασία, την απολύμανση, την συσκευασία και την αποθήκευση υπό συνθήκες ψύξης μπορούν να προκαλέσουν βλάβη στους ιστούς λαχανικών, μεταξύ άλλων θραύση των κυτταρικών τοιχωμάτων και την απώλεια των ενδοκυτταρικών ουσιών και ενζύμων. Ο ρυθμός αναπνοής ελάχιστα επεξεργασμένων φυτικών προϊόντων, που είναι ένας δείκτης της ποιότητας ωρίμανσης/αλλοίωσης τους, αυξάνει 1.2- έως 7.0-φορές, ανάλογα με την παραγωγή, την κοπή και την θερμοκρασία.

Φρεσκοκομμένα προϊόντα συνήθως αποθηκεύονται σε συνθήκες τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP – modified atmosphere packaging). Χαμηλό O₂ και αυξημένη συγκέντρωση CO₂, μαζί με χαμηλή θερμοκρασία αποθήκευσης, τείνουν να μειώσουν το ρυθμό αναπνοής του προϊόντος περιορίζοντας έτσι τις απώλειες σε βάρος και σε ξηρά ύλη. Τέτοια τροποποιημένη ατμόσφαιρα μπορεί να επιτευχθεί είτε ενεργά, γेमίζοντας τα πακέτα με συγκεκριμένα μείγματα αερίων, ή παθητικά, ως συνέπεια της αναπνευστικής δραστηριότητας του συσκευασμένου προϊόντος, των μεταβολών σε O₂ και CO₂ λόγω κατανάλωσης και παραγωγής των προϊόντων, καθώς και της μεταφοράς αερίου μέσω του υλικού συσκευασίας. Ένας κατάλληλος συνδυασμός των χαρακτηριστικών του προϊόντος και των τιμών της διαπερατότητας των υλικών ορίζει τελικά την κατάλληλη ατμόσφαιρα εντός των συσκευασιών ανά περίπτωση. Εκτός από την διαπερατότητα, πρέπει επίσης να εξεταστεί η εκλεκτικότητα των πολυμερών της συσκευασίας σε αέρια. Οι συγκεντρώσεις αερίων στην κατάσταση ισορροπίας μεταξύ του συσκευασμένου προϊόντος και του περιβάλλοντος, εξαρτάται επίσης από το βάρος του προϊόντος, την επιφάνεια-εμβαδό διαπνοής, και την θερμοκρασία αποθήκευσης. Δεδομένου ότι η απώλεια της ποιότητας των ελάχιστα επεξεργασμένων φρούτων καθορίζεται κυρίως από φυσιολογικά γεγονότα (δηλαδή, αυξημένη αναπνοή), είναι υψίστης σημασίας να δημιουργηθούν οι συνθήκες μέσα στα πακέτα οι οποίες θα μπορούσαν να επιβραδύνουν τη διαδικασία της αναπνοής. Διάφορα μοντέλα είναι διαθέσιμα στη βιβλιογραφία για να περιγράψει το ρυθμό αναπνοής σε προϊόντα, τα περισσότερα από αυτά αναπτύχθηκαν με βάση την εξίσωση Michaelis-Menten.

Εκτίμηση του χρόνου ζωής των ευαίσθητων στην υγρασία προϊόντων.

Βασίζεται στον υπολογισμό της διαθέσιμης υγρασίας η οποίος έχει διέλθει της μεμβράνης του πολυμερούς και βρίσκεται διαθέσιμη για το προϊόν στον εσωτερικό της συσκευασίας χώρο. Σε κάθε στιγμή (t) η περιεκτικότητα σε υγρασία ενός προϊόντος κάτω από συγκεκριμένες και σταθερές εξωτερικές συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, εξαρτάται από το ισοζύγιο της περιεκτικότητας της υγρασίας και τη διαπερατότητα της συσκευασίας.

$$M_t = f(M_{eq}, P)$$

όπου,

- M_t = η περιεκτικότητα σε υγρασία τη χρονική στιγμή t
- M_{eq} = το ισοζύγιο της περιεκτικότητας της υγρασίας του προϊόντος, (M_{eq} = f(RH_{eq}))
- P = η σταθερά διαπερατότητας της συσκευασίας

Οι παραδοχές που θα πρέπει να γίνουν για την εκτίμηση του χρόνου ζωής ενός ευαίσθητου στην υγρασία προϊόντος είναι:

- α) ο χρόνος ζωής εξαρτάται αποκλειστικά από την περιεκτικότητα του προϊόντος σε υγρασία,
- β) η περιεκτικότητα σε υγρασία του προϊόντος θα βρεθεί γρήγορα σε ισορροπία με τη εσωτερική της συσκευασίας σχετική υγρασία,
- γ) η σχετική υγρασία εσωτερικά της συσκευασίας καθορίζεται μόνο από τη διαπερατότητα της συσκευασίας, και
- δ) η σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας σε υγρασία ενός προϊόντος και της σχετικής υγρασίας εσωτερικά του πακέτου μπορεί να παρασταθεί με μια ισόθερμη καμπύλη ισορροπίας.

Ο χρόνος ζωής ενός ευαίσθητου στην υγρασία προϊόντος μπορεί να προβλεφθεί αφού μελετηθούν και περιγράψουν δύο φαινόμενα:

- α) η μεταφορά των υδρατμών δια μέσω της συσκευασίας και
- β) η απόκτηση του νερού από το προϊόν.

Το πρώτο φαινόμενο περιγράφεται από την ικανότητα διάλυσης και διάχυσης του νερού στο πολυμερές, ο συνδυασμός των οποίων θα μας δώσει τον συντελεστή διαπερατότητας P. Το δεύτερο φαινόμενο περιγράφεται από τις ισόθερμες καμπύλες εξισορρόπησης της υγρασίας. Η ιδέα της περιεκτικότητας της υγρασίας κατά την ισόθερμη εξισορρόπηση (M_{eq}) είναι χρήσιμη στην εφαρμογή μαθηματικών σχέσεων (μοντέλων) πρόβλεψης του χρόνου ζωής ενός προϊόντος. Η M_{eq} ορίζεται ως η ποσότητα της υγρασίας ενός προϊόντος το οποίο έχει εκτεθεί για αρκετό χρόνο σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον. Κατά τη διαδικασία αυτή και σε σχέση με την ενεργότητα νερού του και τη θερμοκρασία, το προϊόν, είτε θα κερδίσει είτε θα χάσει υγρασία κατά την έκθεσή του. Ο χρόνος που απαιτείται για να αλλάξει την περιεκτικότητά του σε υγρασία ένα προϊόν δίνεται από τον τύπο:

$$t = \frac{W}{P(T) * P_s} * \int_{M_o}^{M_t} \frac{dM}{[A_w(e) = A_w(M, T)]}$$

όπου,

| | |
|-------------------------|---|
| t = | χρόνος |
| W = | ξηρό βάρος του προϊόντος |
| P(T) = | σταθερά διαπερατότητας της συσκευασίας σε θερμοκρασία T |
| P _s = | Κορεσμένη πίεση υδρατμών σε θερμοκρασία T |
| dM = | διαφορά συγκέντρωσης υγρασίας σε δεδομένη στιγμή |
| M _o = | αρχική συγκέντρωση υγρασίας |
| M _t = | συγκέντρωση υγρασίας σε χρόνο t |
| A _w (e) = | ενεργότητα νερού εξωτερικά της συσκευασίας |
| A _w (M, T) = | ενεργότητα νερού εσωτερικά της συσκευασίας σε σχέση με τη θερμοκρασία και την υγρασία του προϊόντος |
| T = | θερμοκρασία |

Η πρόβλεψη του χρόνου ζωής ενός προϊόντος περιπλέκεται όταν η θερμοκρασία διατήρησης του δεν είναι σταθερή, οπότε η μεταβολές της θα πρέπει να συνυπολογίζονται στη μαθηματική εξίσωση πρόβλεψης.

ΣΤΑΤΙΚΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Η παρουσία ηλεκτρικών φορτίων μπορεί να είναι καταστροφική σε ένα προϊόν σε οποιοδήποτε σημείο της αλυσίδας διανομής του: στη γραμμή παραγωγής ή συσκευασίας, μεταξύ σημείων φορτοεκφόρτωσης, στα σημεία πώλησης ή κατά τη χρήσης του. Ο στατικός ηλεκτρισμός είναι εξ ορισμού η συσσώρευση φορτίου σε ένα αντικείμενο. Κάτω από κανονικές συνθήκες η ποσότητα του θετικού φορτίου που έχει ένα σώμα είναι ίση με την ποσότητα του αρνητικού φορτίου και το σώμα εμφανίζεται ηλεκτρικά ουδέτερο. Ηλεκτρικά φορτία παράγονται είτε με την τριβή η οποία έχει σαν αποτέλεσμα την μεταφορά ηλεκτρονίων από την θετικά φορτισμένη προς την αρνητικά φορτισμένη επιφάνεια, είτε κατά την παρουσία ενός αγωγού σε ηλεκτρικό ή μαγνητικό πεδίο, όπου δημιουργείται το φαινόμενο της πόλωσης. Και δύο αιτίες έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία στατικού ηλεκτρισμού.

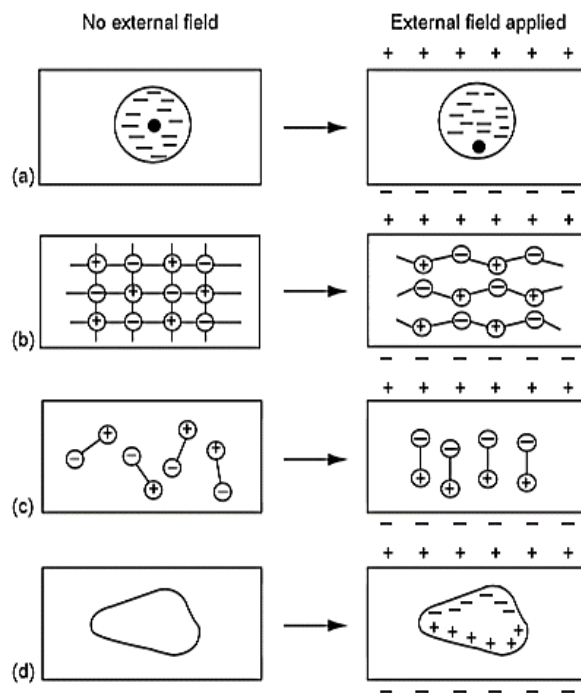


FIGURE 1 Schematic illustrations of polarization mechanisms. (a) Electronic displacement. (b) Ionic displacement. (c) Dipole orientation. (d) Space charge.

Το αρνητικό φορτίο είναι εξαιτίας της μεγάλης συγκέντρωσης ηλεκτρονίων ενώ το θετικό οφείλεται στην έλλειψη τους. Αυτό το μέγεθος, η συγκέντρωση δηλαδή του φορτίου, μετράτε σε Volt. Βασική ιδιότητα του ηλεκτρικού φορτίου είναι ότι είναι κβαντισμένο, δηλαδή όλες οι ποσότητες του εμφανίζονται σε ακέραια πολλαπλάσια μιας στοιχειώδους ποσότητας ηλεκτρικού φορτίου, ίση με το φορτίο που έχει το ηλεκτρόνιο των σωμάτων (e). Η τιμή του φορτίου ακόμα, δεν εξαρτάται από το εάν το φορτίο βρίσκεται σε κίνηση ή ακινησία. Οι ιδιότητες αυτές εκφράζονται με τον νόμο της διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου, όπου σε ένα κλειστό σύστημα το ολικό φορτίο είναι ίσο με το αλγεβρικό άθροισμα των θετικών και αρνητικών φορτίων και παραμένει αναλλοίωτο ανεξάρτητα από τις διαδικασίες που γίνονται μέσα στο σύστημα. Με την αύξηση της συγκέντρωσης και την παρουσίας διόδου, το φορτίο μπορεί να ρεύσει προς μια κατεύθυνση δημιουργώντας έτσι ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο και ουσιαστικά ευθύνεται για τις προκαλούμενες ζημιές στα ευαίσθητα αντικείμενα εφ' όσον το ηλεκτρικά φορτισμένο αντικείμενο μπορεί να αλληλοεπιδράσει με άλλο φορτισμένο σώμα. Στους αγωγούς, όπως τα μέταλλα, η ροή του φορτίου είναι ομοιόμορφη σε όλη τη επιφάνεια καθώς τα ιόντα απωθούν το ένα το άλλο. Η συγκέντρωση του φορτίου είναι μεγαλύτερη σε μη-αγωγούς και συνεπώς και το ρίσκο για ζημιά. Το φαινόμενο της πόλωσης ενός αγωγού και η παραγωγή φορτίου είναι πιο δύσκολο να ανιχνευθεί. Οι πιο κοινές πηγές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων είναι οι ηλεκτρικοί κινητήρες, τα ζεστά καλώδια, οι μετασχηματιστές, οι υπερθερμασμένες λάμπες, και γενικά κάθε συσκευή που λειτουργεί με εναλλασσόμενο ρεύμα.

Ο όρος ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή (electromagnetic interference, EMI), χρησιμοποιείται για να περιγράψει συνολικά το ενοχλητικό φαινόμενο των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Ο όρος παρεμβολή ραδιοσυχνοτήτων (radio frequency interference, RFI), χρησιμοποιείται για να περιγράψει την παρεμβολή από απομακρυσμένα στατικά φορτία, τα οποία παράγουν ράδιο-κύματα. Η μόνη διαφορά μεταξύ EMI και RFI είναι το ότι η συχνότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που παράγεται από EMI πηγές, είναι σχεδόν πάντα 60 κύκλοι ανά δευτερόλεπτο (Hz) ενώ από RFI πηγές μπορεί να φτάσει σε χιλιάδες κύκλους ανά δευτερόλεπτο (kHz). Αν και ουσιαστικά τα δύο πεδία είναι το ίδιο, ο διαχωρισμός μεταξύ τους γίνεται λόγω των διαφορετικών ζημιών τις οποίες παράγουν, λόγω διαφοράς στη συχνότητα. Τα πεδία EMI σπάνια εκτείνονται σε απόσταση μερικών μέτρων από την πηγή, ενώ τα πεδία RFI μπορούν να εκτείνονται σε πολλά χιλιόμετρα, αλλά είναι πιο ασθενή. Είναι μάλλον ασυνήθιστο αυτά πεδία ESD, EMI και RFI να παρουσιάζονται μαζί.

Ζημιές και αντιμετώπιση.

Η ζημιά που μπορεί να προκληθεί λόγω των πιο πάνω φαινομένων δεν είναι ορατή και συνήθως αποδίδεται σε άλλες αιτίες, όπως διαφορές τάσης του ηλεκτρικού ρεύματος, σε προβλήματα κατασκευής ή στη συντήρησή του. Ο στατικός ηλεκτρισμός υπήρξε από παλιά σοβαρή αιτία φωτιάς και εκρήξεων σε βιομηχανίες όπως οι

μύλοι σιτηρών και εκρηκτικών, αντίστοιχα. Ο έλεγχος της σκόνης, η επιλογή των υλικών και απλές λύσεις μπορούσαν να εφαρμοστούν για την αντιμετώπιση του προβλήματος σε αυτές τις βιομηχανίες. Τα πρώτα ηλεκτρονικά συστήματα ήταν μεγάλα και αρκετά στιβαρά ώστε να είναι ανεπηρέαστα από το φαινόμενο του στατικού ηλεκτρισμού. Όμως, με μικρότερες και ταχύτερες συσκευές, ακόμα και μικρότερα σε ένταση φαινόμενα μπορούν να προκαλέσουν σημαντικά προβλήματα και να καταστρέψουν ολόκληρη τη συσκευή. Ο στρατός των Ηνωμένων Πολιτειών και η NASA ήταν οι πρώτοι που όρισαν και ποσοτικοποίησαν τα προβλήματα λόγω του στατικού ηλεκτρισμού. Η αξιοπιστία των οπλικών συστημάτων και η οικονομική ζημιά στις ΗΠΑ εκτιμάται σε 15 δισεκατομμύρια δολάρια. Πέρα από τα προβλήματα στα ηλεκτρονικά, υπήρξαν και μερικά ατυχήματα που αποδόθηκαν στο φαινόμενο αυτό. Το υπουργείο άμυνας των ΗΠΑ ήταν το πρώτο που εξέδωσε προδιαγραφές οι οποίες αποτέλεσαν τη βάση για την έρευνα και κατανόηση της προστατευτικής συσκευασίας ηλεκτροστατικής αποφόρτισης.

Οι αρχικές προσπάθειες αντιμετώπισης του προβλήματος αφορούσαν στην καλή σύνδεση και σταθεροποίηση των εξαρτημάτων, τις επιλογές κατάλληλων υφασμάτων, στον έλεγχο της σχετικής υγρασίας, στον απιονισμό του αέρα και για κάποιο διάστημα είχαν αποτέλεσμα. Στην εξέλιξη των ηλεκτρονικών, νέες μέθοδοι αντιμετώπισης έπρεπε να αναπτυχθούν για την αντιμετώπιση φορτίων 150 – 250 V. Η ανάγκη για την τεχνική κατανόηση και την ανάπτυξη τεχνικών και υλικών στο θέμα της προστασίας από το στατικό ηλεκτρισμό, οδήγησε στην ανάπτυξη της προστατευτικής συσκευασίας ηλεκτροστατικής αποφόρτισης (ESD Packaging).

Κατηγοριοποίηση των υλικών

Μια ιδιότητα των σωμάτων είναι η ηλεκτρική τους αγωγιμότητα, η οποία στα στερεά είναι άμεσα συνδεδεμένη με τα ηλεκτρικά φορτία των ατόμων κυρίως αυτών που βρίσκονται στις εξωτερικές ηλεκτρονικές στιβάδες. Έτσι στα υλικά που ονομάζονται αγωγοί, η δράση του ηλεκτρικού πεδίου προκαλεί την σχετικά ελεύθερη μετακίνηση των εξωτερικών ηλεκτρονίων (ελεύθερα ηλεκτρόνια) από άτομο σε άτομο σε συνεχή κίνηση εφόσον υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο μέσα στον αγωγό. Αγωγοί συνήθως είναι τα μέταλλα, όπως ο χαλκός και ο σίδηρος. Στα υλικά όμως που ο δεσμός των ηλεκτρονίων με τον πυρήνα είναι αρκετά ισχυρός και η δράση ενός ηλεκτρικού πεδίου έχει σαν αποτέλεσμα να τείνει τον δεσμό ηλεκτρονίου – πυρήνα παρά να τον σπάσει, δημιουργείται μια πόλωση και η αγωγιμότητα τους είναι εξαιρετικά χαμηλή. Τα υλικά αυτά ονομάζονται μονωτές ή διηλεκτρικά και συμπεριλαμβάνουν το διαμάντι και το χαλαζία. Τα υλικά που ονομάζονται ημιαγωγοί βρίσκονται στο ενδιάμεσο των πιο πάνω καταστάσεων. Παρουσιάζουν ηλεκτρική αγωγιμότητα πιο κοντά στους μονωτές, η οποία όμως αυξάνει με την άνοδο της θερμοκρασίας καθώς όλο και περισσότερα ηλεκτρόνια ελευθερώνονται από τα άτομα. Αντίθετα στα μέταλλα η αγωγιμότητα μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Με βάση τον τύπο της προστασίας που απαιτείται και τα διαθέσιμα υλικά, οι κατηγορίες των τύπων της προστατευτικής συσκευασίας ηλεκτροστατικής αποφόρτισης είναι:

Τύπος I. – τα υλικά του τύπου αυτού χρησιμοποιούν τα μέταλλα ή ένα φύλλο για τον φραγμό της υγρασίας ανάμεσα σε μια πολύφυλλη μεμβράνη πολυμερών υπό μορφή σακουλιών. Η ηλεκτρική τους συμπεριφορά είναι μέσα από τη δημιουργία ενός μεταλλικού «κελίου Faraday», γύρω από το προϊόν, για την προστασία από υψηλά βολταϊκά πεδία, π.χ. στατικά πεδία και ουσιαστικά όλες τις παρεμβολές από ράδιο-συχνότητες. Τα υλικά αυτά είναι φύλλα αλουμινίου μέσα σε πολύφυλλες μεμβράνες υλικών Τύπου II με επιφανειακή αντίσταση και δυνατότητα θερμοσυγκόλλησης. Αυτή η κατασκευή παρέχει ένα καλό «κελί Faraday», το οποίο προστατεύει μέσω του μετάλλου αλλά παράλληλα παρέχει και αντιστατική μόνωση μεταξύ του προϊόντος και του μεταλλικού φύλλου από τα υλικά Τύπου II. Τα υλικά αυτά είναι γνωστά σαν υλικά ηλεκτροστατικής μόνωσης (electrostatic barrier materials).

Τύπος II. – τα υλικά αυτά χρησιμοποιούν πλαστικές μεμβράνες (films) με δυνατό αντιστατικό παράγοντα, είτε εμποτισμένο στο εσωτερικό τους είτε επιστρωμένο στην επιφάνεια τους. Ο παράγοντας αυτός θα πρέπει να έχει την κατάλληλη υγροσκοπική φύση, ώστε να απορροφά και να κατακρατά τα ίχνη της ατμοσφαιρικής υγρασίας η οποία ουσιαστικά παρέχει το στρώμα εκείνο που θα δώσει την προστασία από το ηλεκτροστατικό φορτίο. Τα υλικά αυτά είναι γνωστά σαν υλικά «εξανέμισης» του στατικού ηλεκτρισμού (static-dissipative materials).

Τύπος III. – τα υλικά αυτά χρησιμοποιούν ένα μεταλλοποιημένο στρώμα, συχνά εναποτιθέμενο υπό μορφή ατμών νικελίου ή αλουμινίου σε μια πολυεστερική μεμβράνη, ώστε να δημιουργεί το φαινόμενο του «κελίου Faraday». Όμως, επειδή το στρώμα του εναποτιθέμενου μετάλλου είναι αρκετά λεπτό ώστε να έχει περιορισμένη διαφάνεια, η ραδιο-συχνότητα που μπορούν να αποδυναμώσουν είναι > 10 dB. Αυτή είναι και η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ των υλικών Τύπου I και III. Όπως και με τα υλικά τύπου I, τα υλικά τύπου III είναι πολυστρωματικές μεμβράνες με τα υλικά Τύπου III ανάμεσα, ιδιότητες επιφάνειας των υλικών Τύπου II. Σε

αναγνώριση της αποδυνάμωσης μικρότερων φορτίων σε σχέση με τα υλικά Τύπου Ι ή τα υλικά ηλεκτροστατικών φραγμών μεμβράνες Τύπου ΙΙΙ, τα υλικά αυτά ονομάζονται υλικά «στατικής ασπίδας» (static shielding materials).

Οι ουσίες που προστίθενται στα υλικά τύπου ΙΙ έχουν την κοινή δομή «ουρά-κεφάλι». Η ουρά αποτελείται από 10-18 άτομα άνθρακα συνδεδεμένα μόνο με υδρογόνα, είναι το μη-πολικό μέρος της ένωσης, και άρα υδρόφοβο ή «πολυμερόφιλο», αφού προτιμά να διαλύεται στο πολυμερές. Η κεφαλή είναι πολική, υδρόφιλη και με διάθεση να μετακινηθεί εκτός του πολυμερούς, προς την επιφάνεια του. Εκεί απορροφά την ατμοσφαιρική υγρασία και την ιονίζει ασθενώς το δρόμο αγωγής του ηλεκτρικού φορτίου, απαραίτητο στοιχείο στην αποδόμηση του στατικού ηλεκτρισμού. Στην πορεία της προσπάθειας παραγωγής τέτοιων υλικών φάνηκε εξ αρχής ότι λόγω της μετανάστευσης της ουσίας από το πολυμερές, έπρεπε να ενσωματωθεί σε αυτό σχετικά μεγάλη ποσότητα της ουσίας ώστε η περιεκτικότητα της να είναι σε αποδεκτά επίπεδα για κάποιο χρόνο μετά την παραγωγή του υλικού και να είναι αυτό αποδοτικό στη χρήση του. Η μεγάλες όμως ποσότητες έκαναν τα υλικά γλοιώδη και λιπαρά στην αφή και εμφάνιση της επιφάνειάς του. Σε δεύτερη φάση επιστρώθηκαν μεμβράνες με τεταρτοταγείς αμίνες αρχικά οι οποίες είναι εξαιρετικοί αντιστατικοί παράγοντες αλλά αρκετά ασύμβατες με μη-πολυμερή υλικά. Για την αντιμετώπιση της ασυμβατότητας αυτής, οι αμίνες τοποθετούνταν σε πολικά ακρυλικά πολυμερή τα οποία κατόπιν επιστρωνόταν στο μη πολικό πολυμερές. Οποιαδήποτε όμως επαφή με το νερό ξεπλένει τις ουσίες αυτές, μειώνοντας την δράση του υλικού. Η εξέλιξη οδήγησε στα πολυστρωματικά υλικά τα οποία παρουσιάζουν το βασικό πλεονέκτημα της ελεύθερης επιμόλυνσεων επιφάνειάς τους. Στην περίπτωση των πολυκαρβονικών πολυμερών (PC) βρέθηκε ότι όταν ουσίες όπως οι αμίνες μεταφέρονταν σε αυτό, διαλύονται στην σκληρή και συμπαγή μάζα του. Καθώς το PC δεν μπορεί να διογκωθεί, τείνει να παρουσιάζει ρωγμές και τελικά να σπάει. Οι αμίνες αντικαταστάθηκαν από τα αιθοξυλιωμένα αμιδία και τις τεταρτογενείς αμίνες τα οποία είναι πολύ πιο συμβατά με τα PC και επιπλέον έχουν και πολύ καλή συμπεριφορά έναντι του στατικού ηλεκτρισμού.

| | |
|-----------------|-------------------------|
| ΘΕΤΙΚΟ | ανθρώπινα χέρια |
| + | γούνα λαγού |
| | γυαλί |
| | ανθρώπινες τρίχες |
| | νάυλον |
| | μαλλί |
| | γούνα λαγού |
| | μόλυβδος |
| | μετάξι |
| | αλουμίνιο |
| | χαρτί |
| | βαμβάκι |
| | ατσάλι |
| | ξύλο |
| | ήλεκτρον |
| | κυρώδεις ουσίες μόνωσης |
| | σκληρό ελαστικό |
| | νικέλιο, χαλκός |
| | ασήμι |
| | χρυσός, πλατίνα |
| | θείο |
| | ρεγιόν |
| | πολυεστέρας |
| | σελουλόζη |
| | πολυουρεθάνη |
| | πολυαιθυλένιο |
| | πολυπροπυλένιο |
| | PVC |
| - | σιλικόνη |
| ΑΡΝΗΤΙΚΟ | τεφλόν |

Στον πίνακα παρατίθενται μια σειρά υλικών κατανεμημένα από το θετικότερο προς το αρνητικότερο, με βάση την πολικότητα των φορτίων που παράγονται κατά την τριβή δύο κομματιών του ίδιου υλικού. Πέρα από λόγους παρουσίας, η σειρά αυτή των υλικών έχει μικρή πρακτική αξία καθώς υλικά που βρίσκονται κοντά το ένα στο άλλο μπορούν αν ανταλλάξουν φορτία και το μέγεθος των φορτίων μεταξύ των δυο υλικών μπορεί να διαφέρει κατά πολύ. Παρ' όλα αυτά το κύριο σημείο του πίνακα είναι να δείξει ότι ημιαγωγοί και υλικά συσκευασίας βρίσκονται πολύ χαμηλά στη λίστα με τα μέταλλα να βρίσκονται ψηλά και τα ανθρώπινα χέρια ακόμα ψηλότερα. Αυτό δείχνει και τη σημασία των ανθρώπινων χειρισμών στην παραγωγή στατικού φορτίου και την ηλεκτροστατική καταστροφή ηλεκτρονικών στοιχείων.

Δοκιμές

Επιφανειακή αντίσταση είναι η αντίσταση σε ohms μετρούμενη μεταξύ δύο παράλληλα τοποθετημένων ηλεκτροδίων στις δύο πλευρές ενός τετραγώνου. Χρησιμοποιείται για την κατηγοριοποίηση των υλικών σε αγωγούς με τιμές 10^5 Ω/τετράγωνο, όπως τα μέταλλα, σε μονωτές με πάνω από 10^{12} Ω/τετράγωνο όπως τα περισσότερα πλαστικά και ημιαγωγούς. Τα υλικά εξανεισμμού του στατικού ηλεκτρισμού (static-dissipative materials) παρουσιάζουν ενδιάμεσες τιμές μεταξύ 10^5 και 10^{12} Ω/τετράγωνο. Η τιμή αυτή δεν μπορεί να είναι ακριβής στην περίπτωση πολύφυλλων μεμβρανών, όπως και δεν λαμβάνει υπ' όψη το πάχος των υλικών. Γι' αυτό δεν μπορεί να θεωρηθεί πολύ αξιόλογη μέτρηση. Μία ακόμα μέτρηση που χρησιμοποιείται στην αξιολόγηση των υλικών αυτών είναι η μέτρηση του χρόνου που μεσολαβεί για την μείωση του ηλεκτρικού φορτίου από 5.000 V στο 1% της τιμής, δηλαδή σε 50 V. Η επίδραση της σχετικής υγρασίας στη συμπεριφορά ενός υλικού σε σχέση με τα ηλεκτρικά φορτία, μετριέται τοποθετώντας το υλικό σε συνθήκες 10 ± 3 % RH και 72°F για 48 ώρες πριν τη μέτρηση της επιφανειακής αντίστασης και του χρόνου μείωσης του ηλεκτρικού φορτίου.

| ΤΡΟΠΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ | ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ ΣΕ VOLT | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| | 10 - 20 % ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ | 65 - 90 % ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ |
| Περπατώντας σε χαλί | 35000 | 1500 |
| Περπατώντας σε πάτωμα βινιλίου | 12000 | 250 |
| Φάκελοι από βινίλιο | 7000 | 600 |
| Κοινή πλαστική σακούλα | 20000 | 1200 |
| Καρέκλα γραφείου με πολυουρεθάνη | 18000 | 1500 |

Λόγω της διαφοράς της συμπεριφοράς απέναντι στα ηλεκτρικά φορτία μεταξύ παλιών και νέων υλικών, οι δοκιμές γίνονται με τη μέθοδο της επιταχυνόμενης γήρανσης τοποθετώντας το υλικό στους 160°F για τρεις μέρες πριν τις μετρήσεις. Για μονοστρωματικά υλικά τύπου II αυτές οι συνθήκες αντιστοιχούν σε κανονικό χρόνο 6 με 12 μηνών.

Αντιστατικές ουσίες

Καθώς οι αντιστατικές ουσίες που προστίθενται στα υλικά απορροφούν υγρασία την οποία ιονίζουν ασθενώς, μπορεί να προκαλέσουν σκουριασμα στις μεταλλικές επιφάνειες των συσκευών τις οποίες καλύπτουν. Η εργαστηριακή μέθοδος ελέγχου της σκουριάς ή του επιφανειακού αποχρωματισμού που σχετίζεται με το φαινόμενο, γίνεται αφού φέρουμε σε επαφή όποιο από τα πιο πάνω υλικά μας ενδιαφέρει με τα υλικά συσκευασίας για 72 ώρες σε συνθήκες 120°F και 65 % RH.

Πολυμερή, όπως το πολυαεθυλένιο, παρουσιάζουν από μόνα τους αντιστατικές ιδιότητες. Καθώς όμως είναι σκληρά και αδιάλυτα, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές συσκευασίας. Πιο χρήσιμα για τέτοιες εφαρμογές αποδείχτηκαν υλικά όπως τα πολυ-αμίδια οξειδίων του αιθυλενίου (poly - amide ethylene oxide) τα οποία έχουν υδρόφιλα μέρη (πολυ-οξείδια του αιθυλενίου, PEO), σε μια βάση πολυ-αμιδίου (nylon). Το μήκος του τμήματος PEO και ο τύπος του nylon που θα χρησιμοποιηθούν, θα καθορίσουν την ισορροπία μεταξύ της υγρασίας που βοηθά στην αύξηση της επιφανειακής αντίστασης και στην υγρασία που εμποδίζει την θερμοσυγκόλληση του υλικού για τη σχηματοποίηση του. Το βασικό μειονέκτημα των υλικών αυτών είναι το κόστος.

Νιφάδες αλουμινίου, σκόνη άνθρακα, νιφάδες άνθρακα, ίνες άνθρακα επικαλυμμένες με νικέλιο, ίνες ανοξειδωτού άνθρακα και άλλα, μπορούν να ενσωματωθούν σε κοινά πολυμερή, καθιστώντας τα έτσι μεταλλικά στην ηλεκτρική αγωγιμότητα. Τα πρακτικά προβλήματα από την εφαρμογή αυτή συνοψίζονται στην προκαλούμενη θαμπάδα των υλικών και την μικρή διαπερατότητα στο φως, τις ηλεκτρικές ιδιότητες, την αξιοπιστία στην παραγωγή με τη χρήση εξωθητή (extruder) και το κόστος. Τέτοια υλικά χρησιμοποιούνται λιγότερο σε μορφή μεμβρανών και περισσότερο σε παραγωγή υλικών σε καλούπια με συμπίεση ή ενέσιμα.

DRAFT

ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ

Τα βασικότερα σημεία εμπλοκής του μηχανικού συσκευασίας θα μπορούσαν να συνοψιστούν στην ιδέα, την «μετάφραση» της ιδέας σε τεχνικές περιγραφές, την επικοινωνία με τους προμηθευτές, την υλοποίηση της ιδέας, την μεταφορά της στο εργοστάσιο, στην συμβατότητα με το προς συσκευασία προϊόν, στην προστασία του και την παράταση των ποιοτικών του χαρακτηριστικών για το μεγαλύτερο δυνατόν διάστημα, την ανάπτυξη εικαστικών, την κιβωτιοποίηση, παλλετοποίηση και διακίνηση των προϊόντων με τις λιγότερες δυνατές φθορές. Η εκτέλεση ενός έργου είναι μια δραστηριότητα μοναδική όχι μόνο λόγω των εμπειριών, αλλά και διότι είναι μια σειρά από διαδικασίες οι οποίες δεν επαναλαμβάνονται ποτέ (τουλάχιστον με τον ίδιο τρόπο). Ακόμη και αν ένα έργο επαναληφθεί, ακόμη και αν είναι ακριβώς το ίδιο από όλες τις απόψεις, οι συνθήκες δεν θα είναι οι ίδιες είτε από άποψη συμμετεχόντων, είτε διαθεσιμότητας πόρων, είτε περιβάλλοντος και συνθηκών.

Κάθε επιχείρηση αρχίζει να δραστηριοποιείται στην αγορά αφού έχει ορίσει την αποστολή της και έχει τοποθετήσει τους στόχους. Οι στόχοι εκφράζουν το που θέλει να βρεθεί σε κάποια στιγμή στο μέλλον. Το σημείο στο οποίο στοχεύει με την δραστηριότητά της (σε συγκεκριμένη περίοδο). Οι στόχοι επιτυγχάνονται με στρατηγικές και έργα (projects). Οι στρατηγικές χρησιμοποιούνται για να δηλώσουν ένα γενικό πρόγραμμα δράσης για την επίτευξη των στόχων και δίνουν την γενική κατεύθυνση μέσα στην οποία θα επιχειρηθεί να υλοποιηθούν οι στόχοι.

Τα έργα υλοποιούνται μέσω προγραμμάτων, στο πλαίσιο των στρατηγικών, για να επιτύχουμε τους στόχους. Τα προγράμματα και τα έργα είναι εννοιολογικά ολοκληρωμένες δραστηριότητες που υλοποιούν τους στόχους. Είναι ενδιάμεσα βήματα στη πορεία προς τους στόχους και εξασφαλίζουν την επιτυχία του. Ένα έργο για να ξεκινήσει, χρειάζονται κάποιες προϋποθέσεις. Όλα ξεκινούν από μια ιδέα που εξετάζεται και αν κατ' αρχήν «ακούγεται υποσχόμενη» ή θεωρείται απαραίτητη για τη λειτουργία του οργανισμού, παραπέμπεται για λεπτομερέστερη επεξεργασία.

Τα έργα ακολουθούν μια σειρά φάσεων σε σχέση με το χρόνο με τις υπο-φάσεις τους, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι κάθε έργο περνά υποχρεωτικά από όλες αυτές τις φάσεις. Ανάλογα με το έργο η διάρκεια η σημαντικότητα και το κόστος της κάθε φάσης ποικίλει. Έτσι, μπορούμε να ορίσουμε τα εξής:

- Προκαταρκτική φάση
- Σύλληψη της ιδέας
- Μελέτη σκοπιμότητας
- Προσδιορισμός του τρόπου εκτέλεσης του έργου
- Ανάλυση του ρίσκου και επιλογή στρατηγικής
- Διαδικασία ανάθεσης
- Μελέτη
- Προμελέτη
- Οριστική μελέτη
- Υλοποίηση
- Παράδοση-Παραλαβή του έργου
-

Μια επιχείρηση όταν εκτελεί περισσότερα από ένα έργα το καθένα βρίσκεται σε διαφορετική φάση. Σε κάθε φάση χρειάζονται διαφορετικά συστήματα προγραμματισμού και ελέγχου. Επίσης αλλάζει το πακέτο των πόρων που απαιτείται. Σε κάθε φάση επανα-προγραμματίζουμε τις επόμενες και μέχρι σε ένα βαθμό επανεξετάζουμε τον τρόπο και τη στρατηγική της υλοποίησης.

Ο στόχος είναι να ξεκινάει κανείς καινούργια προϊόντα πολύ πριν φτάσει στη φάση της παρακμής. Κάθε έργο έχει σημεία κομβικά κυρίως με τις αλλαγές από φάση σε φάση. Έτσι απαιτούνται άλλες σχέσεις και άλλος τρόπος διοίκησης, ελέγχου και οργάνωσης κάθε φορά.

Με κάποιο τρόπο η επιχείρηση ανακαλύπτει ανάγκες, μερικές από τις οποίες ανακαλύπτει ότι μπορεί να ικανοποιήσει, με τη μεθοδολογία της Διοίκησης έργου. Συνήθως τα έργα προτείνονται από το λεγόμενο "Πελάτη" του έργου, δηλαδή το υπηρεσιακό στέλεχος που ανακαλύπτει την ιδέα και έχει την εξουσία να την πραγματοποιήσει. Τις περισσότερες φορές όμως οι "Πελάτες" χρειάζονται "μελέτη αναγκών" ή "μελέτη σκοπιμότητας" προκειμένου να εισηγηθούν ή όχι την πραγματοποίηση του έργου.

Επειδή η κάθε επιχείρηση έχει και τις ιδιαιτερότητές της και τον τρόπο που προσιδιάζει καλύτερα στην διαμορφωμένο σε αυτή επιχειρησιακό περιβάλλον, οι σύγχρονες μέθοδοι Διοίκησης Έργου, αποφεύγουν την λεπτομερή ανάλυση του όλου θέματος και διευκολύνουν με τον τρόπο που παρουσιάζονται την υιοθέτηση των σχετικών πρακτικών της επιχείρησης, εφόσον αυτές καλύπτουν τις βασικές αρχές της Διοίκησης Έργου.

Είναι προφανές ότι όλες οι μέθοδοι Διοίκησης, προσπαθούν να αντιμετωπίσουν το γεγονός ότι είναι στη φύση του ανθρώπου το να προσπαθεί να κατανοήσει το πρόβλημα, επιλέγοντας μία λύση ή το ακόμα χειρότερο να αναπτύσσει αυτή τη λύση, χωρίς να έχει διερευνήσει τις επιπτώσεις της σε βάθος. Φαίνεται ότι μία καλή

μέθοδος αντιμετώπισης του ανωτέρω προβλήματος, είναι η λειτουργία στα έργα «κύκλων ποιότητας» μετά το πέρας της κάθε ενδιάμεσης φάσης τους. Οι βελτιώσεις στο πέρας της κάθε φάσης, αφορούν τα δρώμενα και τα σχέδια της επόμενης φάσης.

Σχεδιασμός συσκευασίας – Καινοτομία

Με ιεραρχική σειρά τα βασικά σημεία ανάπτυξης της συσκευασίας για ένα νέο προϊόν παρουσιάζονται πιο κάτω:

Ενημέρωση των απαιτήσεων σε συσκευασία (Packaging Requirements Brief)

Η ενημέρωση των απαιτήσεων σε συσκευασία μπορεί να τεκμηριωθεί μέσα από ένα βασικό έγγραφο που καταγράφει τις απαιτήσεις του μάρκετινγκ ή/και του τμήματος ανάπτυξης νέων προϊόντων (NPD) μετατρέποντας τους σε συγκεκριμένους, επιτεύξιμους, τεχνικούς στόχους για την ανάπτυξη της συσκευασίας, από τον υπεύθυνο συσκευασίας. Το έγγραφο αυτό συντάσσεται στη φάση των «ιδεών» του προγράμματος και θα πρέπει να αναθεωρείται και να ενημερώνεται σε όλη τη διάρκεια του προγράμματος. Για να δοθεί μια επιτυχημένη κατεύθυνση έργου, οι απαιτήσεις θα πρέπει να αναπτυχθούν πλήρως κατά τη διάρκεια της φάσης αξιολόγησης του εφικτού, και να συνδεθούν με την ακολουθούμενη διαδικασία ανάπτυξης των προϊόντων. Είναι σημαντικό στην πορεία του έργου, οι οποιοσδήποτε αναπροσαρμογές των απαιτήσεων συσκευασίας θα πρέπει να κοινοποιούνται άμεσα.

Η σύνοψη των απαιτήσεων της συσκευασίας οφείλει να δίνει τις λεπτομέρειες τόσο για την πρωτογενή όσο και για την δευτερογενή συσκευασία, π.χ. τις κοστολογημένες παραμέτρους, το μέγεθος, τη μορφή, τις απαιτήσεις για καταναλωτική χρήση, τις απαιτήσεις των αλυσίδων ανεφοδιασμού, την εκτύπωση/ποιότητα & πολυπλοκότητα των γραφικών παραστάσεων, τη σύγκριση με τα προϊόντα τα ανταγωνιστών - που υπάρχει αντιστοιχία/που βελτίωση/ που απόσταση. Η σύνοψη πρέπει να λαμβάνει υπόψη οποιαδήποτε πολιτική στα πλαίσια της συσκευασίας και των χρησιμοποιούμενων υλικών έχει η εταιρία, τις οποιοσδήποτε πρόσθετες απαιτήσεις λιανοπωλητών και τις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζονται σε πιθανές διαφορετικές χώρες παρουσίας του κωδικού.

Τέλος, ανάλογα με την πολιτική της εταιρίας, θα πρέπει να υπάρξει συμφωνία για το επίπεδο εμπιστευτικότητας του προγράμματος και για το πώς η εμπιστευτικότητα θα αντιμετωπιστεί εσωτερικά με το εργοστάσιο παραγωγής του κωδικού και εξωτερικά με τους προμηθευτές των υλικών και τους συσκευαστές καθώς και άλλα συμβαλλόμενα μέρη.

Πηγές και κόστος ανάπτυξης συσκευασίας (Packaging Development Resources & Costs)

Κύριο σημείο αποτελεί η απόφαση για τον τύπο και το επίπεδο των πηγών ανάπτυξης της συσκευασίας που θα απαιτηθούν. Θα πρέπει να υπολογιστούν οι πηγές ανάπτυξης που απαιτούνται σε κάθε στάδιο του προγράμματος. π.χ.: οι εσωτερικές και εξωτερικές πηγές ανάπτυξης της συσκευασίας, όπως ο σχεδιασμός, τα δείγματα και λοιπά, οι πιθανοί πόροι για έρευνα και εάν θα καλυφθούν από τον προμηθευτή ή όχι, οι όροι του τμήματος προμηθειών σχετικά με τις συμφωνίες που έχει καθορίσει ή καλείται να καθορίσει με τους εγκεκριμένους προμηθευτές, οι πόροι των αλυσίδων εφοδιασμού και οι λοιποί πόροι (ταξίδια, συναντήσεις, κ.λπ.). Οι δαπάνες θα πρέπει να τοποθετούνται σε κάθε στάδιο του προγράμματος, και ειδικότερα οι δαπάνες παραγωγής των πρωτοτύπων (mock-ups), της δοκιμαστικής κλίμακας, και των πλήρων δειγμάτων παραγωγής, οι δαπάνες των δειγμάτων για άλλες δραστηριότητες (π.χ. έρευνα, δοκιμές), του πειραματικού σχεδιασμού και της παραγωγής. Οι απαιτήσεις και οι δαπάνες των πόρων θα πρέπει να αναθεωρούνται συνεχώς και λαμβάνεται έγκριση για οποιοσδήποτε αλλαγές και να εξασφαλίζεται η αποδοχή των δαπανών από τους σχετικούς κατόχους των προϋπολογισμών.

Επιλογή προμηθευτών (Supplier Selection)

Με βάση τις απαιτήσεις σε συσκευασία, μαζί με το τμήμα προμηθειών, θα πρέπει να προσδιοριστεί ένας κατάλογος επιλεγμένων πιθανών προμηθευτών, και σε συμφωνία με το τμήμα προμηθειών και την ομάδα του προγράμματος να τοποθετούνται τα κριτήρια με τα οποία θα γίνεται η επιλογή των προμηθευτών. Έτσι, θα εξασφαλιστεί το ποιοι προμηθευτές θα προσεγγιστούν και που θα οδηγήσει η επαφή. Είναι ευθύνη και του υπεύθυνου προμηθειών να δηλώσει στην ομάδα ανάπτυξης του έργου οι συμφωνίες με τους προμηθευτές αναφορικά με το εφικτό της υλοποίησης των απαιτήσεων συσκευασίας βάση των υπαρχουσών ή πιθανά νέων διαδικασιών κατασκευής. Το πρόγραμμα ανάπτυξης θα πρέπει να παρουσιάζεται οριστικοποιημένο ώστε να μπορεί να επιβεβαιωθεί η ικανότητα παραγωγής και να παρασχεθούν τα απαραίτητα δείγματα και κατόπιν να οριστούν οι τρόποι οικονομικής επένδυσης, και πώς θα μοιραστούν μεταξύ εταιρίας & προμηθευτών. Είναι βασικό να τοποθετηθεί η όλη εργασία σε ένα χρονοδιαγράμματα για την επιβεβαίωση της ικανότητας και της παραγωγής πλήρους κλίμακας, και τέλος να οριστούν οι δαπάνες της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Εσωτερικά στην εταιρία και εάν για την πλήρη παραγωγή απαιτείται νέος εξοπλισμός ή οποιαδήποτε επένδυση είτε στις μονάδες παραγωγής των προμηθευτών είτε της εταιρίας, θα πρέπει να καθιερωθεί η βέλτιστη εμπορική ρύθμιση με τους προμηθευτές και θα πρέπει να γίνει η ανάλογη μελέτη πρόσβασης & κύριας επένδυση από τη διεύθυνση του εργοστασίου.

Περιβαλλοντικές απαιτήσεις (Environmental Requirements)

Όλα τα προϊόντα πρέπει να σχεδιάζονται σύμφωνα με την εταιρική πολιτική για το περιβάλλον προκειμένου να εκπληρωθούν οι υποχρεώσεις της πολιτικής αυτής και να επιτευχθούν οι επιθυμητές περιβαλλοντικές βελτιώσεις με όλα τα νέα και τα τροποποιημένα προϊόντα. Είναι σημαντικό επομένως ότι οι ακόλουθες ενέργειες να λαμβάνονται υπόψη και να τεκμηριώνονται για κάθε σχεδιασμό. Σαν βάση μπορεί να αποτελέσει η συμμόρφωση με την νομοθεσία και τις οδηγίες (π.χ. οδηγία (94/62/EK). Κάθε στοιχείο και υλικό συσκευασίας θα πρέπει να εξεταστεί ως προς, τη συμμόρφωση σε σχέση με τα βαρέα μέταλλα και τις επικίνδυνες ουσίες, την αποκατάσταση της συσκευασίας, την επαναχρησιμοποίηση της συσκευασίας, τη χρήση και διαχείριση των ανανεώσιμων πηγών των υλικών και την μείωση των ποσοτήτων των απαραίτητων για τη συσκευασία υλικών. Μπορεί να γίνει συγκριτική μέτρηση επιδόσεων της συσκευασίας έναντι των προϊόντων των ανταγωνιστών σε αναφορά με το βάρος, το υλικό, την ανακύκλωση, την επαναχρησιμοποίηση, και λοιπά.

Στα πλαίσια μιας ολοκληρωμένης μελέτης της επίδρασης της συσκευασίας στο περιβάλλον σε όλη την εφοδιαστική αλυσίδα, και κατά το σχεδιασμό της πρωτογενούς και της δευτερογενούς συσκευασίας, θα πρέπει να βελτιστοποιείται η χρησιμοποίηση των μεταφορικών μέσων, με στόχο την μείωση της απαιτούμενης ενέργειας και των εκπομπών των καυσαερίων.

Αξιολόγηση εκτύπωσης (Print Capability Check)

Όλα τα συστατικά της επιλεγμένης συσκευασίας θα πρέπει να καλύπτουν τις απαιτήσεις των γραφικών και της διακόσμησης βάσει των απαιτήσεων συσκευασίας, όπως αυτές ορίζονται από το τμήμα marketing, κυρίως. Το γραφιστικό σχέδιο θα πρέπει να είναι συμβατό με τις διαθέσιμες επιλογές της τεχνολογίας των εκτυπώσεων που είναι διαθέσιμες στην αγορά και στο επιθυμητό κόστος. Έτσι, θα πρέπει να συμφωνείται με το σχεδιαστή, τους προμηθευτές, και την ομάδα προγράμματος, η τεχνολογία εκτύπωσης που θα χρησιμοποιηθεί καθώς και οι οποιοδήποτε περιορισμοί που αυτό πιθανά να επιβάλει στο γραφιστικό σχέδιο.

Προδιαγραφές (Draft Specification)

Οι τεχνικές προδιαγραφές ή και των υλικών συσκευασίας, οι οδηγίες συσκευασίας και χειρισμού των υλικών κατά την αποθήκευση, παραγωγή και διακίνηση των προϊόντων αποτελούν βασική τεκμηρίωση σε μια οργανωμένη εταιρία. Η ύπαρξη των σχετικών φακέλων, χρησιμεύει τόσο από στα τμήματα παραγωγής και logistics της εταιρίας που επιθυμούν μια ενημέρωση ως προς τη σωστή εφαρμογή των απαιτήσεων της συσκευασίας ώστε να αποκομιστούν τα μέγιστα οφέλη και να μειωθούν οι αστοχίες και ζημιές, όσο και από το τμήμα προμηθειών το οποίο μπορεί να στηριχθεί σε αυτές και να επαναδιαπραγματευθεί ή να αναζητήσει νέες συνεργασίες.

Το σχέδιο προδιαγραφών για τη νέα συσκευασία, θα πρέπει να συμφωνείται με το μάρκετινγκ/NPD, την διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (logistics), τους προμηθευτές, την μονάδα παραγωγής/συσκευασίας, το τμήμα ανάπτυξης προϊόντων (π.χ. σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις προϊόντων/συσκευασίας), να εισάγεται στο σύστημα της εταιρίας και να λαμβάνονται από τους προμηθευτές οι τελικές δαπάνες, βάσει των σχεδίων των προδιαγραφών.

Εργαστηριακές δοκιμές μικροβιολογικής αξιολόγησης (Packaging Microbiology Evaluation)

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην βιομηχανία τροφίμων, φαρμάκων αλλά και καλλυντικών, κυρίως, η μικροβιολογική ασφάλεια της συσκευασίας η οποία και θα πρέπει να επιβεβαιώνεται για όλα τα στάδια της διαδικασίας κατασκευής και για τον συγκεκριμένο συνδυασμό προϊόν-συσκευασία σε όλη την διάρκεια της ζωής του προϊόντος. Αυτό θα πρέπει να περιλαμβάνει την μικροβιολογική ασφάλεια κατά την παραγωγή της συσκευασίας και την διαδικασίας παράδοσης της στην εταιρία, το χρόνο ζωής του προϊόντος σε κλειστή και ανοικτή συσκευασία και την μικροβιολογική ασφάλεια κατά το γέμισμα και τη συσκευασία.

Όλα τα ζητήματα μικροβιολογικής ασφάλειας του προϊόντος θα πρέπει να αντιμετωπίζονται παράλληλα και από κοινού με την ανάπτυξη των προϊόντων. Θα πρέπει να παρέχονται οι λεπτομέρειες των προτεινόμενων όρων διαδικασίας συσκευασίας, παραγωγής των στοιχείων συσκευασίας και της διανομής των, της επισήμανσης των προϊόντων, του χρόνου ζωής, της αποθήκευσης και της διανομής, ώστε να συσταθούν οι οποιοσδήποτε ειδικές συμβουλές ή πρακτικές που απαιτούνται από το ερευνητικό τμήμα, να υπάρχει διαβεβαίωση σχετικά με την ασφάλεια του συνδυασμού της συσκευασίας και να καθοριστεί εάν απαιτείται μια μελέτη σχεδίου HACCP σε οποιοδήποτε σημείο στην Αλυσίδα εφοδιασμού (συμπεριλαμβανομένων των

προμηθευτών). Σε κάθε περίπτωση, η καταλληλότητα της υπάρχουσας συσκευασίας θα πρέπει να επανελεγχθεί εάν αλλάξει το προϊόν.

Εργαστηριακές δοκιμές συμβατότητας υλικών συσκευασίας (Packaging Development Trials)

Πρέπει να συμφωνείται με τους προμηθευτές και το εργοστάσιο παραγωγής ένα πρόγραμμα δοκιμών για να επιβεβαιωθεί πλήρως η δυνατότητα της πλήρους ικανοποίησης των παραμέτρων λειτουργίας και των δαπανών, που καθορίζονται βάσει των απαιτήσεων συσκευασίας. Όπου περιλαμβάνεται νέος εξοπλισμός γραμμών παραγωγής, απαιτείται μια οργανωμένη διαδικασία δοκιμών σε οποιοδήποτε νέο εξοπλισμό συσκευασίας.

Έτσι, προτείνεται μαζί με το εργοστάσιο παραγωγής και τον προμηθευτή(-ες) ένα πρόγραμμα ανάπτυξης της συσκευασίας όπου λαμβάνονται υπόψη κάποια βασικά σημεία όπως οι δοκιμές για τον έλεγχο της απόδοσης του πειραματικού σχεδιασμού, οι δοκιμές για τον έλεγχο της απόδοσης του σχεδιασμού της παραγωγής, οι δοκιμές για τον έλεγχο της απόδοσης της συσκευασίας παραγωγής στις γραμμές συσκευασίας του εργοστασίου παραγωγής με σαφώς συμφωνημένα κριτήρια απόδοσης της κάθε δοκιμής και λοιπά. Παράλληλα, να συμφωνούνται οι υποχρεώσεις δαπανών σε κάθε στάδιο και να εξασφαλίζεται ότι όλες οι δαπάνες προϋπολογίζονται και συμφωνούνται με τους υπεύθυνους των προϋπολογισμών.

Η παροχή δειγμάτων προς έγκριση και αναλύσεις θα πρέπει να συμφωνείται με την ομάδα του προγράμματος καθώς τα δείγματα αυτά θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείγματα για έρευνα καταναλωτών, δειγματοπισμούς, κ.λπ. και δείγματα για μικροβιολογικές και άλλες δοκιμές. Όλα τα δείγματα θα πρέπει να εξετάζονται για την πλήρη συμμόρφωσή τους με τη σύνοψη των απαιτήσεων της συσκευασίας, τους κανονισμούς των απαιτήσεων συσκευασίας, τις απαιτήσεις για την ασφάλεια του καταναλωτή και την αποδοτικότητα της συσκευασίας κατά τη χρήση. Θα πρέπει να σημειωθεί πως για όλα τα δείγματα που θα χρησιμοποιηθούν για οποιοδήποτε κατανάλωση (ανώνυμη ή εσωτερική), να εξασφαλίζεται πρώτα η μικροβιολογική εκκαθάριση.

Εργοστασιακές δοκιμές (Sourcing Unit(s) Production trials)

Οι δοκιμές σε εργοστασιακή κλίμακα είναι ένα κρίσιμο βήμα στην καθιέρωση της τεχνικής δυνατότητας πραγματοποίησης της προτεινόμενης συσκευασίας και της καθιέρωσης μιας αποδοτικής λειτουργίας της παραγωγής/συσκευασίας. Μόνο το προϊόν που παράγεται σε εργοστασιακή κλίμακα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε άλλη κρίσιμη δοκιμή.

Μαζί με την ομάδα έργου και το εργοστάσιο παραγωγής, θα πρέπει να συμφωνείται ένα πρόγραμμα εργοστασιακών δοκιμών για την συσκευασία σε κλίμακα με τη χρήση των διαθέσιμων μηχανών παραγωγής από κοινού με την ανάπτυξη προϊόντων. Κατά τις δοκιμές αυτές θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν συσκευασίες τυπωμένες βάσει σχεδίασης της τελικής παραγωγής, προϊόν το οποίο έχει υποστεί την τελική επεξεργασία του και συσκευασία βάσει τελικών προδιαγραφών. Οι δοκιμές θα πρέπει να γίνονται στο εργοστάσιο παραγωγής και πιο συγκεκριμένα στην γραμμή παραγωγής που θα χρησιμοποιηθούν για την κανονική παραγωγή. Τα δείγματα από κάθε δοκιμαστική παραγωγή θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για πλήρεις δοκιμές αποθήκευσης και διακίνησης.

Δοκιμές διατηρησιμότητας (Closed Shelf-life trials)

Οι δοκιμές του χρόνου ζωής του κλειστού προϊόντος θα πρέπει να ολοκληρώνονται για όλους τους νέους συνδυασμούς προϊόντος και πρωτογενούς συσκευασίας ώστε να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη ασφάλεια του καταναλωτή και να προσδιοριστεί η οποιαδήποτε επιδείνωση στην ποιότητα των προϊόντων κατά τη διάρκεια της σχεδιασμένης ζωής τους που μπορεί να αποδοθεί στη συσκευασία. Οι δοκιμές του χρόνου ζωής κλειστού προϊόντος πρέπει να γίνονται σε κάθε στάδιο ανάπτυξης της συσκευασίας.

Στην διαδικασία υλοποίησης αυτών των δοκιμών προτείνεται να εξετάζονται οι λογικές ακραίες τιμές των παραγόντων που δύνανται να προκαλέσουν την αλλοίωση των προϊόντων, στους οποίους παράγοντες το προϊόν και η συσκευασία θα μπορούσαν να εκτεθούν και να σχεδιάζονται οι δοκιμές αναλόγως, όπως π.χ. η αποθήκευση σε σταθερή θερμοκρασία, οι κύκλοι θερμοκρασίας σύμφωνα με την προγραμματισμένες αλυσίδα και τη χρήση

Ανεφοδιασμού, να γίνονται δοκιμές κατάχρησης θερμοκρασίας σύμφωνα με την προσδοκώμενη "χειρότερη περίπτωση" κατά τον χειρισμό των προϊόντων, πάγωμα/ξεπάγωμα, εάν κριθεί απαραίτητο καθώς και έκθεση σε δόνηση, εάν κριθεί απαραίτητο.

Όπως και σε κάθε αξιολόγηση, θα πρέπει εκ των πρότερων να αποφασίζεται ποια στοιχεία του προϊόντος και της ακεραιότητας της συσκευασίας θα αξιολογηθούν, ώστε να ανιχνευθεί οποιαδήποτε επιδείνωση οποιασδήποτε πτυχής της ποιότητας των προϊόντων, εάν προϊόν διαπερνά οποιοδήποτε μέρος της συσκευασίας συμπεριλαμβανομένων όλων των στοιχείων της πρωτογενούς συσκευασίας που δεν βρίσκονται απαραίτητα σε άμεση επαφή με το προϊόν (π.χ. καπάκια), εάν υφίστανται ανεπιθύμητες οσμές ή άλλα αποτελέσματα

προερχόμενα από τα υλικά συσκευασίας, τις κόλλες, τα μελάνια κ.λπ. Η αξιολόγηση αυτή μπορεί να γίνει από ομάδες αξιολόγησης εσωτερικά της εταιρίας ή σε επιλεγμένους καταναλωτές καθώς και με χημικές, φυσικές, και μικροβιολογικές αναλύσεις.

Δοκιμές εφοδιαστικής αλυσίδας (Supply Chain Trials)

Ο σκοπός των δοκιμών των αλυσίδων εφοδιασμού είναι να επιβεβαιωθεί ότι το γεμισμένο προϊόν στην επιλεγμένη συσκευασία, μπορεί να μεταφερθεί στα σημεία του λιανεμπορίου κατά τρόπο ικανοποιητικό και χωρίς ζημιά.

Μια αντιπροσωπευτική, πλήρης δοκιμή διέλευσης φορτίων παλετών θα πρέπει να πραγματοποιείται πριν από την έναρξη της παραγωγής-διακίνησης. Οι δοκιμές θα πρέπει να πραγματοποιούνται χρησιμοποιώντας, όπου είναι δυνατόν ένα πλήρες φορτίο παλετών σε τελική διαμόρφωση. Όπου αυτό δεν είναι δυνατό, για παράδειγμα στο πειραματικό στάδιο, να τίθεται το προϊόν στο κατώτατο στρώμα μιας παλέτας αντιπροσωπευτικού βάρους και ύψους. Η δοκιμή μπορεί να γίνεται σε πειραματική κλίμακα και να επαναλαμβάνεται σε κλίμακα παραγωγής (όπου και θα πρέπει και να χρησιμοποιείται ένα πλήρες φορτίο παλετών).

Και σε αυτές τις δοκιμές είναι σημαντικό να αποφασιστεί ποια στοιχεία της ακεραιότητας της συσκευασίας θα αξιολογηθούν, όπως για παράδειγμα η οποιαδήποτε συντριβή ή προφανής ζημιά στα χαμηλότερα στρώματα τα παλλέτας, αλλαγές στο κλείσιμο των καπακιών, διαχωρισμός φάσεων του προϊόντος, ζημιά στην εκτύπωση (διατήρηση τυπωμένων χρωμάτων κ.λπ.) καθώς και οποιαδήποτε άλλη ζημιά στο σχήμα και τη λειτουργικότητα μεμβρανών παρεμβυσμάτων και δίσκων σφραγίσματος κ.λπ. Τα αποτελέσματα θα πρέπει να αξιολογούνται από τον υπεύθυνο ανάπτυξης της συσκευασίας και εφόσον κρίνεται απαραίτητο, να προτείνονται προς την ομάδα οι επιλογές βελτίωσης της συσκευασίας, ή πιθανά και του προϊόντος προς οικονομικοτεχνική αξιολόγηση και έγκριση. Οι επερχόμενες αλλαγές θα πρέπει να επαναξιολογούνται και πάλι μέσω μιας σειράς επιλεγμένων δοκιμών επιβεβαίωσης.

Οδηγίες συσκευασίας (Manufacturing Briefing & First Production)

Μαζί με την ανάπτυξη των προϊόντων, να συζητείται και να συμφωνείται με το εργοστάσιο παραγωγής, το επίπεδο και η έκταση της ενημέρωσης που απαιτείται για να εξασφαλιστεί μια επιτυχής πρώτη (αλλά και μετέπειτα) παραγωγή του προϊόντος. Η ενημέρωση θα πρέπει να γίνεται με επαρκή και ξεκάθαρο τρόπο και σε σωστό χρόνο ενημέρωσης. Είναι σημαντικό να εξασφαλιστεί ότι για τα πρώτα τρεξίματα της παραγωγής θα παρέχεται η αναγκαία βοήθεια από την ανάπτυξη, και εφόσον κριθεί σκόπιμο από το εργοστάσιο παραγωγής, να παρευρίσκεται το τμήμα ανάπτυξης και στις επόμενες παραγωγές ή αλλαγές γραμμών. Αναθεωρήσεις θα πρέπει να γίνονται βάσει των αποτελεσμάτων της αρχικής παραγωγής.

Τεχνικός έλεγχος ικανότητας παραγωγής – mini dossier (Technical Quality Launch Check)

Αποτελεί ένα υποχρεωτικό βήμα στα πλαίσια της πρότασης ανάπτυξης συσκευασίας και εισαγωγής ενός νέου προϊόντος. Είναι ένας τελικός έλεγχος που εξασφαλίζει την ασφάλεια του καταναλωτή, την υγιεινή και την ασφάλεια της εργασίας, καθώς και την συμμόρφωση με την περιβαλλοντική πολιτική. Περιλαμβάνει τα σχετικά στοιχεία των βασικών σταδίων εξέλιξης ενός νέου κωδικού και ολοκληρώνεται και υπογράφεται από τον τεχνικό υπεύθυνο του προγράμματος. Θα πρέπει λοιπόν, να ελέγχεται η ολοκλήρωση του πίνακα ελέγχου των βασικών σταδίων εξέλιξης ενός νέου κωδικού, και ότι είναι επαρκώς τεκμηριωμένα. Εφόσον η ομάδα αποφασίσει πως τα τεχνικά στοιχεία των βασικών σταδίων εξέλιξης ενός νέου κωδικού έχουν επαρκώς ολοκληρωθεί, κλείνει επαρκώς το τεχνικό μέρος της ανάπτυξης και μπορεί να προχωρήσει η πρώτη παραγωγή.

Πρώτη παραγωγή (First Production - Quality Assurance)

Η πρώτη παραγωγή θα πρέπει να γίνεται με βάση τα συμφωνηθέντα απαραίτητα ποιοτικά πρότυπα αλλά υπάρχει και η περίπτωση του να κριθεί απαραίτητο να μεταβεί η μετέπειτα παραγωγή σε ένα υψηλότερο επίπεδο ποιότητας βάσει των αποτελεσμάτων και της εμπειρίας της πρώτης παραγωγής. Για την παρακολούθηση της παραγωγής θα πρέπει να συμφωνείται με το εργοστάσιο παραγωγής η συχνότητα και ο τύπος των ποιοτικών ελέγχων που απαιτούνται.

Όλα τα νέα ή αλλαγμένα προϊόντα που παράγονται θα πρέπει να υπόκεινται στη θετική απελευθέρωση προϊόντων, εκτός και εάν έχει ρητά συμφωνηθεί κάτι διαφορετικό. Για να συμβεί αυτό είναι αναγκαίο να συμφωνούνται με το εργοστάσιο παραγωγής τα κριτήρια, οι διαδικασίες και το επίπεδο εξουσιοδότησης καθώς και οι τρέχουσες διαδικασίες απελευθέρωσης των τελικών προϊόντων.

Παρακολούθηση λανσαρίσματος - παραγωγή βάση προδιαγραφών (Launch Monitor – Production vs specification)

Κατά τη διάρκεια της πρόωρης φάσης των υλικών συσκευασίας στους προμηθευτές αλλά και της παραγωγής των προϊόντων στο εργοστάσιο παραγωγής είναι επιθυμητό να ελέγχονται οι βασικές παράμετροι των προδιαγραφών συσκευασίας και να συγκρίνονται με εκείνους που αναγράφονται στην προδιαγραφή. Κατά περιόδους, και όπου και εάν απαιτείται να συζητούνται και να συμφωνούνται με το εργοστάσιο παραγωγής και την ομάδα του προγράμματος οι οποιοσδήποτε αλλαγές των προδιαγραφών. Επιπλέον, το τμήμα προμηθειών σε συνεργασία με τα τμήματα παραγωγής και ανάπτυξης θα πρέπει να έχει συμφωνήσει με τους προμηθευτές μια διαδικασία τακτικής αναθεώρησης.

Παρακολούθηση λανσαρίσματος - παράπονα πελατών (Launch Monitor – Consumer Complaints & Shop Samples)

Οι καταγγελίες των καταναλωτών θα πρέπει να ελέγχονται με προσοχή από την ομάδα του προγράμματος, και οποιοσδήποτε διορθωτικές ενέργειες ή βελτιώσεις της συσκευασίας να προσδιορίζονται και να εκτελούνται με το εργοστάσιο παραγωγής.

Έτσι, συνιστάται πριν από την έναρξη της παραγωγής, να συμφωνούνται με το εργοστάσιο παραγωγής, οι χαρακτηριστικοί τύποι καταγγελίας που αναμένονται για μια νέα ή τροποποιημένη συσκευασία και να συμφωνούνται τα πρότυπα δράσης. ένα σύστημα αναφοράς των καταγγελιών των καταναλωτών προς την ομάδα του προγράμματος, ένα πρόγραμμα ελέγχου των δειγμάτων των καταστημάτων, και το πώς θα αναφέρονται τα αποτελέσματα στην ομάδα του έργου, το εργοστάσιο παραγωγής και τον διευθυντή QA., ενώ παράλληλα, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται δείγματα του εμπορίου για τον προσδιορισμό οποιονδήποτε ατελειών που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε καταγγελίες καταναλωτών. Εφόσον μετά από όλα αυτά κριθεί αναγκαίο θα πρέπει να συμφωνούνται με το εργοστάσιο παραγωγής οι οποιοσδήποτε αλλαγές στις προδιαγραφές συσκευασίας που απαιτούνται και ο υπεύθυνος συσκευασίας να τις φέρει σε πέρας ακολουθώντας τα προηγούμενα και αναγκαία βήματα ανάπτυξης.

Περάτωση της ανάπτυξης (Finalisation of development support)

Το εργοστάσιο παραγωγής είναι αρμόδιο για όλες τις πτυχές της ασφάλειας, της ποιότητας, και των δαπανών παραγωγής των προϊόντων από την πρώτη παραγωγή και μετά. Εντούτοις, το εργοστάσιο παραγωγής μπορεί να απαιτήσει πόρους ειδικής ανάπτυξης ή άλλη υποστήριξη κατά τη διάρκεια της πρώιμης περιόδου παραγωγής. Έτσι, θα πρέπει να συμφωνούνται οι πόροι και η υποστήριξη προς το εργοστάσιο παραγωγής κατά τη διάρκεια των πρώτων παραγωγών καθώς και από ποιους θα προέρχεται η υποστήριξη και με ποια μορφή (π.χ. σε μια εβδομαδιαία συνάντηση). Οι υπεύθυνοι των τμημάτων θα αναλάβουν την διεκπεραίωση και την ουσιαστική συνεργασία και συμβολή στην όλη διαδικασία.

Ο ρόλος του υπευθύνου μηχανικού συσκευασίας.

Σε μια σύγχρονη μονάδα βιομηχανικής παραγωγής και διάθεσης προϊόντων, ο ρόλος του μηχανικού συσκευασίας είναι σαφώς ορισμένος. Μηχανικός συσκευασίας είναι ο υπεύθυνος συνεργάτης που αναλαμβάνει την διεκπεραίωση των διεργασιών εκείνων που θα εξασφαλίσουν την σωστή ανάπτυξη και εφαρμογή των διεργασιών, μεθόδων και υλικών συσκευασίας του προϊόντος σε μια βιομηχανική μονάδα παραγωγής, συσκευασίας και διάθεσης προς τους πελάτες, προϊόντων.

Η συμμετοχή του αρχίζει με την πρώτη ιδέα του νέου κωδικού και συνεχίζεται μέχρι και την ικανοποίηση του πελάτη μετά την χρήση του προϊόντος και την απόρριψη των υπολειμμάτων. Οι σημερινές ανάγκες όμως οδηγούν τον μηχανικό συσκευασίας να αναρωτηθεί και για το τι θα συμβούν στα απορρίμματα αυτά, πως δηλαδή θα ενταχθούν σε ένα ρεύμα αξιοποίησης, πως η εταιρία μέσα από τα προϊόντα της θα συμβάλει στην μείωση των απορριμμάτων ή στην εύκολη ανάκτηση, επαναχρήση ή ανακύκλωση τους. Η συμβολή του μηχανικού συσκευασίας μπορεί να φτάσει και μέχρι το σημείο να αξιολογήσει την δυνατότητα ενσωμάτωσης και ανακυκλωμένων υλικών στα υλικά που χρησιμοποιεί ο οργανισμός για τα προϊόντα του.

Ο υπεύθυνος μηχανικός συσκευασίας που αναλαμβάνει ένα σχετικό project είναι υπεύθυνος συνολικά για την εκτέλεση του έργου για τη διασφάλιση της ολοκλήρωσης του έργου όπως καθορίζεται, εγκαίρως, και μέσα στα πλαίσια του προϋπολογισμού. Είναι το σημείο εστίασης για όλες τις δραστηριότητες του έργου που αφορούν στη συσκευασία από την εκκίνηση μέχρι το τέλος. Θα πρέπει να παίζει ηγετικό ρόλο στο στάδιο των υποδείξεων και προτάσεων και να λειτουργεί ως ο τεχνικός αντιπρόσωπος της εταιρίας που θα παίρνει μέρος στις διαπραγματεύσεις με προμηθευτές, υπεργολάβους και λοιπούς συνεργάτες. Το μάντζμεντ της εταιρίας θα πρέπει να εκδίδει δίνει στον υπεύθυνο έργου ευρεία αρμοδιότητα να διαχειρίζεται την εκτέλεση του έργου μέσα στις οδηγίες που έχουν αναφερθεί σε αυτή την περιγραφή θέσης.

Ο σχεδιασμός, η οργάνωση και ο έλεγχος είναι οι κύριες λειτουργίες της εργασίας του. Θα πρέπει να σχεδιάζει την εργασία και να οργανώνει τα κατάλληλα άτομα και τις μεθόδους για να επιτρέψει σε θέματα ρουτίνας να

προχωρήσουν με την μικρότερη δυνατή προσπάθεια και καθυστέρηση, ενώ ανταποκρίνονται γρήγορα και αποτελεσματικά σε ασυνήθιστες ή επείγουσες ανάγκες.

Ο υπεύθυνος έργου θέτει τους στόχους του έργου και τις προτεραιότητες νωρίς μέσα στο έργο και συχνά τις αναθεωρεί μαζί με το προσωπικό του έργου και τη διαχείριση του. Για να αποφύγει να πιαστεί στα δίκτυα τεχνικών προβλημάτων εις βάρος της έλλειψης διοικητικού ελέγχου, οι υπεύθυνοι έργου θα πρέπει να είναι πραγματικοί διαχειριστές και όχι απλά άτομα ή προϊστάμενοι. Η εκπαίδευση και η ανάπτυξη νέων υπεύθυνων έργου είναι παραπροϊόντα της αποτελεσματικής εξουσιοδότησης.

Με την διαρκή εκπαίδευση του ο μηχανικός συσκευασίας θα πρέπει να καλύπτει βασικές γνώσεις τόσο στους τομείς των τεχνικών εξελίξεων όσο και σε θέματα διαχείρισης ανθρώπων, οικονομικά αλλά εξελίξεων σε γενικότερα θεμάτων αγοράς και προμηθευτών.

Ο μηχανικός συσκευασίας θα πρέπει πάνω από όλα να γνωρίζει το προϊόν το οποίο καλείται να συσκευάσει. Να γνωρίζει τις ιδιαιτερότητες του σχετικά με την ποιότητα του και τις συνθήκες υπό τις οποίες συντελείται η υποβάθμισή του προϊόντος. Η γνώση της αλληλεπίδραση προϊόντος, υλικού συσκευασίας και περιβάλλοντος θα οδηγήσει στις σωστές επιλογές που θα παρατείνουν το χρόνο ζωής του, θα αυξήσουν την ικανοποίηση του καταναλωτή και θα μεγιστοποιήσουν το κέρδος του οργανισμού.

Λόγω της πολυπλοκότητας των προϊόντων αλλά και των εξελίξεων σε αυτά απαιτείται σε βάθος γνώση των υλικών συσκευασίας, των ιδιοτήτων τους και των συμπεριφορών τους σε μηχανές παραγωγής όσο και κατά την παραγωγική λειτουργία τους στις διάφορες μηχανές.

Ακόμα, θα πρέπει να ενημερώνεται για τις νομικές εξελίξεις και απαιτήσεις στις διάφορες χώρες που θα παρουσιαστεί το προϊόν, σε θέματα χρήσης των υλικών και επιτρεπόμενων προσθέτων, ενώ ειδική γνώση απαιτείται σχετικά με τις τάσεις και εξελίξεις σε θέματα διακόσμησης, όπως η εκτύπωση, τα βερνίκια, τα ανάγλυφα, και λοιπά.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η γνώση των συστημάτων ιχνηλασιμότητας και η συσχέτιση τους με το προϊόν και την εφοδιαστική αλυσίδα στην οποία αυτό θα διακινηθεί, καθώς και το φυσικό περιβάλλον, οι κίνδυνοι που απορρέουν από αυτό για το συγκεκριμένο προϊόν, αλλά και τα μέσα και οι μέθοδοι με τα οποία το προϊόν μπορεί να προστατευθεί.

ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Κατά την διάρκεια της ανθρώπινης ιστορίας έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί πολλά και διαφορετικά υλικά για την συσκευασία των προϊόντων, από φύλλα δένδρων, φλούδες δένδρων, και ίνες, που βρίσκονται φυσικά στη φύση, μέχρι μαζικής παραγωγής αμφορείς και άλλα πήλινα και μεταλλικά αγγεία και σκεύη, μέχρι τα σύνθετα πολυμερή υλικά των τελευταίων εκατό περίπου χρόνων. Από την αρχή της δεκαετίας του 1990, τα περισσότερα προϊόντα φτάνουν στον καταναλωτή σε βασικούς περιέκτες, όπως βαρέλια, κουτιά, βάζα, τσάντες, ή χαρτί και μεμβράνες περιτυλίγματος. Από τότε η μεγάλη ποικιλία περιεκτών που έχουν αναπτυχθεί, περιλαμβάνει σακούλες μικροκυμάτων, ασηπτικά χαρτόκουτα, εφαρμογές θερμοσυρικούμενων μεμβρανών, συμπιεζόμενους πλαστικούς περιέκτες, καθώς και υψηλής αισθητικής χαρτόκουτα, σακούλες και μπουκάλια.

Η αντίστοιχη ανάπτυξη μηχανών συσκευασίας βοήθησε στην αποτελεσματικότερη και αποδοτικότερη παραγωγή συσκευασιών σε μεγάλες ποσότητες και σε μεγάλη ποικιλία σχεδίων και μεγεθών. Οι πολλές και ποικίλες διεργασίες που απαντιούνται σε μια γραμμή συσκευασίας γίνονται με τη βοήθεια μιας ομάδας μηχανών τοποθετημένων στην σωστή σειρά και ρυθμισμένων ώστε να λειτουργούν «σε σειρά» με τη μέγιστη ταχύτητα, οικονομία και απόδοση. Τέτοιες γραμμές συμπεριλαμβάνουν μηχανές μέτρησης και ζυγίσματος προϊόντων, κλεισίματος και σφραγίσματος, των περιεκτών, εφαρμογής ετικετών ή εκτυπώσεων, ελέγχου βάρους, ελέγχων, και ετοιμασία των προϊόντων για αποθήκευση και αποστολή.

Η γραμμή συσκευασίας

Η γραμμή συσκευασίας αποτελείται από διαφορετικές μηχανές ρυθμισμένες ώστε να λειτουργούν αρμονικά και συμβατά μεταξύ τους σαν μία. Συνήθως οι μηχανές έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί από διαφορετικές εταιρίες. Παρόλα αυτά συνδέονται μεταξύ τους ελέγχονται σαν μια συγχρονισμένη μονάδα. Έτσι, οι γραμμές συσκευασίας αποτελούνται από διαφορετικές μηχανές όπως η κάθε μηχανή αποτελείται από διαφορετικά εξαρτήματα.

Η γραμμή συσκευασίας μεταποιεί το προϊόν που εισέρχεται σε αυτή από την παραγωγή, σε μεμονωμένες ή και ομαδοποιημένες συσκευασίες, οι οποίες προστατεύουν και συντηρούν τα προϊόντα, παρέχουν την ταυτότητα του περιεχομένου, τα διακοσμούν, συνδράμουν στην διαφημιστική τους προώθηση, τις οδηγίες χρήσης και ένα μέσο για την διακίνηση μέσω των καναλιών με τελικό αποδέκτη τον καταναλωτή.

Σε πολλές παραγωγικές μονάδες οι γραμμές συσκευασίας αποτελούν την φυσική συνέχεια των γραμμών παραγωγής, ώστε τα προϊόντα να μεταφέρονται άμεσα στην γραμμή συσκευασίας μέσω κατάλληλα διαμορφωμένων γραμμών μεταφοράς. Παρόλα αυτά στις περισσότερες περιπτώσεις οι δύο διεργασίες (παραγωγής και συσκευασίας) είναι χωριστά στην ίδια μονάδα, ενώ σε άλλες περιπτώσεις το προϊόν μπορεί ακόμα και να μεταφερθεί σε μορφή χύμα ή προ-συσκευασμένο, σε άλλη παραγωγική μονάδα για την τελική συσκευασία του.

Η γραμμή παραγωγής τροφοδοτείται με το προϊόν, τους περιέκτες, τα καπάκια, τις απαραίτητες κατά περίπτωση κόλλες, τις ετικέτες, πιθανά υλικά περιτύλιξης, και λοιπά απαραίτητα για την τελική συσκευασία, υλικά. Οι μηχανές της γραμμής συσκευασίας χρησιμοποιούν αυτά τα υλικά για να σχηματίσουν, να γεμίσουν, να στεγανοποιήσουν και να παραδώσουν το τελικό συσκευασμένο προϊόν. Έτσι για παράδειγμα ένα υγρό προϊόν τροφοδοτείται στην γραμμή συσκευασίας μέσω ενός τροφοδότη υγρών προϊόντων, ο οποίος μετρά την ποσότητα του υγρού και γεμίζει το μπουκάλι. Το μπουκάλι πωματίζεται, εφαρμόζονται μία ή περισσότερες ετικέτες και το γεμισμένο μπουκάλι ελέγχεται. Το μπουκάλι, πιθανά με ένα ενημερωτικό φυλλάδιο εισέρχονται σε ένα κουτί το οποίο κλείνει και το προϊόν κωδικοποιείται συνήθως για ιχνηλασιμότητα και ημερομηνίες λήξης. Τα κουτιά τοποθετούνται σε χαρτοκιβώτια τα οποία επίσης σημαίνονται, κλείνονται και τοποθετούνται σε παλέτες για μεταφορά. Αυτή η διεργασία συντελείται σε μια γραμμή συσκευασίας η οποία αποτελείται από δέκα ή και περισσότερες διαφορετικές μηχανές οι οποίες λειτουργούν όλες μαζί.

Μεταξύ των πλέον συχνά χρησιμοποιούμενων μηχανών είναι για μεν τα δύσκαμπτα υλικά οι μηχανές γεμίσματος μπουκαλιών, οι μηχανές λυγίσματος και σχηματισμού χαρτοκιβωτίων και χάρτινων κουτιών, οι μηχανές επικόλλησης ετικετών, οι μηχανές τοποθέτησης περιεκτών σε χαρτοκιβώτια και οι παλετοποιητικές μηχανές, ενώ για εύκαμπτα υλικά οι πιο κοινές είναι οι μηχανές διαμόρφωσης-γεμίσματος-συγκόλλησης (form-fill-seal), οι μηχανές θερμο-διαμόρφωσης και συγκόλλησης δύσκαμπτου πάτου (blister packaging), οι μηχανές περιτύλιξης, οι μηχανές σακουλών, και οι μηχανές τοποθέτησης ετικετών. Ακόμα, έχουμε μηχανές μεταφοράς, συσσώρευσης και διαχωρισμού, μηχανές τοποθέτησης κωδικών και αναγραφής πληροφοριών καθώς και ζυγιστικές μηχανές και μηχανές ελέγχου βάρους, μετάλλων και λοιπά.

Οργάνωση της γραμμής συσκευασίας

Ενώ κάποιες γραμμές συσκευασίας έχουν μόνο ένα μικρό ίσως και χειροκίνητων μηχανών, κάποιες άλλες αποτελούνται από πλήρως αυτοματοποιημένες μηχανές οι οποίες λειτουργούν σε μεγάλες ταχύτητες. Οι μεμονωμένες μηχανές συνδέονται μεταξύ τους με γραμμές και ιμάντες μεταφοράς και γενικά συστήματα

τροφοδοσίας και ρυθμίζονται ώστε να λειτουργούν συντονισμένα. Η συμβατότητα και η αλληλεπίδραση προϊόντος-γραμμής συγκρίνονται με την συμβατότητα και την αλληλεπίδραση του προϊόντος σε μία μόνο μηχανή. Προβλήματα σε μία μηχανή μπορούν να επηρεάσουν όλη τη γραμμή συσκευασίας, ειδικά όταν η γραμμή αποτελείται από μηχανές διαφορετικών σχεδιαστών και κατασκευαστών. Τα προβλήματα αντιμετωπίζονται με ειδικές ρυθμίσεις και προσαρμογές στη γραμμή.

Έτσι, η λειτουργία μιας γραμμής συσκευασίας και η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων εξαρτώνται από την αλληλεπίδραση των προϊόντων, των περιεκτών και των υλικών συσκευασίας, τις δυνατότητες της μηχανής, τις ικανότητες των χειριστών και την συντήρηση των μηχανών.

Τα φυσικά χαρακτηριστικά των προϊόντων μπορούν να επηρεάσουν την ευκολία ή δυσκολία της διεργασίας. Προϊόντα που για παράδειγμα τείνουν να συγκολλούνται, να συσσωματώνονται ή και να έχουν άλλες αλλαγές της φυσικής τους κατάστασης κατά την παρουσία υγρασίας ή κατά την παραγωγή τους, μπορεί να παρουσιάσουν προβλήματα κατά το γέμισμα, την μέτρηση του βάρους τους, και λοιπά, οπότε απαιτούν ιδιαίτερη διαχείριση. Όμοια, εύθραυστα προϊόντα, προϊόντα που συνθλίβονται, όπως μπισκότα, επίσης απαιτούν ιδιαίτερη διαχείριση. Ανθρακούχα ποτά γεμίζονται σε ειδικές μηχανές γεμίματος λόγω του διοξειδίου του άνθρακα, και λοιπά.

Υλικά συσκευασίας

Η χρήση των υλικών συσκευασίας στις γραμμές παραγωγής και η συμβατότητα τους με τις μηχανές επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση και την παραγωγικότητα της γραμμής. Η ικανότητα διαχείρισης των υλικών περιγράφεται από την ευκολία με την οποία τα υλικά κινούνται στην γραμμή και από την ποιότητα των τελικών συσκευασιών. Παραδείγματα αποτελούν τα υλικά που δεν στέκονται σταθερά στην γραμμή, που γέρνουν, που δεν σταθεροποιούνται στην σωστή θέση, που δεν συγκολλούνται σωστά και εύκολα. Η σύσταση των υλικών, ο σχεδιασμός τους, το βάρος τους, οι διαστάσεις τους, και η συμπεριφορά τους σε κοπή, θερμοκρασίες, κάμψη, τάνυση και λοιπά, επηρεάζουν την απόδοση της μηχανής. Η προεργασία και η αποθήκευση των υλικών μπορούν να επηρεάσουν την λειτουργία της μηχανής όπως για παράδειγμα η απορρόφηση υγρασίας από τα χαρτοκιβώτια, η οποία επηρεάζει την συμπεριφορά τους σε κάμψη και κύρτωση, ή η παρουσία υψηλών ποσοτήτων διαλύτη σε μείγμα κόλλας επηρεάζει την σωστή επικόλληση των αντικειμένων μεταξύ τους.

Δυνατότητες των μηχανών

Μια γραμμή παραγωγής δεν μπορεί να αναμένεται να λειτουργήσει σε ταχύτητες ή να παράγει τέτοιας ποιότητας προϊόντα που να είναι υψηλότερα των δυνατοτήτων της ή της δυνατότητας της γραμμής στην οποία είναι ενταγμένη, συνολικά. Ο περιοριστικός παράγοντας σε μια γραμμή παραγωγής είναι η μηχανή με την μικρότερη ικανότητα παραγωγής. Κάθε μηχανή έχει σχεδιαστεί να παράγει τα μέγιστα σε ορισμένα πλαίσια και όρια ρυθμίσεων, για συγκεκριμένα προϊόντα και σε δεδομένες συνθήκες. Η επιλογή της κατάλληλης μηχανής ανάλογα με την διεργασία για την οποία επιλέγεται, είναι καθοριστικός παράγοντας στην λειτουργία της γραμμής συνολικά. Μερικά από τα πιο κρίσιμα χαρακτηριστικά μιας μηχανής είναι η δυνατότητα της να χειρίζεται τα υλικά συσκευασίας, το προϊόν, τους περιέκτες, η ταχύτητα της, η ευκολία προσαρμογών, αλλαγών, ποικιλίας λειτουργιών, η ακρίβεια της, και η ικανότητα αντοχής σε κακή χρήση.

Οι μηχανές σε μια γραμμή παραγωγής ενσωματώνονται σε αυτή μέσω διαδρόμων και φορέων ή συνδέσμων αλλά και μηχανισμών χρονόμετρησης και συγχρονισμού. Μερικές γραμμές έχουν κοινή παροχή ηλεκτρικού για όλες τις μηχανές σε αντίθεση με άλλες όπου υπάρχει χωριστή παροχή για κάθε μηχανή, ενώ μπορεί να υπάρχουν και πολύ συγκεκριμένες απαιτήσεις στον τύπο της παροχής, π.χ. στα volts, στις φάσεις του ρεύματος, αλλά και σε παροχές αέρα, ψύξης, και λοιπά.

Ισορροπία της γραμμής

Η γραμμή θα πρέπει να είναι σε ισορροπία και συγχρονισμένη έτσι ώστε να επέρχεται η σωστή λειτουργία όλων των διαφορετικών προελεύσεων και σχεδιασμών, μηχανών. Συγχρονισμός της γραμμής σημαίνει να δουλεύουν όλες οι μηχανές σαν ένα σύστημα. Σε ένα συγχρονισμένο σύστημα όλες οι γραμμές δουλεύουν στην ίδια ή σε συγκρίσιμες ταχύτητες, με αρχή και τέλος στην κατάλληλη χρονική στιγμή στην διάρκεια της διεργασίας. Έτσι, όταν μια μηχανή λειτουργεί σε μεγάλες ταχύτητες, πιθανά να οδηγήσει στην συσσώρευση προϊόντων σε κάποιο από τα επόμενα στάδια όπου η επόμενη μηχανή δεν μπορεί να λειτουργήσει στην ίδια ή σε μεγαλύτερη ταχύτητα. Στην αντίθετη περίπτωση, μηχανές που είναι πιο γρήγορες στην εξέλιξη της διεργασίας δεν θα λαμβάνουν αρκετό προϊόν εάν προηγούνται μηχανές μικρότερης ταχύτητας.

Εξισορρόπηση της γραμμής σημαίνει επιλογή ή ρύθμιση των μηχανών – ταχύτητες και χρόνοι έναρξης και τερματισμού – έτσι ώστε να λειτουργούν παρέχοντας μια κανονική και ομαλή ροή προϊόντων. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιούνται συστήματα τροφοδοσίας, μεταφοράς, συσσώρευσης και προσωρινής κατακράτησης

προϊόντων, ώστε να υπάρχει ομαλή τροφοδοσία της κάθε μηχανής και να μην επηρεάζεται από την τροφοδοσία ή τα σταματήματα των υπολοίπων συνδεόμενων με αυτή, μηχανών.

Χαρακτηριστικά υλικών και περιεκτών

Σε πολλές περιπτώσεις τα υλικά συσκευασίας και οι περιέκτες παράγονται και προμηθεύονται από τους προμηθευτές, ειδικά σχεδιασμένα για την συγκεκριμένη μηχανή ή γραμμή συσκευασίας. Οι προμηθευτές αυτοί έχουν την δυνατότητα να προσαρμόσουν κατά πολύ ή λιγότερο, τις ιδιότητες, και άρα την συμπεριφορά των υλικών, ανάλογα με την δυνατότητα λειτουργίας της μηχανής επηρεάζοντας την εύρυθμη λειτουργία όλης της γραμμής. Παραδείγματα αποτελούν οι πολύφυλλές μεμβράνες, οι εκτυπώσεις και επιστρώσεις κυρίως εξωτερικές, οι πικμάνσεις και τα τσακίσματα ή τρυπήματα σε χαρτοκιβώτια και χάρτινα κουτιά, η κόλλες που θα χρησιμοποιηθούν και λοιπά.

Η επιλογή ενός νέου περιέκτη ή η τροποποίηση ενός υπάρχοντος μπορεί να έχει πολλές επιπτώσεις στην λειτουργία μιας γραμμής παραγωγής. Επιπτώσεις στο κόστος, στην ποιότητα, και στην ταχύτητα θα πρέπει να εξετάζονται από τον υπεύθυνο ανάπτυξης σε συνεργασία με τους χειριστές, τους μηχανικούς του εργοστασίου και της παραγωγής και τους προμηθευτές. Σε κάθε περίπτωση η σύμφωνη γνώμη του σχεδιαστικού τμήματος και οι απαιτήσεις του marketing θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και να γίνεται ότι είναι δυνατόν από για να ικανοποιηθούν οι βασικές σχεδιαστικές απαιτήσεις της συσκευασίας. Μια περισσότερο ελκυστική συσκευασία η οποία θα πρέπει να παραχθεί σε συγκεκριμένη διαθέσιμη γραμμή, ίσως οδηγήσει σε πιο ακριβό και δύσκολο στην διαχείριση του τελικό συσκευασμένο προϊόν, οπότε κρίνεται απαραίτητη διαδικασία η δοκιμή και τροποποίηση των υλικών, της γραμμής και ίσως του σχεδιασμού για να επιτευχθεί το βέλτιστο τελικό αποτέλεσμα.

Χαρακτηριστικά του περιέκτη που μπορεί να επηρεάσουν την απόδοση της γραμμής είναι η ποικιλότητα των μεγεθών, η ομαλότητα των γραμμών, η στιβαρότητα των υλικών, το σχήμα του περιέκτη, η θέση των σημείων γεμίματος, η θέση των λαβών του, και το βάρος του. Οι εύκαμπτες μεμβράνες έχουν την τάση να διπλώνουν, να τσακίζουν ή αν σχίζονται, ενώ το πάχος του υλικού, η ποιότητα των στρωμάτων και οι επικαλύψεις τους μπορούν να επηρεάσουν δραματικά τη λειτουργία των γραμμών. Αλλαγή από βαριά σε πιο ελαφριά υλικά ή και το αντίθετο μπορεί επίσης να δημιουργήσει προβλήματα λειτουργίας, ενώ οι χειριστές και μηχανικοί θα έχουν δυσκολία στην αναγνώριση και άρα επίλυση του προβλήματος εάν δεν είναι ενημερωμένοι για τις αλλαγές των υλικών από τον υπεύθυνο του έργου μηχανικό συσκευασίας.

Επίσης, ακατάλληλη αποθήκευση των υλικών συσκευασίας μπορεί να τα καταστήσει δύσκολα ή και ακατάλληλα προς χρήση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα χαρτιά και τα χαρτόνια τα οποία όταν απορροφήσουν υγρασία τείνουν να κατσαρώνουν και να μαλακώνουν, και έτσι δυσκολεύονται να περάσουν από τις μηχανές. Παρόμοια προβλήματα παρουσιάζουν και μερικά στρωματοποιημένα με πλαστικό υλικά όταν εκτεθούν σε υγρασία ή υψηλές θερμοκρασίες. Όλα αυτά τα υλικά θα πρέπει με ευθύνη και γνώση του αποθηκάρου και των χειριστών παραγωγής να αποθηκεύονται σε χώρους με ελεγχόμενες συνθήκες κλιματισμού.

Τα καπάκια και τα πώματα είναι επίσης μια ιδιαίτερη κατηγορία ειδικά όταν υπάρχουν αυτόματα μηχανήματα τροφοδοσίας και κλεισίματος στις γραμμές. Αλλαγές σε σχήμα, μέγεθος και βάρος μπορούν να επηρεάσουν την χρήση τους στις γραμμές, οδηγώντας σε προβλήματα ποιότητα στο κλείσιμο των περιεκτών και κατά συνέπεια στην ποιότητα και την έκθεση σε φυσικοχημικούς κινδύνους, των προϊόντων. Ακόμα, ειδικά συστήματα σφιδώματος ή και μεταφοράς των καπακιών στην γραμμή μπορεί να απαιτούνται στην περίπτωση χρήσης ειδικά διακοσμημένων, καλυμμένων με βερνίκια ή ανάγλυφων καπακιών.

Γενικά, η επιλογή δύσκολων στους χειρισμούς υλικών, οδηγεί σε δυσλειτουργίες της γραμμής, μείωση της παραγωγικότητας της και αύξηση των ποιοτικών προβλημάτων και του κόστους.

Προσωπικό

Κατά την παραγωγική διαδικασία της συσκευασίας, ειδικά σε μια πολύπλοκη γραμμή, υπάρχει ένας ιδιαίτερα μεγάλος αριθμός ατόμων, χειριστών και μηχανικών, οι οποίοι καλούνται συνεχώς να πάρουν αποφάσεις κατά την διάρκεια λειτουργίας της γραμμής. Καθορίζουν με τις αποφάσεις τους αυτές, την ποσότητα των προϊόντων που θα περάσουν από τη γραμμή, την ταχύτητα της, την ομοιομορφία της παραγωγικότητας κατά την διάρκεια της βάρδιας, τα ποιοτικά προβλήματα και τους ελέγχους που θα υποστεί το προϊόν, τις διορθωτικές ενέργειες και την αποτελεσματικότητά τους, και γενικά το τελικό προϊόν. Ακόμα, καλούνται να κάνουν τια απαραίτητες ρυθμίσεις, διορθώσεις και αλλαγές στις μηχανές για την εύρυθμη λειτουργία τους.

Έτσι, αρχικά δίδονται οδηγίες από τον κατασκευαστή, ακολουθούνται κατά την εκπαίδευση του προσωπικού, αλλάζουν ή όχι από τους μηχανικούς του εργοστασίου βάσει αλλαγών στο προϊόν ή τη συσκευασία του, ενώ οι υπεύθυνοι βάρδια και οι υπεύθυνοι παραγωγής εμπλέκονται σε αλλαγές και στην παρακολούθηση και εκτέλεση του προγράμματος παραγωγής και την εμπλοκή των καταλληλότερων χειριστών κατά μηχανή και περίπτωση προϊόντος. Ειδικό στην ανάπτυξη συσκευασίας επιλέγουν τα υλικά και το σχεδιασμό των περιεκτών,

το τμήμα προμηθειών επιλέγει και αναλαμβάνει να παρέχει τα υλικά βάσει προδιαγραφών, το τμήμα ποιοτικού ελέγχου τα εγκρίνει για παραγωγή και οι χειριστές – αποθηκάριοι και εργάτες παραγωγής – τα χειρίζονται με τον βέλτιστο τρόπο παρέχοντας το καλύτερο υλικό το οποίο μπορεί να δουλέψει η συγκεκριμένη γραμμή συσκευασίας.

Συμβατότητα υλικών και γραμμών συσκευασίας.

Από όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω για την εύρυθμη λειτουργία μιας γραμμής συσκευασίας βγαίνει το συμπέρασμα ότι τα υλικά συσκευασίας που χειριζόμαστε σε κάθε μια από τις μηχανές της γραμμής είναι καθοριστικός και ρυθμιστικός παράγοντας της απόδοσης.

Στις πλέον συνηθισμένες μηχανές γεμίσματος μπουκαλιών υπάρχουν αρκετοί παράγοντες οι οποίοι θα πρέπει να εξετάζονται όταν σχεδιάζεται ή τροποποιείται ένα μπουκάλι, ένα βάζο ή κάποιος παρόμοιος περιέκτης. Οι παράγοντες αυτοί σχετίζονται με το σκοπό χρήσης του περιέκτη, τον βαθμό προστασίας που απαιτείται, την εμφάνιση, το κόστος του τελικού προϊόντος, την επιθυμητή ταχύτητα λειτουργίας των μηχανών, την ευκολία χειρισμού, και άλλους σχετικούς παράγοντες. Οι επιλογές αφορούν στην επιλογή του υλικού του περιέκτη, το μέγεθος και το σχήμα του, τον τύπο της μηχανής γεμίσματος που θα χρησιμοποιηθεί, το σχεδιασμό του κατακτιού και τη διακόσμηση του περιέκτη. Σε πολλές περιπτώσεις οι επιλογές περιλαμβάνουν την χρήση διαθέσιμων μηχανών, την τροποποίηση υπαρχόντων, ή την κάλυψη των αναγκών με νέες.

Πιο ειδικά, οι παράγοντες που εμπλέκονται στην επιλογή του υλικού είναι:

Η δύναμη και αντοχή του. Ο περιέκτης θα πρέπει να είναι αρκετά δυνατός ώστε να μπορεί να περιέχει το προϊόν χωρίς να σπάζει ή να παραμορφώνεται κατά την διάρκεια των διεργασιών της συσκευασίας.

Σταθερότητα. Οι εύκαμπτοι περιέκτες προτιμούνται στην περίπτωση που το προϊόν για να χρησιμοποιηθεί απαιτείται να πιεστεί ο περιέκτης, ο οποίος και θα πρέπει να είναι σχεδιασμένος ανάλογα για αυτόν τον σκοπό. Αυτή η ευκολία κάμψης των τοιχωμάτων του περιέκτη όμως, μπορεί να προκαλέσει προβλήματα κατά το γέμισμα ή την εφαρμογή της ετικέτας επάνω του.

Βάρος. Περιέκτες με βάρος πέραν του απαραίτητου είναι πιο ακριβοί, τόσο σαν υλικό, όσο και κατά το κόστος μεταφοράς τους, ή κατά τον χειρισμό τους στις γραμμές συσκευασίας.

Ποικιλομορφία σχημάτων και μεγεθών. Γραμμές συσκευασίας όπου το προϊόν τοποθετείται στους περιέκτες βάσει όγκου του, δεν θα αποδίδουν ομοιόμορφα γεμάτο προϊόν εάν οι περιέκτες δεν είναι ομοιόμορφου και σταθερού σχήματος και μεγέθους. Διαφορές θα έχουν σαν αποτέλεσμα η γραμμή πλήρωσης να μετακινείται πάνω κάτω από περιέκτη σε περιέκτη, πράγμα που πέραν από την εμφάνιση, επηρεάζει την επιλογή του καταναλωτή ειδικά σε πιο ακριβά προϊόντα.

Χαρακτηριστικά φραγμών των υλικών. Κάποια προϊόντα απαιτούν περιέκτες ο οποίοι θα τα προστατεύουν από το φως, άλλα από την υγρασία ή/και το οξυγόνο ή άλλες συνθήκες. Έτσι, τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν οφείλουν να έχουν ανάλογες ιδιότητες φραγμού αυτών των περιβαλλοντικών παραγόντων.

Διαφάνεια. Η ιδιότητα των υλικών αυτών επιλέγεται με βάσει την οπτική του προϊόντος που απαιτείται όπου για να φαίνεται το προϊόν επιλέγονται διαφανείς περιέκτες ενώ στην περίπτωση ανάγκης προστασίας από το φως, ή πλήρους κάλυψης με ετικέτες, επιλέγονται λιγότερο διαφανείς ή και πλήρως αδιαφανείς περιέκτες.

Χαρακτηριστικά της επιφάνειας. Η επιφάνεια σε μερικά υλικά μπορεί εύκολα να χαραχθεί, μπορεί να μην είναι εύκολο να εκτυπωθεί καθώς δεν κατακρατείται το μελάνι σε αυτή, ή δεν έχουν σωστή εφαρμογή οι κόλλες. Για να αποκτήσουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά, οι επιφάνειες αυτές μπορούν να επεξεργαστούν με ειδικούς τρόπους και να μπορούν έτσι να χρησιμοποιηθούν στην επιλεγμένη εφαρμογή.

Σχεδιασμός του περιέκτη. Το χαρακτηριστικό σχέδιο του κάθε περιέκτη αποσκοπεί στο να τον κάνει ελκυστικό και μοναδικό στα μάτια του καταναλωτή, αλλά δεν θα πρέπει να το κάνει ταυτόχρονα και πιο δύσκολο στους χειρισμούς στις γραμμές παραγωγής. Τα χαρακτηριστικά αυτά θα πρέπει να εξετάζονται σε συνδυασμό και με το κόστος, τις διαθέσιμες μηχανές και την ταχύτητα λειτουργίας τους.

Ακόμα, ένα τετραγωνισμένο ή στρόγγυλο μπουκάλι είναι πιο εύκολα να περάσει στις γραμμές από ότι ένα οβάλ ή άλλου πιο ακαθόριστου σχήματος, όπου απαιτούνται ειδικές λαβίδες και οδηγοί ώστε να κρατηθεί ο περιέκτης σε σωστή και σταθερή θέση κατά την διεργασία της συσκευασίας.

Χειρολαβές και συστήματα παροχής του προϊόντος, όπως λαιμοί ιδιαίτερου σχεδίου ή τοποθέτησης στον περιέκτη, μπορεί να απαιτούν ειδικούς χειρισμούς και προσανατολισμό τους, ενώ κατά περίπτωση ή λαβές μπορεί να διευκολύνουν τον χειρισμό δίνοντας σημεία κρατήματος και ευκολότερης διαχείρισης.

Σταθερότητα. Κάποια χαρακτηριστικά προκαλούν μικρότερη σταθερότητα στον χειρισμό του περιέκτη, όπως τα πολύ ψηλά και λεπτά μπουκάλια, ειδικά τα χαμηλού βάρους, ανάλογου σχεδιασμού καπάκια και άλλα είναι σχετικά παραδείγματα.

Τοποθέτηση ετικετών. Για την διεργασία αυτή απαιτείται να είναι διαθέσιμη η ανάλογη επιφάνεια, να είναι σταθερό το μπουκάλι και στην σωστή θέση σε περίπτωση που απαιτείται προσανατολισμένη τοποθέτηση, να είναι καθαρά τα μπουκάλια εξωτερικά από προϊόν ή άλλες ξένες ύλες, να έχει επιλεγεί η κατάλληλη για την εφαρμογή κόλλα αλλά και υλικό ετικέτας, που να ανταποκρίνεται τόσο στην λειτουργία της μηχανής όσο και στην μετέπειτα διαχείριση του περιέκτη στην εφοδιαστική αλυσίδα.

Μια άλλη μεγάλη κατηγορία μηχανών συσκευασίας όπου απαιτείται η προσεκτική επιλογή των υλικών είναι η μηχανές σχηματοποίησης χαρτοκιβωτίων δευτερογενούς συσκευασίας για να γεμιστούν με το τελικό προϊόν, προς μεταφορά και αποθήκευσή του.

Το πρώτο βήμα στην επιλογή ενός δευτερογενούς περιέκτη για ένα προϊόν καθορίζεται από τον σκοπό χρήσης του σε σχέση με την ποσότητα που θα τοποθετηθεί σε αυτό και την προστασία που απαιτείται. Το μέγεθος και το βάρος που θα φέρει το χαρτοκιβώτιο θα καθορίσει και την απαιτούμενη αντοχή του. Η ευθραυστότητα του προϊόντος θα καθορίσει την προστασία που απαιτείται έναντι των διαφόρων περιβαλλοντικών κινδύνων στους οποίους θα εκτεθεί, ενώ η σύσταση του προϊόντος θα οδηγήσει στην επιλογή επιπλέον μέτρων ασφάλειας από διαρροές και λοιπές κακές διαχειρίσεις.

Ο τρόπος με τον οποίο θα τοποθετηθούν τα χαρτοκιβώτια, θα διαμετακομιστούν και θα αποθηκευθούν μπορεί επίσης να επηρεάσουν το βαθμό προστασίας και αντοχής των χαρτοκιβωτίων που θα επιλεγούν.

Σχέδιο δευτερογενούς περιέκτη. Τα πλέον χρησιμοποιούμενα χαρτοκιβώτια σήμερα είναι τα RSC (regular slotted cases), χαρτοκιβώτια με αναδιπλούμενα φύλλα στο επάνω και κάτω μέρος για να κλείνουν, ορθογώνια παραλληλόγραμμα στην τελική τους μορφή που κλείνουν με την εφαρμογή συνήθως κολλητικής ταινίας. Για περισσότερη προστασία χρησιμοποιούνται περιέκτες με διπλό πάτο ή αλληλεπικαλυπτόμενα πτερύγια κλεισίματος, επιπλέον εσωτερικές κυψέλες και λοιπά εσωτερικά τα οποία χαρίζουν πέρα από την αντοχή και σταθερότητα κατά την μεταφορά. Ανοίγοντας τα χαρτοκιβώτια αυτά μόνο από το επάνω μέρος τους, μπορούμε να αφαιρέσουμε τα προϊόντα και να ξαναχρησιμοποιήσουμε το χαρτοκιβώτιο για μία ή περισσότερες ακόμα φορές (επιστρεφόμενα χαρτοκιβώτια). Εάν η επιλογή της εταιρίας είναι προς αυτή την κατεύθυνση, θα πρέπει να γίνεται ιδιαίτερη ενημέρωση ώστε να επιτευχθεί ο τεκμηριωμένος οικονομικότερος σχεδιασμός και επιλογή υλικών για αυτή την εφαρμογή.

Μέγεθος δευτερογενούς περιέκτη. Σε πολλές περιπτώσεις είναι δυνατή η προμήθεια χαρτοκιβωτίων δεδομένων διαστάσεων από τη γκάμα επιλογής του προμηθευτή, ώστε να μην οδηγούμαστε σε σχεδιασμό ιδιαίτερων για την περίπτωση χαρτοκιβωτίων, που αυξάνουν το κόστος και μειώνουν την ευκολία παραγγελιών και παραδόσεων. Σε κάθε περίπτωση, η επιλογή θα πρέπει να γίνεται με γνώμονα την προστασία των προϊόντων αλλά και λοιπά εργονομικά στοιχεία χειρισμού των κιβωτίων, ειδικά στην περίπτωση χειρονακτικών χειρισμών. Σε περιπτώσεις αλλαγής των διαστάσεων θα πρέπει να ρυθμίζονται ανάλογα και οι όποιες μηχανές από τις οποίες διέρχεται το χαρτοκιβώτιο, ενώ για υψηλής απόδοσης και άρα και για αποδεδειγμένα οικονομικό όφελος, θα πρέπει να εξετάζεται και η αγορά νέων μηχανών.

Υλικά. Τα χαρτοκιβώτια αυτά κατασκευάζονται συνήθως από κυματοειδές χαρτόνι τοποθετημένο ανάμεσα σε δύο επίπεδα φύλλα. Η πληθώρα επιλογών σε υλικά και σχέδια κυματοειδούς χαρτονιού για την επίτευξη των επιθυμητών ιδιοτήτων τους, κάνει αυτά τα υλικά ιδιαίτερα δημοφιλή. Για αυξημένη αντοχή μπορούν να συνδυαστούν δύο ή και σε πιο σπάνιες περιπτώσεις απαιτήσεων εξαιρετικής αντοχής, περισσότεροι κυματοειδείς σχηματισμοί σε ένα χαρτοκιβώτιο. Αυτό μειώνει την ικανότητα χειρισμού τους από αυτοματοποιημένες μηχανές, οι οποίες απαιτούν ιδιαίτερους χειρισμούς, ρυθμίσεις και προσοχή κατά την λειτουργία τους, καθώς τα χαρτοκιβώτια αυτά γίνονται πιο σκληρά, δύσκαμπτα και δύσκολα στο να πάρουν και να κρατήσουν το τελικό τους σχήμα.

Σε γενικές γραμμές μεγάλα κύματα προσδίδουν μεγαλύτερη αντοχή στην κάθετη πίεση όπως κατά την στοίβαξη, ενώ μικρότερα δίνουν μεγαλύτερη αντοχή σε πλαϊνή πίεση, όπως κατά την εκτύπωση. Ένας συνδυασμός για την απόκτηση και των δύο ιδιοτήτων είναι η χρήση κυματοειδούς χαρτονιού με μεγάλα κύματα εσωτερικά και μικρά εξωτερικά, καταλήγοντας έτσι σε ένα πεντάφυλλο χαρτόνι.

Τέλος, για να αυξηθεί η αντοχή τους σε υγρασία, τα χαρτοκιβώτια επικυρώνονται εξωτερικά, ή χρησιμοποιούνται «παρθένα» δηλαδή μη-ανακυκλωμένα υλικά μεγαλύτερης αντοχής στην απορρόφηση υγρασίας ή και λοιπά χημικά.

Κλείσιμο. Η τεχνική που θα επιλεγεί για το κλείσιμο των χαρτοκιβωτίων μπορεί να προσδώσει επιπλέον δύναμη αλλά και να προστατεύσει το προϊόν αλλά και να είναι εύκολα χρησιμοποιούμενα από τους διαχειριστές τους σε όλη την εφοδιαστική αλυσίδα. Έτσι, μπορούν κολληθούν με κατάλληλες κόλλες, θερμές ή ψύχρες, πράγμα που δεν κλείνει το κενό ανάμεσα στα πτερύγια πράγμα το οποίο επιτυγχάνεται με τη χρήση κολλητικών ταινιών κατά μήκος των ανοιγμάτων αυτών, ενώ σε πιο βαριά χαρτοκιβώτια μπορούν να χρησιμοποιηθούν δέστρες ή συνδετήρες.

Διαχείριση ποιότητας και logistics

Οι συνεχώς αυξανόμενες πιέσεις του ανταγωνισμού και των κανονιστικών ρυθμίσεων καθώς και οι εξελίξεις της τεχνολογίας αναγκάζουν τις περισσότερες εταιρείες να έχουν περισσότερες απαιτήσεις από ένα μικρότερο αριθμό εργαζομένων. Αρκετές από τις ενδοεταιρικές δραστηριότητες όπως το προσωπικό, η παραγγελιοληψία, οι μεταφορές, η αποθήκευση, οι διανομές, η μηχανογράφηση κλπ δεν αποτελούν πλέον βοηθητικές δραστηριότητες. Έχουν εξελιχθεί σε κρίσιμες διεργασίες για την διασφάλιση της ικανοποίησης του πελάτη και την εκπλήρωση των αντικειμενικών σκοπών της εταιρείας. Υπάρχουν συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις για αύξηση των αποθηκευτικών χώρων, για εφαρμογή νέων διεργασιών, για σχεδιασμό νέων αποθηκευτικών συστημάτων, για βελτίωση των συστημάτων πληροφορικής και για προμήθεια σύγχρονων μέσω ενδο-διακίνησης και χειρισμού υλικών. Συγχρόνως όμως υπάρχουν συνεχείς πιέσεις για αύξηση της παραγωγικότητας και για μείωση των λειτουργικών εξόδων. Όλα αυτά έχουν ως αποτέλεσμα καθημερινά, λιγότερα άτομα, με λιγότερους πόρους, να προσπαθούν να προσφέρουν περισσότερες υπηρεσίες σε περισσότερους πελάτες χωρίς να υποβαθμιστεί σταδιακά η ποιότητα των παρεχομένων υπηρεσιών.

Στην περίπτωση των υπηρεσιών logistics, οι διεργασίες διαχείρισης της ποιότητας θα πρέπει να συνδέουν τις διεργασίες και τα κρίσιμα χαρακτηριστικά των διαφόρων ενεργειών του κύκλου ζωής της κάθε δραστηριότητας, να εστιάζει στις διάφορες δυνατότητες της υπηρεσίας, να τις συντονίζει και να ενθαρρύνει την ομαδική δουλειά ανάμεσα στο προσωπικό των πωλήσεων, της παραγγελιοληψίας, των προμηθειών, του λογιστηρίου, της αποθήκευσης, των μεταφορών, της διανομής, της μηχανογράφησης κλπ. Με την αναγνώριση των αλληλεξαρτήσεων ανάμεσα στις ιδιότητες της κάθε διεργασίας και στις απαιτήσεις του πελάτη, η εταιρεία σε κάθε στάδιο είναι δυνατόν να προβεί στις απαραίτητες ενέργειες έτσι ώστε να προλαμβάνονται οι απαιτήσεις των πελατών, να τίθενται σε προτεραιότητα και να ενσωματώνονται επιτυχώς στις καθημερινές λειτουργίες της. Η παραδοσιακή προσέγγιση στην διασφάλιση της ποιότητας κατά την παροχή υπηρεσιών logistics δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην εφαρμογή προτύπων, στην τήρηση διαδικασιών, στην αυτοματοποίηση της παραγωγής ώστε να περιορισθεί το προσωπικό, ή ακόμη, στις πιο “πεφωτισμένες” εταιρείες, στην δημιουργία Κύκλων Ποιότητας ώστε να δίδεται κίνητρο στο προσωπικό - εργαζόμενους για να επιλύουν τα προβλήματα. Σιγά - σιγά όμως οι επιχειρήσεις αυτές ανακαλύπτουν ότι η πιστή συμμόρφωση με τις απαιτήσεις των προτύπων της σειράς ISO 9000, η συνέπεια και η απουσία προβλημάτων δεν αποτελεί πλέον ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε ένα χώρο που “όλοι είναι ίδιοι”, δηλαδή υπάρχουν μόνο πιστοποιημένες εταιρείες. Για παράδειγμα, παρά τα πολυδιαφημισμένα επιτεύγματα των ελληνικών εταιρειών για βελτίωση της ποιότητας και για την απόκτηση “διαβατηρίων και βραβείων ποιότητας” τα εισαγόμενα προϊόντα παραμένουν να είναι πιο ανταγωνιστικά.

Τα παραδοσιακά συστήματα διαχείρισης της ποιότητας έχουν ως στόχο την ελαχιστοποίηση της “αρνητικής ποιότητας” (δηλαδή της παραγωγής προϊόντων ή της παροχής υπηρεσιών σε ένα μη ικανοποιητικό επίπεδο, της ασυνέπειας, της μεταβλητότητας). Με τα παραδοσιακά συστήματα, το βέλτιστο αποτέλεσμα είναι *καμία μη συμμόρφωση, κανένα πρόβλημα*. Όπως όμως αναφέρθηκε και παραπάνω, αυτό το αποτέλεσμα δεν αποτελεί πλέον ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε ένα χώρο που “όλοι είναι ίδιοι”. Παράλληλα, με την ελαχιστοποίηση της παραγωγής προϊόντων ή της παροχής υπηρεσιών σε ένα μη ικανοποιητικό επίπεδο θα πρέπει να υπάρχει και η αντίστοιχη μεγιστοποίηση της “θετικής ποιότητας”. Είναι αυτό που δημιουργεί πραγματική αξία (value). Η νέα αντίληψη ποιότητας εστιάζει στον ικανοποιημένο πελάτη. Με άλλα λόγια, στοχεύει στην μεγιστοποίηση της ικανοποίησης του πελάτη (“θετική ποιότητα”) η οποία μετράται με συγκεκριμένους δείκτες (επαναλαμβανόμενοι πελάτες, αύξηση τζίρου ανά πελάτη, ικανοποίηση πελάτη κλπ). Δίνει έμφαση στην παροχή αξίας, αναζητώντας τις εκπεφρασμένες και τις ευκόλως εννοούμενες απαιτήσεις του πελάτη, μεταφράζοντας αυτές σε κίνητρα για περαιτέρω ενέργειες βελτίωσης και κοινοποιώντας αυτές σε όλο το προσωπικό της εταιρείας. Επιπλέον, επιτρέπει στους πελάτες να κατηγοριοποιούν και να ιεραρχούν τις απαιτήσεις τους, να κοινοποιούν στην εταιρεία τις εντυπώσεις τους καθώς και τα στοιχεία σύγκρισής της σε σχέση με τον ανταγωνισμό της και τέλος να την παροτρύνουν να βελτιστοποιεί εκείνες τις δραστηριότητές που θα της αποφέρουν το μέγιστο δυνατό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα.

Συσκευασία και logistics

Το τελικό προϊόν σήμερα χαρακτηρίζεται από το προϊόν και τη συσκευασία και το περιβάλλον διακίνησης του, δηλαδή από το σύνολο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Έτσι, το επιτυχημένο προϊόν είναι αυτό που λαμβάνει υπόψη του όλη την εφοδιαστική αλυσίδα και συνυπολογίζει τις ξεχωριστές παραμέτρους σε κάθε στάδιο της. Η συσκευασία των προϊόντων ακολουθεί μια μακρά πορεία στη ανάπτυξη της στην οποία εμπλέκονται όλα σχεδόν τα τμήματα μιας οργανωμένης επιχείρησης, από το marketing και τις προμήθειες μέχρι την παραγωγή και τη διακίνηση, ενώ πολύ σημαντικό ρόλο παίζει πλέον και ο ίδιος ο καταναλωτής σαν τελικός διαχειριστής των προϊόντων. Συνεπώς, η γνώση του ρόλου της συσκευασίας στην εφοδιαστική αλυσίδα είναι πλέον απαραίτητη σαν ολότητα τόσο για τα τμήματα που αναπτύσσουν τα προϊόντα (σχεδιαστές, marketing), τα τμήματα που ασχολούνται με την προμήθεια των υλικών, την παραγωγή και φυσικά τον ποιοτικό έλεγχο και την αποθήκευση-διακίνηση (logistics) των προϊόντων. Η κατανόηση της σημασίας της και η επίδραση της σε κάθε σημείο της ανάπτυξης της θα βοηθήσει στην κοινή αντίληψη και άρα στο βέλτιστο αποτέλεσμα, δηλαδή την κατάλληλη συσκευασία, στο σωστό κόστος τον σωστό χρόνο.

Όπως αναλύεται και σε όλο σχεδόν το περιεχόμενο του βιβλίου, η σχέση της συσκευασίας με το δίκτυο αποθήκευσης και διακίνησης προϊόντων είναι εξαιρετικά στενή και η αποδοτικότητα των συστημάτων των εφοδιαστικών αλυσίδων άμεσα συνυφασμένη με πολλά και βασικά σημεία των γενικότερων διεργασιών σε μια εταιρία όπου αξιοποιείται η ολότητα των οργάνων και των πρακτικών που χρησιμοποιούνται από την οικονομία για να εκπληρωθεί ο στόχος της συσκευασίας, δηλαδή υπό μια πιο στενή έννοια συσκευασία είναι ο γενικός όρος για τη διαδικασία συσκευασίας και τα εξαρτήματα που την υποστηρίζουν.

Έτσι, αναφέρονται εδώ συνοπτικά μερικά από τα κύρια σημεία εμπλοκής της συσκευασίας όπως της επιλογής και χρήσης των κατάλληλων υλικών συσκευασίας, των μεθόδων συσκευασίας και των μέσων και τεχνικών που χρησιμοποιούνται, ο σχεδιασμός της συσκευασίας, το περιβάλλον διακίνησης και φυσικά το ίδιο το προϊόν, ενώ αναλυτικότερη παρουσίαση γίνεται στα ανάλογα κεφάλαια.

Διαχείριση φυσικής διακίνησης

Η φυσική διακίνηση συμπεριλαμβάνει την συσκευασία, την μεταφορά και τοποθέτηση σε αποθηκευτικούς χώρους, τα τελικά προϊόντα, τους αποθηκευτικούς χώρους, την περαιτέρω μεταφορά σε εξωτερικό περιβάλλον, τις φορτώσεις και εκφορτώσεις. Η διαχείριση της φυσικής διακίνησης συμπεριλαμβάνει όλες εκείνες τις ενέργειες οι οποίες θα οδηγήσουν στην αποτελεσματικότερη και οικονομικότερη μεταφορά των παραγόμενων προϊόντων, από το σημείο παραγωγής στον τελικό καταναλωτή.

Η διακίνηση είναι ουσιαστικά μια υπηρεσία με του ακόλουθους στόχους οι οποίοι είναι άμεσα συνδεδεμένοι με τα λοιπά στοιχεία της οργάνωσης της παραγωγής της κάθε εταιρίας:

Μεταφορές. Η διαχείριση και ο συντονισμός της μεταφοράς των αγαθών και των υπηρεσιών που παράγονται από τον οργανισμό από το σημείο παραγωγής μέχρι την κατανάλωση.

Μείωση κόστους. Η διαχείριση της διακίνησης θα πρέπει να εξασφαλίζει ότι το παραγωγικό σύστημα χρησιμοποιείται στα όρια της απόδοσης του μειώνοντας έτσι το κόστος ανά μονάδα προϊόντος κατά την μεταφορά του.

Ανάγκες της επιχείρησης. Η διαχείριση της διακίνησης θα πρέπει να εξασφαλίζει ότι το σύστημα που εφαρμόζεται ικανοποιεί τις ανάγκες της επιχείρησης σχετικά με την μέθοδο μεταφοράς, το κόστος της, την χρονική περίοδο διανομής, την εργατική δύναμη που απαιτείται και λοιπά.

Πλάνο της εταιρίας. Θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι η διεργασία της διανομής είναι ενσωματωμένες στο συνολικό σχέδιο λειτουργίας του οργανισμού και πως σε κάθε στιγμή είναι γνωστές οι ανάγκες της εύρυθμης λειτουργίας του τμήματος αυτού καθώς και όλων των υπολοίπων, άμεσα συνδεδεμένων τμημάτων, π.χ. σημεία πώλησης, αποθήκευσης κ.λπ.

Υπηρεσίες προς τους καταναλωτές. Θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι το επιλεγμένο σύστημα διανομής ικανοποιεί τις απαιτήσεις των πελατών στη βάση των κατά περίπτωση συμφωνηθέντων και από τις δύο μεριές επιπέδων.

Ένα εξαιρετικά σημαντικό κομμάτι της εφοδιαστικής αλυσίδας των υλικών συσκευασίας αλλά και εν γένει των υλικών, είναι το σύστημα με το οποίο γίνεται η διαχείριση τους. Η σημαντικότητα του έγκειται στο ότι απαιτείται να τηρούνται:

Η ροή των υλικών. Απαραίτητη προϋπόθεση για να εξασφαλιστεί η διακίνηση προς τους πελάτες των τελικών προϊόντων, είναι να διατηρηθεί η ομαλή ροή των υλικών σε τρία επίπεδα:

Εισερχόμενα (inbound logistics),

Εσωτερικά (internal logistics) και

Εξερχόμενα (outbound logistics)

Υγιεινή και ασφάλεια. Οι εργαζόμενοι θα πρέπει να εργάζονται σε περιβάλλον που τους εξασφαλίζει την υγιεινή και ασφάλειά τους. Σε μεγάλο βαθμό αυτό είναι άμεσα συνυφασμένο με τα υλικά που καλούνται να

διαχειριστούν. Έτσι, στην περίπτωση υλικών με επικίνδυνες ιδιότητες όπως τα εύφλεκτα και λοιπές επικίνδυνες ουσίες, θα πρέπει να διασφαλιστεί η σωστή συσκευασία, αποθήκευση και διακίνηση τους. Αυτό, απαιτεί γνώση τόσο των κανόνων όσο και των υλικών που θα διασφαλίσουν την ακεραιότητα των συσκευασιών όσο και την αντοχή τους κατά τα διάφορα στάδια διακίνησης των.

Ο παράγοντας κόστος. Θεωρείται απαραίτητη κάθε ενέργεια που αποσκοπεί στην μείωση του κόστους του εξοπλισμού, του εργοστασίου, του χρόνου και της εργασίας. Όσο πιο αποδοτική και γρήγορη η μεταφορά των υλικών τόσο χαμηλότερο το κόστος ανά μονάδα προϊόντος.

Καταστροφή υλικών. Αποτελεί ένα επιπλέον κόστος το οποίο και θα πρέπει να μειωθεί όσο είναι δυνατόν εφαρμόζοντας αποτελεσματικές μεθόδους διαχείρισης των υλικών. Πέρα από το άμεσο κόστος των κατεστραμμένων υλικών, ένα επιπλέον πρόβλημα μπορεί να προκύψει με την συνεπακόλουθη μη επάρκεια τους, καθώς έτσι υπάρχει ο κίνδυνος να μην ολοκληρώνονται οι παραγωγές και να παρατηρείται έλλειψη προϊόντος και μείωση πωλήσεων. Σε γενικές γραμμές, η καταστροφή κάποιου ποσοστού των υλικών θα πρέπει να θεωρείται δεδομένη, είτε κατά την μεταφορά και αποθήκευση τους, είτε κατά τον χειρισμό τους στις μηχανές. Τα ποσοστά αυτά θα πρέπει να κοινοποιούνται τόσο στο τμήμα προγραμματισμού, όσο και στο τμήμα αγορών για την παραγγελία επιπλέον υλικών σε ποσότητες ικανές να καλύψουν τις κατεστραμμένες.

Η επιλογή του καταλληλότερου συστήματος διαχείρισης υλικών, θα πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας υπόψη μερικούς πολύ σημαντικούς παράγοντες. Μεταξύ αυτών είναι η θέση των κέντρων όπου αποθηκεύονται τα υλικά. Καθώς υλικά μπορούμε να έχουμε τόσο σε αποθήκες του προμηθευτή κατόπιν σχετικής συμφωνίας πρόσκαιρης αποθήκευσης ή/και σταδιακής παράδοσης, στις αποθήκες ή στον ίδιο τον χώρο της παραγωγής, αλλά και σε λοιπά μέρη αποθήκευσης και διακίνησης υλικών. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να είναι γνωστά τόσο η μέθοδος όσο και οι ποσότητες τις οποίες θα αποστέλλει ο εκάστοτε προμηθευτής προς την εταιρία, βάσει και σχετικών συμφωνιών με το τμήμα προμηθειών, αλλά και τις απαιτήσεις του προγραμματισμού. Επίσης, η φύση και τα χαρακτηριστικά των ίδιων των υλικών, τα σχέδια και οι φόρμες οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ώστε να διατηρούνται κατάλληλα για την παραγωγή για το μέγιστο δυνατόν διάστημα. Αυτό, ίσως απαιτεί και την τοποθέτηση τους ανάλογα με τις απαιτήσεις τους σε συγκεκριμένες, με ελεγχόμενες ή μη κλιματικές συνθήκες, αποθήκες. Σε κάθε περίπτωση τα διαθέσιμα κεφάλαια και οι πηγές, ανθρώπινες και υλικοτεχνικές, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, τόσο στην καθημερινή πρακτική και λειτουργία όσο και σαν συνολικά κόστη λειτουργίας. Σημαντικό σημείο αποτελεί η δυνατότητα πρόβλεψης των μελλοντικών αναγκών και απαιτήσεων με ρεαλιστική και τεκμηριωμένη προσέγγιση, ώστε να επιλεγεί ένα σύστημα το οποίο θα μπορεί με ευελιξία και προσαρμοστικότητα να χρησιμοποιηθεί και για τις επερχόμενες ανάγκες του οργανισμού.

Με την παραλαβή των υλικών και την μεταφορά της ευθύνης, συνήθως στις αποθήκες και στην παραγωγή, είναι σημαντικό να βεβαιωθούν οι ιδανικές συνθήκες χειρισμού των υλικών. Θα πρέπει να είναι γνωστοποιημένα σε όλους τους χειριστές τα εξαρτήματα που τυχόν θα απαιτούνται για τον κάθε χειρισμό προς αποφυγή λαθών και καταστροφών. Προϋπόθεση φυσικά είναι οι χειριστές να έχουν εκπαιδευθεί αναλόγως και να εξετάζονται για την επάρκεια των γνώσεων και των ικανοτήτων τους. Οι χειριστές αυτοί είναι σε πολλές περιπτώσεις και οι πλέον κατάλληλες και αξιόπιστες πηγές ενημέρωσης σχετικά με την καταλληλότητα και επάρκεια των επιλεγμένων μέσων χειρισμού και θα πρέπει να υπάρχει η σχετική αμφίδρομη επικοινωνία και πληροφόρηση με το τους διαχειριστές και υπεύθυνους των συστημάτων. Τέλος, θα πρέπει να είναι πλήρως ενημερωμένα και όλα τα τμήματα που συσχετίζονται με το σύστημα διαχείρισης των υλικών, κυρίως σε σχέση με τα προβλήματα και του όποιους περιορισμούς υπάρχουν.

Συστήματα χειρισμού των υλικών

Ο αποτελεσματικότερος χειρισμός συντελείται με την μετακίνηση κατά τον ποιο ή τρόπο την σωστή χρονική στιγμή από και προς το σωστό μέρος στην απαιτούμενη ποσότητα και με την μέγιστη οικονομία χώρου. Ο χειρισμός δεν προσαυξάνει την αξία του προϊόντος, γι αυτό και απαιτείται η μέγιστη απόδοση στις πιο πάνω εμπλεκόμενες διεργασίες στις πρώτες ύλες από το σημείο προμήθειά των μέχρι το σημείο επεξεργασίας, των υλικών μεταξύ των διαφορετικών σταδίων επεξεργασίας, και των τελικών προϊόντων στα στάδια της συσκευασίας, αποθήκευσης και διακίνησης. Πέρα από τις άμεσες οικονομικές συνέπειες, η σωστή χρήση των υλικών προσφέρει και άλλα πλεονεκτήματα όπως η βελτίωση την χρήσης των χώρων αποθήκευσης και των χρόνων απασχόλησης ανθρώπων και μηχανών, την μείωση των απορριμμάτων, την βελτίωση του ελέγχου των αποθεμάτων και της αναπλήρωσης των, την βελτίωση των συνθηκών εργασίας και των λαθών των χειριστών, με τελικό αποτέλεσμα την βελτίωση της παραγωγικότητας, της ποιότητας των προϊόντων και την μείωση των ελλείψεων.

Για τον σχεδιασμό και την βελτίωση ενός συστήματος διαχείρισης υλικών, θα πρέπει να αναζητηθούν απαντήσεις για ερωτήματα σχετικά με το υπάρχον σύστημα, ποιο το παρόν κόστος για κάθε μονάδα προϊόντος, πως μπορεί να βελτιωθεί το παρόν σύστημα και τι μειώσεις αναμένονται με την εφαρμογή ενός νέου

συστήματος. Σύμφωνα με το Ινστιτούτο Διαχείρισης Υλικών των ΗΠΑ (Material Handling Institute, Pittsburgh, PA, USA), υπάρχουν είκοσι βασικές αρχές διαχείρισης των υλικών:

Η αρχή του προγραμματισμού. Προγραμματίστε όλες τις διαχειρίσεις των υλικών και τις δραστηριότητες αποθήκευσης ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη συνολική απόδοση των λειτουργιών.

Η αρχή των συστημάτων. Ενσωματώστε όσα συστήματα διαχείρισης είναι πρακτικώς δυνατόν, σε ένα συντονισμένο σύστημα δράσεων που να καλύπτουν τους προμηθευτές, τις αποθήκες, την παραγωγή, τις επιθεωρήσεις, τη συσκευασία, τις αποστολές και μεταφορές, καθώς και τους πελάτες.

Η αρχή της ροής των υλικών. Προτείνετε μια συνέχεια διεργασιών και σχεδιασμού τοποθέτησης των μηχανών και εργαλείων ώστε να βελτιστοποιηθεί η ροή των υλικών.

Η αρχή της απλοποίησης. Απλοποιήστε την διαχείριση μειώνοντας, εξαλείφοντας ή συνδυάζοντας μη απαραίτητες ενέργειες και/ή εξαρτήματα.

Η αρχή της βαρύτητας. Χρησιμοποιήστε την βαρύτητα προς όφελος των διεργασιών διαχείρισης, όπου είναι πρακτικών δυνατόν.

Χρήση χώρων. Δημιουργήστε τον βέλτιστο χώρο κτηρίων.

Η αρχή του μεγέθους της μονάδας του υλικού. Αυξήστε την ποσότητα, το μέγεθος ή το βάρος των μονάδων φόρτωσης (unit loads) ή των ρυθμών ροής.

Η αρχή της αυτοματοποίησης. Επιδιώξατε την αυτοματοποίηση των διεργασιών κατά την παραγωγή, την διαχείριση και την αποθήκευση.

Η αρχή της επιλογής των μηχανημάτων. Εξετάσετε όλα τα θέματα των υλικών που θα διαχειριστείτε, την μεταφορά τους και την μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί.

Η αρχή της τυποποίησης. Τυποποιήστε όλες τις μεθόδους διαχείρισης καθώς και τους τύπους και το μέγεθος των εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις διεργασίες.

Η αρχή της προσαρμοστικότητας. Χρησιμοποιήστε μεθόδους και μηχανές που θα μπορούν να αποδώσουν καλύτερα μια σειρά εργασιών και εφαρμογών, όπου η χρήση εξειδικευμένων μηχανών δεν δικαιολογείται.

Η αρχή του «νεκρού» φορτίου. Μειώστε την αναλογία «νεκρού» φορτίου των υλικών με το πραγματικό φορτίο που μετακινείται.

Η αρχή της χρησιμοποίησης. Σχεδιάστε ώστε να αποφύγετε διορθώσεις και βλάβες και προγραμματίστε προληπτική συντήρηση.

Η αρχή των πεπαλαιωμένων. Απομακρύνεται πεπαλαιωμένες μεθόδους, εξαρτήματα και εργαλεία όταν μπορούν να αντικατασταθούν με νέα πιο αποδοτικά.

Η αρχή του ελέγχου. Χρησιμοποιήστε τις διεργασίες χειρισμού για την βελτίωση του ελέγχου της παραγωγής, του αποθέματος και των παραγγελιών.

Η αρχή της ικανότητας. Τα χρησιμοποιούμενα εργαλεία θα πρέπει να συνδράμουν στην επιθυμητή ικανότητα παραγωγής.

Η αρχή της απόδοσης. Προσδιορίστε την αποτελεσματικότητα της απόδοσης διαχείρισης με γνώμονα το κόστος για κάθε μονάδα που διαχειρίζεται το σύστημα.

Η αρχή της ασφάλειας. Επιδιώξατε την χρήση των κατάλληλων εκείνων μεθόδων και εξαρτημάτων που θα προσφέρουν την μέγιστη ασφάλεια κατά την διαχείριση των υλικών.

Συσκευασία αποθήκευσης και διακίνησης

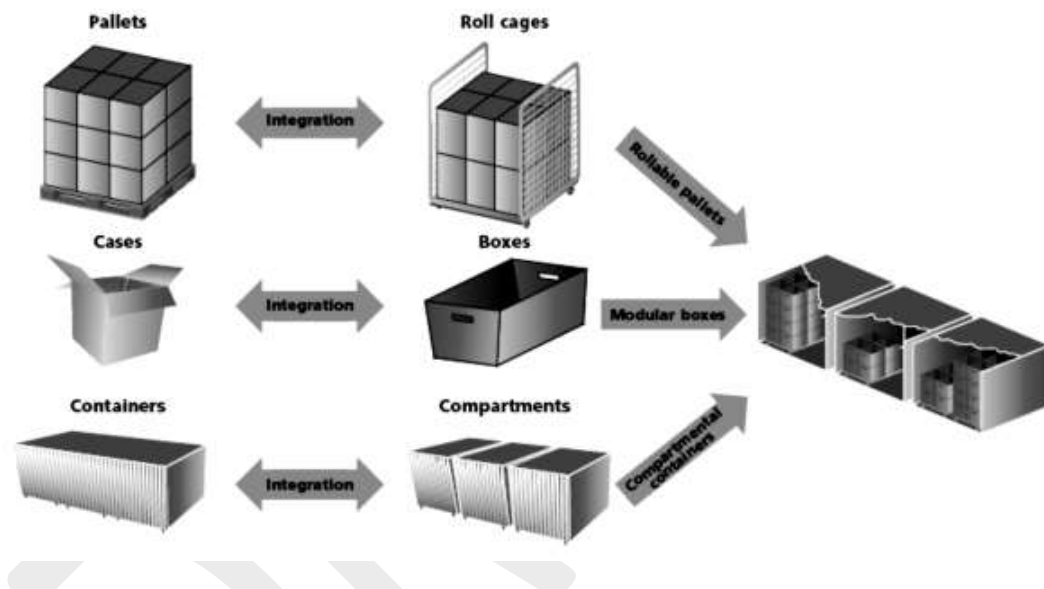
Μονάδες διακίνησης (unit loads)

Οι μονάδες διακίνησης (unit loads) διαδραματίζουν βασικό ρόλο σε ολόκληρη τη αλυσίδα εφοδιασμού μέσω της ομαδοποίησης των συσκευασιών των προϊόντων για να διευκολύνουν τη μεταφορά και το χειρισμό. Οι μονάδες διακίνησης είναι βασικοί οδηγοί δαπανών και χρησιμοποιούνται από τους κατασκευαστές, τους λιανοπωλητές και τους διάφορους φορείς παροχής υπηρεσιών όπου εμπλέκονται θέματα μεταφοράς, αποθήκευσης, χειρισμού και συσκευασίας, τα οποία όλα μαζί, αντιπροσωπεύουν το 12-15% της τιμής των λιανικών πωλήσεων. Η ανάπτυξη των αποδοτικότερων μονάδων διακίνησης είναι κρίσιμη για την επιτυχία μιας επιχείρησης διακίνησης και υπολογίζεται για να μειώσει την τιμή των λιανικών πωλήσεων κατά 1.2%.

Ένα αποδοτικό πρόγραμμα μονάδων διακίνησης συνδράμει σημαντικά στην ολοκλήρωση των αλυσίδων εφοδιασμού, μέσω της εναρμόνισης των φυσικών πτυχών της αλυσίδας εφοδιασμού. Η παραδοσιακή προσέγγιση στη διαχείριση των αλυσίδων εφοδιασμού ήταν η βελτιστοποίηση του κάθε μέρος, συχνά εις βάρος της συνολικής αποδοτικότητας της αλυσίδας. Χαρακτηριστικά τις παραγωγικές μονάδες έχουν χρησιμοποιήσει τις παλέτες για να βελτιστοποιήσουν τη χρήση χώρου και οι λιανοπωλητές έχουν βελτιώσει τη διαχειριζόμενη παραγωγικότητα με τη χρησιμοποίηση άλλων μέσω όπως κλουβιών κ.α. Αυτή η ξεχωριστή προσέγγιση έχει οδηγήσει σε έναν περιττό, μη προστιθέμενης αξίας χειρισμό, όπου τα φορτία επανασυσκευάζονται ή επανατοποθετούνται σε μέσα διακίνησης εκ νέου, συχνά περισσότερο από 10 φορές, στα διαφορετικά στάδια

στη αλυσίδα εφοδιασμού. Το πρόβλημα εντείνεται και από την ευρεία ποικιλία των διαστάσεων των μονάδων διακίνησης σε ολόκληρη την Ευρώπη και φυσικά σε όλο τον υπόλοιπο εμπορικό κόσμο. Υπάρχουν πάρα πολλά πρότυπα και διαφορές από χώρα σε χώρα. Τα καθιερωμένα διεθνή πρότυπα δεν χρησιμοποιούνται πάντα οπότε και απαιτείται ένα ευρέως εφαρμοσμένο, συνεπές στο σύνολο του ευρωπαϊκό πρότυπο. Αυτό θα πρέπει να βασίζεται στην αρχή των δεδομένων διαμόρφωσης το οποίο βελτιώνει εντυπωσιακά τη χρησιμοποίηση του χώρου. Μέσα στην ευρωπαϊκή βιομηχανία η κύρια ενότητα που γίνεται αποδεκτή είναι η παλλέτα 600x400 χιλ. και συστήνεται ως βάση για τις διαστάσεις των μονάδων διακίνησης. Αν και η εναρμόνιση των μονάδων διακίνησης είναι βασική στη αλυσίδα εφοδιασμού και στα αναμενόμενα αποτελέσματα ολοκλήρωσης και σημαντικής βελτίωσης της, εξακολουθεί να υπάρχει ένα ευρύ φάσμα διαστάσεων δευτερογενούς συσκευασίας λόγω του μεγέθους των πρωτογενών προϊόντων. Αυτό προσθέτει επιπλέον στην πολυπλοκότητα τυποποίησης των μονάδων διακίνησης.

Περισσότεροι από 30 διαφορετικοί μεγέθη και τύποι παλετών είναι σε λειτουργία σε ολόκληρη την Ευρώπη. Αυτοί πρέπει να οργανωθούν ορθολογικά σε τέσσερις συνιστώμενες διαστάσεις. Τα συνήθη τρέχοντα ύψη παλετών κάνουν λιγότερο αποδοτική την χρήση των εσωτερικών υψών των οχημάτων διακίνησης. Κατά συνέπεια, απαιτούνται περίπου 15% περισσότερα φορτηγά. Δεδομένου ότι η τεχνολογία οχημάτων αναπτύσσεται και το πρόσθετο εσωτερικό ύψος φορτηγών μπορεί να εξασφαλιστεί, θα μπορούν κατά συνέπεια και τα πρότυπα ύψη παλετών να αυξηθούν ανάλογα με το εσωτερικό ύψος των φορτηγών.



Μονάδες διακίνησης δευτερογενούς συσκευασίας. Οι μονάδες διακίνησης δευτερογενούς συσκευασίας περιλαμβάνουν τη «συσκευασία που δημιουργείται ώστε να αποσταλεί στην αγορά μια ομαδοποίηση ορισμένων ποσοτήτων των μονάδων πώλησης δηλαδή των μονάδων του τελικού προϊόντος, όπως πωλείται στον τελικό χρήστη ή τον καταναλωτή, ή αλλιώς εξυπηρετεί στο να ξαναγεμιστούν τα ράφια στο σημείο πώλησης και μπορεί να αφαιρεθεί από το προϊόν χωρίς να επηρεαστούν τα χαρακτηριστικά του» (94/62/EC). Άλλοι όροι που χρησιμοποιούνται σε αυτό το πλαίσιο περιλαμβάνουν την συσκευασία «μεταφοράς» ή «διανομής». Οι μονάδες διακίνησης δευτερογενούς συσκευασίας είναι κιβώτια, κλουβιά και δίσκοι, φτιαγμένοι από διάφορα υλικά όπως κυματοειδές χαρτόνι, χαρτί, πλαστικό, φύλλο αλουμινίου, σύνθετα υλικά, ή ακόμη και συνδυασμούς υλικών. Σχεδιάζονται για μία χρήση ή για επαναχρησιμοποίηση. Στην δεύτερη περίπτωση, η συσκευασία είναι πιθανό να αποτελείται από συνθετικά υλικά λόγω της διάρκειας και αντοχής των, της υγιεινής και του γενικά χαμηλότερου κόστους.

Οι μονάδες διακίνησης δευτερογενούς συσκευασίας χρησιμοποιούνται σε πέντε κύριες δραστηριότητες κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού,:

- Συσκευασία
- Παλλετοποίηση
- Κατάταξη των προϊόντων
- Πλήρωση ραφιών
- Ανακύκλωση/διάθεση.

Από αυτά προκύπτουν και πέντε βασικές απαιτήσεις:

- Αποτελεσματική χρήση χώρου
- Αποδοτικότητα διαχείρισης
- Προστασία πρωτογενών προϊόντων

- Αποδοτική χρησιμοποίηση του υλικού συσκευασίας
- Ανακυκλωσιμότητα/απόρριψη.

Χρήση χώρου. Σήμερα, οι πρωτογενείς συσκευασίες συγκεντρώνονται συχνά σε δεδομένων διαστάσεων χαρτοκιβώτια, οι διαστάσεις των οποίων εξαρτώνται από τις διαστάσεις αρχικών προϊόντων, τον επιθυμητό αριθμό κατά περίπτωση και το πάχος του υλικού συσκευασίας. Για να αξιολογήσει την έκταση του προβλήματος του κακού σχεδιασμού και άρα του επιπλέον χώρου που πιθανά να λαμβάνουν τέτοιες μονάδες διακίνησης, μπορούν να ληφθούν υπόψη τα εξής:

- Τα δύο τρίτα του όγκου των μονάδων διακίνησης είναι επιλεγμένος σε στη βάση των διαστάσεων των πρωτογενών συσκευασιών.
- Η κατά μέσο όρο χρησιμοποίηση των διαθέσιμων χώρων από τη δευτερογενή συσκευασία είναι χαμηλή.
- Χρησιμοποιούνται πάρα πολλές διαφορετικές διαστάσεις χαρτοκιβωτίων διακίνησης.
- Πάνω από το 90 τοις εκατό της συνολικής απόδοσης χρήσης του όγκου επιτυγχάνεται με επτά μόνο διαστάσεις, οι οποίες προέρχονται από την βασική 600x400 χιλ.
- Η εμφάνιση στα ράφια ασκεί συγκριτικά μικρή επίδραση στην επιλογή διαστάσεις φορτίων δευτεροβάθμιων μονάδων. Η χρήση περισσότερων διαστάσεων δευτερογενών περιεκτών προσθέτει πολυπλοκότητα χωρίς όμως και να βελτιώνει την χρήση του διαθέσιμου χώρου.

Οι ακόλουθες συστάσεις βασίζονται στην διαφοροποίηση μεταξύ των χώρων που παρέχονται στη αλυσίδα εφοδιασμού για τις δευτερογενείς συσκευασίες και των συσκευασιών που θα μπορούσαν να δώσουν την βέλτιστη χρήση αυτών των χώρων. Σαν χώρος αναφέρεται η διάσταση ή η επιφάνεια του χώρου και όχι ο όγκος που καταλαμβάνει συνολικά η δευτερογενής συσκευασία. Συστάσεις:

- Τα διαστήματα που παρέχονται πρέπει να βασιστούν στην βασική 600x400 μονάδα. Αυτό οδηγεί στην προσθήκη πέντε διαστάσεων: 1200x800, 800x600, 600x400, 400x300 και 300x200 χιλ.
- Το ύψος θα πρέπει να είναι σε συμμόρφωση με το μέγιστο ύψος των παλλετών όπως ορίζεται από την συσκευασία και το διαθέσιμο ύψος αποθήκης ή μεταφοράς.

Πρόσθετες οδηγίες.

- Εάν τα φορτία δευτεροβάθμιων μονάδων δεν μπορούν να σχεδιαστούν σε συμφωνία με τις ανωτέρω διαστάσεις, πρέπει να ταιριάζουν με το διαθέσιμο χώρο των παλλετοθέσεων.
- Οι διαστάσεις 1200x1000, 400x200 και 300x100 χιλ. μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν.
- Τα πρωτογενή προϊόντα θα μπορούν ακόμα να προσαρμοστούν και να διαμορφωθούν, λαμβάνοντας υπόψη και τις απαιτήσεις της αγοράς.
- Δεν επιτρέπεται ανοχή προς τα πάνω. Πλήρεις μονάδων διακίνησης, δεν μπορούν να υπερβαίνουν το σχεδιασμένο χώρο ακόμα και εάν υπάρχει διόγκωση λόγω κύρτωσης προερχόμενη από υπερ-συσσώρευση φορτίου.

Δυστυχώς, μια τέτοια προσέγγιση δεν αποτελεί την τρέχουσα κοινή πρακτική, κατά την οποία η συσκευασία έχει ως πρώτιστο σκοπό να προστατεύσει τα προϊόντα. Προκειμένου να ακολουθηθούν αυτές οι συστάσεις, είναι απαραίτητο να προσαρμόσουν τις διαστάσεις των πρωτογενών προϊόντων, ο αριθμός ή η ποσότητα που τοποθετούνται σε κάθε συσκευασία διακίνησης, ώστε να χρησιμοποιηθεί καλύτερα ο διαθέσιμος χώρος της δευτερογενούς ή/και της τριτογενούς συσκευασίας, όπως και να επανακαθοριστούν οι ποσότητες των παραγγελιών. Από σχετική ανάλυση, έχει δειχθεί ότι μπορούμε να βελτιώσουμε τη χρησιμοποίηση παλλετών από επτά έως δέκα τοις εκατό, με την εισαγωγή μόνο των δευτερευουσών (λιγότερο από 1 εκατοστού.) αλλαγών στα αρχικά μεγέθη των συσκευασιών!

Αποδοτικότητα διαχείρισης. Η κύρια διαφορά μεταξύ του χειρισμού στο εργοστάσιο (συσκευασία και παλλετοποίηση) και στο κατάστημα (από-συσκευασία και ξαναγέμισμα ραφιών) βρίσκεται στο βαθμό της αυτοματοποίησης. Ο χειρισμός στις εγκαταστάσεις είναι συχνά ιδιαίτερα αυτοματοποιημένος, όπου η κύρια ασχολία αφορά σε μια περιορισμένη σειρά μονάδων διακίνησης, με χαμηλά έξοδα διεκπεραίωσης ανά μονάδα. Αντίθετα, το ξαναγέμισμα των ραφιών είναι μια χειρωνακτική λειτουργία, που χειρίζεται μια ευρεία ποικιλία τύπων δευτερογενών συσκευασιών, και άρα είναι πιο δαπανηρό ανά μονάδα προϊόντος. Αν και οι δύο διαδικασίες θα ωφεληθούν από τη βελτιωμένη εναρμόνιση των διαστάσεων των δευτερογενών συσκευασιών, η διαδικασία ξαναγέμισματος ραφιών είναι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος.

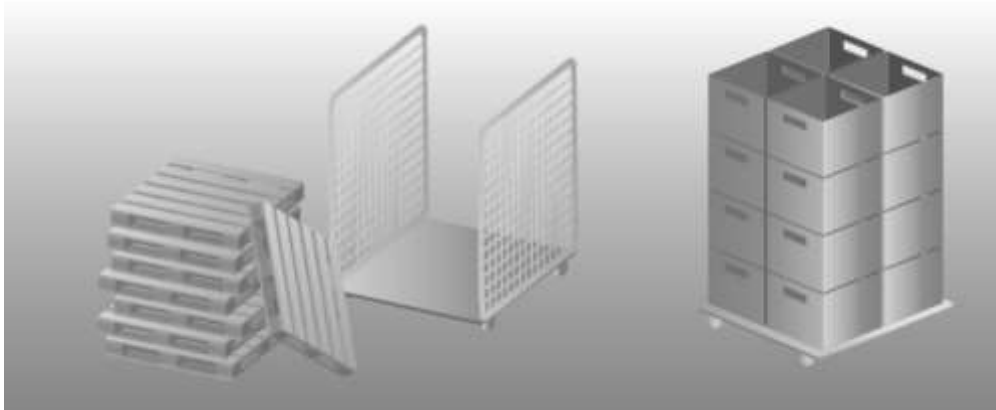
Από εκτιμήσεις, το ξαναγέμισμα των ραφιών επιβαρύνει κατά μέσο όρο με 1.7 τοις εκατό την λιανική τιμή των προϊόντων. Η εξάλειψη ενός βήματος διαχείρισης πρέπει να είναι μια προτεραιότητα στα πλαίσια της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Δεδομένου ότι οι βασικές δευτερογενείς συσκευασίες των παλλετών θα πρέπει να είναι σχεδιασμένες και για το χειρωνακτικό και για τον αυτόματο χειρισμό, οι ακόλουθες πτυχές θα πρέπει να εξεταστούν:

- Ασφάλεια: η χρήση μαχαιριών για να ανοιχθούν τα καλά κολλημένα χαρτοκιβώτια είναι πραγματικά επισφαλής, αφού ατυχήματα προκύπτουν από το χειρισμό του μαχαιριού όπως και από τις αιχμηρές άκρες που παράγονται από την κοπή του κυματοειδούς υλικού. Επίσης, οι πρωτογενείς συσκευασίες μπορεί να καταστραφούν.
- Εργονομία: το μέγεθος, μαζί με το βάρος, καθορίζουν εάν είναι εργονομικά υγιές να διαχειριστεί μια συσκευασία με το χέρι. Υπάρχουν οδηγίες και σχετική νομοθεσία για το μέγιστο το βάρος που επιτρέπεται, αλλά διαφέρουν ανάλογα με τη χώρα. Η εναρμόνιση είναι επιθυμητή σε ένα συνιστώμενο μέγιστο βάρος περίπου 15kg. Σαν αναφορά θα πρέπει να λαμβάνεται η οδηγία 89/391/EEC του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου.
- Τοποθέτηση: μεγέθη πακέτων κοντά σε τυποποιημένες διαστάσεις βελτιώνουν την τοποθέτηση μεικτών μονάδων συσκευασιών.
- Αναγνώριση: αποδοτική αναγνώριση των μονάδων διακίνησης βελτιώνει την παραγωγικότητα σε πολλές δραστηριότητες κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού, όπως οι έλεγχοι και η επιλογή προϊόντων κατά παραγγελία (order picking).

Διαχείριση υλικών. Το κόστος και οι περιβαλλοντικές εκτιμήσεις υπαγορεύουν ότι το ελάχιστο νέο υλικό συσκευασίας θα πρέπει να εισάγεται στον κύκλο ζωής των προϊόντων. Οι υλικές απαιτήσεις των μονάδων διακίνησης ποικίλλουν σημαντικά και θα πρέπει να αξιολογηθούν κατά προϊόν και κατά ιδιαίτερη απαίτηση της αγοράς, εντούτοις, οι ακόλουθες οδηγίες μπορούν να εφαρμοστούν:

- Να χρησιμοποιείται όσο το δυνατόν λιγότερο υλικό.
 - Να χρησιμοποιούνται όσο το δυνατόν λιγότερα διαφορετικά υλικά
 - Εάν χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότερα διαφορετικά υλικά, θα πρέπει να είναι εύκολο να διαχωριστούν.
 - Θα πρέπει να αποφεύγεται η χρήση συνθετικών υλικών.
 - Τα υλικά πρέπει να είναι εύκολα ανακυκλώσιμα και πρέπει να χαρακτηρίζονται και να περιγράφονται σωστά ώστε για να διευκολύνεται ο χωρισμός τους κατά την ανακύκλωση.
 - Πρόσθετα στοιχεία όπως κόλλα, χρώματα ταινιών και εκτύπωσης θα πρέπει να είναι εναρμονισμένα με την περιβαλλοντική νομοθεσία και απαιτήσεις ώστε να μην εμποδίζεται η ανακύκλωση τους.
- Συμπερασματικά, θα μπορούσαμε να πούμε πως η αυξημένη ποικιλομορφία των μονάδων διακίνησης προσθέτει πολυπλοκότητα και οδηγεί σε μια κακή χρησιμοποίηση του διαθέσιμου χώρου, σε όλη τη αλυσίδα εφοδιασμού. Οι παραδοσιακές μέθοδοι πρέπει να επανεξεταστούν και οι παραγωγοί των προϊόντων και οι λιανοπωλητές θα πρέπει να εργαστούν μαζί για να αναπτύξουν τις αποδοτικότερες δευτερογενείς συσκευασίες, μέσα από συμβιβασμούς και ανταλλαγές απόψεων σχετικά με την ποσότητα των προϊόντων ανάλογα με το σχήμα της δευτερογενούς συσκευασίας, τις διαστάσεις των ραφιών και την διαδικασία ξαναγεμίματος τους και τον διαθέσιμο χώρο τους, το ύψος των παλετών και την σταθερότητα τους ανάλογα με τα υλικά που χρησιμοποιούνται. Η δευτερογενής συσκευασία, πολύ περισσότερο από την τριτογενή, απαιτεί μια πολυσύνθετη προσέγγιση, λόγω του κρίσιμου σημείου της διεπαφής της με το πρωτογενές προϊόν. Η επανεξέταση και επανασχεδιασμός των πρωτογενών και δευτερογενών συσκευασιών για την πλήρη εκμετάλλευση του διαθέσιμου χώρου θα πρέπει να είναι βασική διεργασία των υπευθύνων της συσκευασίας στην εφοδιαστική αλυσίδα.

Τριτογενής συσκευασία. Η τριτογενής συσκευασία είναι «η συσκευασία που δημιουργείται ώστε να διευκολυνθούν ο χειρισμός και η μεταφορά των διάφορων μονάδων πώλησης ή η οποιαδήποτε ομαδοποιημένη συσκευασία η οποία έχει σαν στόχο να αποτρέψει την φυσική ζημία λόγω χειρισμού και μεταφορών. Η συσκευασία διακίνησης δεν περιλαμβάνει τα εμπορευματοκιβώτια μεταφοράς σε ξηρά, θάλασσα και αέρα» (94/62/EC), αλλά περιλαμβάνει τις παλέτες, τα κυλιόμενα κλουβιά, τα χάρτινα παλετο-φύλλα, τα παλετοκιβώτια και τις παλέτες τοποθέτησης προϊόντων για πώληση σε αυτές (επίδειξης). Η τριτογενής συσκευασία συνενώνει τις ποσότητες των δευτερογενών ή πρωτογενών συσκευασιών για να διευκολυνθούν οι δραστηριότητες της εφοδιαστικής αλυσίδας όπως η λήψη, η αποθήκευση, η φόρτωση, η μεταφορά και η αποστολή, χρησιμοποιώντας εξοπλισμό όπως περνοφόρα οχήματα, φορτηγά, και άλλα, και παρέχουν την απαιτούμενη προστασία και σταθερότητα κατά τη μεταφορά. Εντούτοις, η τριτογενής συσκευασία από μόνη τους καταλαμβάνουν πολύτιμο χώρο και βάρος, μειώνοντας έτσι τον αριθμό των δευτερογενών συσκευασιών που θα μπορούσαν να μεταφερθούν ή να αποθηκευθούν.

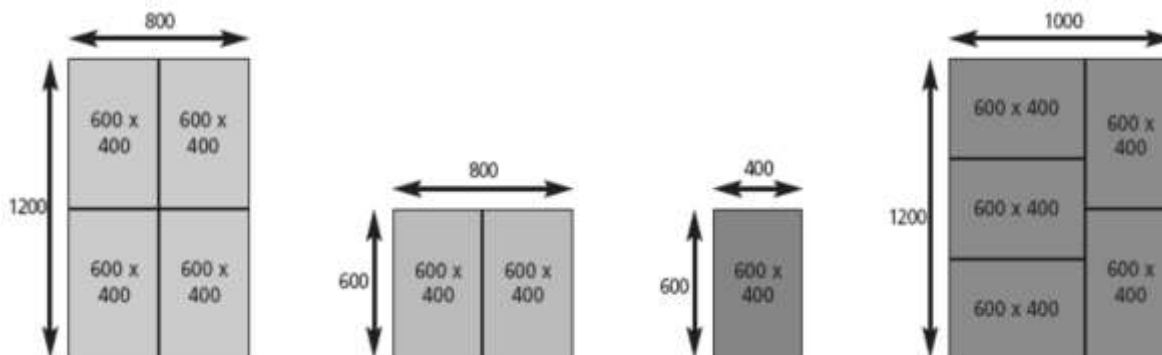


Οι τριτογενείς συσκευασίες προσφέρουν μια σημαντική δυνατότητα για συνολική αποταμίευση χρημάτων και αποτελούν βασικά σημεία των ολοκληρωμένων λύσεων στις αλυσίδες εφοδιασμού. Η παλέτα είναι η κύρια μορφή τριτογενούς συσκευασίας που χρησιμοποιείται σε ένα εργοστάσιο, με δεύτερα τα καρότσια. Τα κυλιόμενα κλουβιά ρόλων είναι κυρίαρχα στο λιανικό μέρος της αλυσίδας εφοδιασμού. Εντούτοις, οι εξελίξεις στο χώρο της αποτελεσματικότερης διακίνησης, όπως το αποδοτικό ξαναγέμισμα των ραφιών, οδήγησε σε νέες λύσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού, ακόμα και στη περίπτωση διακίνησης μεταξύ διαφορετικών χωρών και εμπορικών διαδρομών.

Παλέτες. Σήμερα, στην Ευρώπη, υπάρχουν περίπου 320 εκατομμύρια παλέτες σε κυκλοφορία, με περισσότερους από 30 διαφορετικούς τύπους και μεγέθη παλετών. Οι ακόλουθες οδηγίες καλύπτουν διαστάσεις, προεξοχές, μεικτό ύψος (φορτίο συν παλέτα), βάρος φορτίων, και ύψος των ίδιων των παλετών.

Διαστάσεις παλετών. Ο ευρωπαϊκός πληθυσμός των παλετών πρέπει να οργανωθεί ορθολογικά, πράγμα που συμφωνήθηκε να γίνει στη βάση των κύριων διαστάσεων 600x400 mm, την μισή ευρο- παλέτα, 800x600 mm. και το τέταρτο της ευρο- παλέτας 600x400 mm (χρησιμοποιείται κυρίως για αυτούσια τοποθέτηση), Η βιομηχανική παλέτα βιομηχανίας 1200x1000 mm επίσης συνιστάται καθώς τα πλεονεκτήματα της χρήσης της περιλαμβάνουν τα μεγαλύτερα φορτία, την αποδοτικότητα της διαχείρισης και το ότι επιτρέπει την σταθερή τοποθέτηση παλετών 300x400 mm.

Αν και αναγνωρίζεται ότι η χρήση της μισής βιομηχανικής παλέτας σε μια υποδομή που σχεδιάζεται για τη χρήση της πλήρους βιομηχανικής παλέτας έχει κάποια πλεονεκτήματα στην αποδοτικότητα της διαχείρισης, η μισή παλέτα δεν είναι μια συνιστώμενη διάσταση, κυρίως επειδή η μισή παλέτα είναι ασυμβίβαστη με παλέτες 400x600 mm. Επιπλέον, τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν ήδη για την πλήρη βιομηχανική παλέτα δεν ισχύουν για τη μισή. Συστήνονται τέσσερις διαστάσεις παλετών: 1200x800, 800x600, 600x400 και 1200x1000mm.



Οι επιχειρήσεις, τουλάχιστον στην Ευρώπη, αναγκάζονται πολλές φορές να λειτουργήσουν και με τα δύο συστήματα παλετών, συχνά στις ίδιο εγκαταστάσεις, με αποτέλεσμα να υπάρχει πρόβλημα με τις διαστάσεις των παλετοθέσεων στους αποθηκευτικούς χώρους όπου θα πρέπει να επιτευχθεί ένας συμβιβασμός και για τις δύο. Σε αυτές τις περιπτώσεις υπάρχουν δύο λύσεις. Θα πρέπει να οργανωθούν ορθολογικά οι παλετοποιήσεις

σε μια διάσταση για εκείνες τις χώρες και επιχειρήσεις που χρησιμοποιούν και τις ευρώ- και τη βιομηχανικές παλέτες, πράγμα όμως που θα χρειαστεί χρόνο και συμφωνία με τους συνεργάτες, προμηθευτές και πελάτες. Η δεύτερη λύση είναι να αυξηθεί ο όγκος των ενδιάμεσων σταθμών των προϊόντων, οπότε μία ενιαία τριτογενής συσκευασία θα κινηθεί κατευθείαν από τον κατασκευαστή στο λιανοπωλητή, εξαλείφοντας πολλά από τα μη-προστιθέμενης αξίας βήματα διαχείρισης και των μειονεκτημάτων που συνδέονται με την παρουσία δύο διαφορετικών διαστάσεων παλετών. Μακροπρόθεσμα μόνο μια οικογένεια παλετών θα ευνοηθεί στην Ευρώπη.

Προεξοχές παλετών. Αποτελούν μια βασική αιτία ζημίας των προϊόντων καθώς τα φορτία που προεξέχουν από τις άκρες των παλετών μπορεί να καταστραφούν από τα μηχανήματα χειρισμού δημιουργώντας προβλήματα στις αυτοματοποιημένες διαδικασίες χειρισμού των παλετών και της φόρτωση των οχημάτων. Σε αυτή την βάση επομένως συστήνεται μηδενική προεξοχή του φορτίου από τις παλέτες

Ύψος παλετών. Το ύψος μιας παλέτας - φορτίου συν την παλέτα - καθώς κινείται μέσω της αλυσίδας εφοδιασμού είναι ένα βασικό στοιχείο κόστους. Ποικίλοι παράγοντες και περιορισμοί καθορίζουν το ύψος των παλετών ενώ έχει προσδιοριστεί και η ανάλογη σημασία τους και ο αντίκτυπος τους σε μια ολοκληρωμένη αλυσίδα εφοδιασμού, και πιο συγκεκριμένα στην μεταφορά, την επιλογή της διάταξης του φορτίου, των ραφιών αποθήκευσης, των δαπανών συσκευασίας και των διαδικασιών λειτουργίας των καταστημάτων. Πιο αναλυτικά, η μεταφορά είναι ο βασικός παράγοντας κόστους και λόγω της προκαλούμενης από αυτή ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλείται κυρίως από τις οδικές μεταφορές, οπότε η βελτιστοποίηση του ωφέλιμου όγκου των φορτηγών είναι κυρίαρχης σημασίας. Το ύψος των παλετών πρέπει να προέλθει σε αναλογία με το εσωτερικό ύψος τους φορτηγού ώστε να μεγιστοποιηθεί το ύψος χρήσης. Είναι σύνηθες το φαινόμενο τα τρέχοντα ύψη των παλετών να είναι βασισμένα σε προηγούμενα χαμηλότερου ύψους οχήματα. Σαν συνέπεια αυτού, απαιτούνται 15% πρόσθετα φορτηγά στους ευρωπαϊκούς δρόμους. Το τυπικό διαθέσιμο ύψος είναι σήμερα 2400 mm για τυποποιημένα φορτηγά και 2800 έως 3050 mm. για υψηλότερα οχήματα – “high cube”. Δεδομένου ότι πολλά φορτία δεν έχουν περιορισμό βάρους, τα φορτηγά με ύψος π.χ. μέχρι 3050 mm, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για πιο ελαφριά φορτία. Μόλις διαμορφωθεί ένα φορτίο πρέπει να διατηρηθεί όσο το δυνατόν πιο σταθερό κατά το μεγαλύτερο δυνατό μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας, και επομένως η βελτιωμένη χρησιμοποίηση του όγκου των φορτηγών να μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές περιβαλλοντικές βελτιώσεις. Δεδομένου ότι το ύψος των παλετών αυξάνει την ποσότητα συσκευασιών στην παλέτα, απαιτείται να προστατευθεί το προϊόν και σε ορισμένες περιπτώσεις να οδηγηθούμε σε αυξημένο κόστος λόγω αυτών των αναγκών.

Βάρος καθαρού φορτίου παλετών. Το βάρος του φορτίου των παλετών δεν είναι ένα κρίσιμο θέμα, εκτός από τις περιπτώσεις χειρονακτικής διαχείρισης παλετών στα ενδιάμεσα σημεία φορτοεκφόρτωσης και στα καταστήματα λιανικής. Οι ακόλουθες συστάσεις έχουν καθιερωθεί για τα μέγιστα βάρη:

Μέγιστο βάρος παλέτας (kgs)

Μεμονωμένες Euro παλέτες

- 1000 – χωρίς κατανομή φορτίου
- 1500 – ομοιόμορφη κατανομή φορτίου
- 2000 – συμπαγές βάρος, πλήρως κατανεμημένο στην επιφάνεια της παλέτας.

Στοιβαγμένες Euro παλέτες:

Μεμονωμένες Euro παλέτες

- 4000 – για την παλέτα της βάσης και χρήση όλης της επιφάνειας.

Άλλες παλέτες:

Μεμονωμένες Euro παλέτες

- Μισή Euro 500 2000
- Τέταρτο Euro 250 750
- Βιομηχανική 1250 6000

Ύψος των ίδιων των παλετών. Τα περισσότερα ύψη των παλετών ποικίλλουν μεταξύ 145 και 162 mm. Καμία οδηγία για τα ύψη αυτά δεν έχει συστηθεί, δεδομένου ότι αυτό μπορεί ενδεχομένως να εμποδίσει την ανάπτυξη των νέων υλικών για παλέτες, π.χ. παλέτες φτιαγμένες από ανακυκλωμένο δευτερογενές υλικό. Οι βιομηχανικές παλέτες είναι περίπου 10 mm υψηλότερες από τις ευρο-παλέτες. Με δεδομένη την ανάγκη βελτιστοποίησης των όγκων μεταφοράς διάφορες επιλογές είναι διαθέσιμες, για να βελτιστοποιήσουν το νεκρό χώρο όπως τα

παλέτες-φύλλα ολίσθησης, Ομοίως, μπορούν να σχεδιαστούν παλέτες μισού ύψους για να αντιστοιχούν σε ανάλογο ύψους φορτηγά

Σταθερότητα των φορτίων. Η σταθερότητα των φορτίων είναι ουσιαστική στο να αποτρέψει την αποσύνθεση κατά τη διάρκεια του χειρισμού, της αποθήκευσης και της αποστολής τους. Αυτό ελαχιστοποιεί τη ζημία των προϊόντων και απομακρύνει πιθανούς κινδύνους για το προσωπικό. Το ελάχιστο υλικό θα πρέπει να χρησιμοποιείται για την σταθεροποίηση με όσο το δυνατόν «οικολογικότερη» σχέση και θα πρέπει να είναι εύκολο να αφαιρεθεί χωρίς την καταστροφή του προϊόντος.

Επαναχρησιμοποιούμενη συσκευασία (Reusable Transport Items - RTI).

Η επαναχρησιμοποιούμενη συσκευασία περιλαμβάνει όλες τις δευτερογενείς και τριτογενείς μονάδες συσκευασίας που σχεδιάζονται τόσο για χρήση κατά την αποθήκευση και μεταφορά όσο και για να επιστραφούν από τον αποδέκτη προς επαναχρησιμοποίηση τους από τον παραγωγό, (η δευτερογενείς επαναχρησιμοποιούμενη συσκευασία καλείται μερικές φορές ε επαναχρησιμοποιούμενη συσκευασία μεταφορών - Reusable Transport Packaging, RTP). Στον ορισμό αυτό δεν συμπεριλαμβάνονται επαναχρησιμοποιούμενες πρωτογενείς συσκευασίες όπως τα μπουκάλια και οι συνδυασμοί πρωτογενούς και δευτερογενούς συσκευασίας, όπως τα μπουκάλια μύρας σε κιβώτια, καθώς και οι επαναχρησιμοποιούμενες μονάδες που χρησιμοποιούνται σε κλειστού τύπου κυκλώματα, όπως οι συσκευασίες και τα στοιχεία επίδειξης (display packaging).

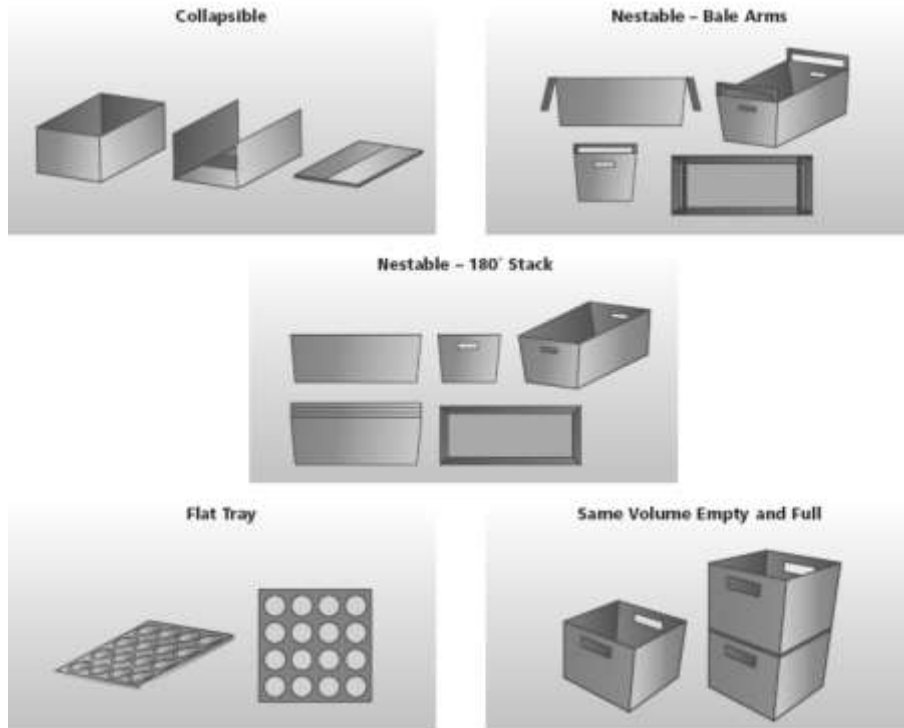
Η δευτερογενής επαναχρησιμοποιούμενη συσκευασία μπορεί να έχει πολλά οικονομικά οφέλη για συγκεκριμένες κατηγορίες προϊόντων, ενώ μερικές φορές είναι και η μόνη κατάλληλη για ορισμένες εφαρμογές. Για να επιτευχθεί όμως το μέγιστο όφελος από τη χρήση τους θα πρέπει αυτή να εφαρμοστεί σε όλο το μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού. Μια σημαντική και ποσοτικά προσδιορίσιμη εξοικονόμηση κόστους, συνήθως επιτυγχάνεται κατά τον χειρισμό των προϊόντων στα διάφορα σημεία της αλυσίδας διακίνησης, ή στο λιανεμπόριο. Έχει διαπιστωθεί ότι βελτιώσεις αυτής της κατεύθυνσης σε διαδικασίες λιανεμπορίου αντιπροσωπεύουν το ένα τοις εκατό της τιμής των λιανικών πωλήσεων, ενώ μια πιο ακριβής εξοικονόμηση χρήματος εξαρτάται και από την ιδιαιτερότητα της εφαρμογής. Σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον αυτή η αποταμίευση τελικά έχει σαν αποτέλεσμα και χαμηλότερες τιμές για τον καταναλωτή.

Για να επιτευχθούν τα όποια οφέλη, όλοι οι εμπλεκόμενοι στις εφοδιαστικές αλυσίδες - κατασκευαστές, φορείς παροχής υπηρεσιών, λιανοπωλητές - πρέπει να εργαστούν από κοινού, ώστε να ανιχνεύσουν και να ελαχιστοποιήσουν τους πιθανούς κινδύνους που συνδέονται με την εφαρμογή αυτή. Για να καθοριστεί εάν τελικά ολόκληρη η εφοδιαστική αλυσίδα ωφελείται πραγματικά από την εισαγωγή επαναχρησιμοποιούμενης συσκευασίας, θα πρέπει να τεκμηριωθούν οι πραγματικές δαπάνες που απαιτούνται και τα κέρδη που αναμένονται, όπως για παράδειγμα ένα σύστημα αποζημιώσεων μεταξύ των εμπορικών συνεργατών.

Όπως και με κάθε άλλη μονάδα διακίνησης, υπάρχουν δύο δαπάνες που συνδέονται με τη χρήση της επαναχρησιμοποιούμενης συσκευασίας: το κόστος ανά χρήση και το κόστος της εφοδιαστικής αλυσίδας όπου συμπεριλαμβάνονται όλες οι δαπάνες από την πραγματική χρήση των μονάδων διακίνησης. Η οικονομική αποδοτικότητα αυξάνει εάν συμμορφώνονται με το σύνολο των κοινών ευρωπαϊκών προτύπων που παρέχουν ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο διαχείρισης, εάν, έχουν το σωστό σχεδιασμό επαναχρησιμοποίησης, και χρησιμοποιούνται για τη σωστή εφαρμογή κατά την οποία φυσικά, έχουν την σωστή διαχείριση και ρύθμιση της χρήσης τους.

Στα κριτήρια σχεδιασμού των επαναχρησιμοποιούμενων συσκευασιών συγκαταλέγονται η καταλληλότητα τους για αυτοματοποιημένους και χειρωνακτικούς χειρισμούς, π.χ. οι λαβές, ο περιορισμός της πολυπλοκότητας χωρίς όμως να προκαλούνται περιορισμοί στη ανάπτυξη τους, η ευκολία προσδιορισμού και αναγνώρισης, είτε αυτόματα είτε χειρωνακτικά, τόσο του ίδιου του στοιχείου, όσο και του ιδιοκτήτη και του περιεχόμενου του, και τέλος η ανθεκτικότητά τους.

Η χρήση των **επαναχρησιμοποιούμενων συσκευασιών** θεωρείται κατάλληλη σε δύο διαφορετικά περιβάλλοντα. Το πρώτο είναι οι διαδικασίες του λιανεμπορίου, όπου επιτρέπει την αποδοτική πλήρωση των ραφιών, την εξάλειψη του κόστους και την ευκολία των χειρισμών που συνδέονται με τη δευτερογενή συσκευασία. Σε αυτή την περίπτωση, όσο υψηλότερο το ποσοστό επιστροφών των συσκευασιών και άρα η επαναχρήση τους, τόσο αποδοτικότερη η επένδυση. Η επαναχρησιμοποιούμενη συσκευασία παραδείγματος χάριν, που χρησιμοποιείται για τα φρέσκα φρούτα και τα λαχανικά, μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί έως 20 φορές.



Ένα κατάλληλο σύστημα διαχείρισης επιστρεφόμενων δευτερογενών και τριτογενών συσκευασιών θα πρέπει να εξασφαλίσει ότι τα αποθέματα είναι στη σωστή τους θέση, σε επαρκή ποσότητα και ποιότητα, δηλ. καθαρές και στη σωστή στιγμή. Το σύστημα διαχείρισης καλύπτει την πρόβλεψη, την εξισορρόπηση των αποθεμάτων, τον έλεγχο, τα κανάλια επικοινωνίας, τις παραδόσεις, την συντήρηση και τη χρέωση. Ένα μεγάλο μέρος της διεταιρικής επικοινωνίας που απαιτείται (προβλέψεις, διαταγές παράδοσης, τιμολογήσεις, πληρωμές) θα πρέπει να γίνεται με ηλεκτρονικά μέσα (χρήση της ηλεκτρονικής ανταλλαγής δεδομένων - EDI). Ανάλογα με την ιδιαίτερη εφαρμογή, τα συστήματα διαχείρισης ποικίλλουν σημαντικά. Οι κύριες διαφορές εμφανίζονται στην ιδιοκτησία και στην έκταση της εφαρμογής και διείσδυσης τους στην εφοδιαστική αλυσίδα, με κυριότερα τα μεμονωμένα συστήματα, τα διμερή και τα συστήματα αποθεμάτων. Τα συστήματα διαχείρισης θα πρέπει να εστιάζουν σε τρεις πτυχές:

- Εναρμόνιση
- Ποσοστό επιστροφής
- Προβλέψεις

Το διοικητικό σύστημα ελέγχου πρέπει να στραφεί προς την βελτίωση του ποσοστού των επιστροφών πρώτα παρά στον έλεγχο των τρεχουσών απωλειών. Χρησιμοποιημένο από κοινού με την όσο το δυνατόν πιο ακριβή πρόβλεψη, θα εξασφαλίσει ότι η επιστρεφόμενη συσκευασία είναι στη σωστή θέση τη σωστή στιγμή.

Πολλοί παράγοντες θα πρέπει να εξετάζονται κατά **την διαδικασία λήψης μιας απόφασης για την εφαρμογή της επιστρεφόμενης συσκευασίας σε μια ιδιαίτερη εφαρμογή**. Για να διευκολύνουν μια τέτοια απόφαση τα διάφορα χρήσιμα κριτήρια, παραδείγματος χάριν, περιλαμβάνουν την εποχικότητα, το προϊόν, την προστασία και τη δομή των αλυσίδων εφοδιασμού. Επί πρόσθετα κριτήρια μπορούν να ενσωματωθούν για να απεικονίσουν τις όποιες ιδιαίτερες επιχειρησιακές ανάγκες. Τα φρούτα, τα λαχανικά και το φρέσκο κρέας, είναι παραδείγματα προϊόντων για τα οποία συνυπολογίζονται τέτοια κριτήρια, εντούτοις, μπορούν επίσης να είναι κατάλληλα και για άλλα προϊόντα.

Εάν τεκμηριωθούν τα πιθανά πλεονεκτήματα, τα επόμενα βήματα θα πρέπει να περιλάβουν τα ακόλουθα πέντε σημεία:

1. **Οργάνωση της κατάλληλης ομάδας έργου.** Μέσα στις περισσότερες οργανώσεις, η εφαρμογή των επιστρεφόμενων συσκευασιών προσκρούει σε πολλές λειτουργίες, όπως η ανάπτυξη του προϊόντος, το σχέδιο της συσκευασίας, ο προγραμματισμός της παραγωγής, η ίδια η παραγωγή, οι πωλήσεις, η μεταφορά, η αποθήκευση, και οι διαδικασίες του λιανεμπορίου.
2. **Επιλέξτε τις εύκολες εφαρμογές αρχικά.** Είναι ευεργετικό να εισαχθούν τα συστήματα τα επιστρεφόμενων συσκευασιών από την αρχή αλλά για να αποφευχθούν μερικά από τα ενδογενή προβλήματα εφαρμογής μικτών συσκευασιών, μια καλή προσέγγιση είναι να εισαχθούν αρχικά σε εκείνες τις εφαρμογές που είναι πιθανό να παραγάγουν άμεσα, και προφανή οφέλη σε ολόκληρη τη

αλυσίδα εφοδιασμού, τα οποία θα γίνουν γρήγορα αντιληπτά, και μέσα από τη χρήση τους να αποκομιστεί η απαραίτητη αρχική εμπειρία για περαιτέρω σταδιακές εφαρμογές σε περισσότερα σημεία.

3. *Επιλέξτε τους συνεργάτες σας.* Οι συνεργάτες των αλυσίδων εφοδιασμού θα πρέπει να διαμορφώσουν τις συνεργασίες εκείνες που θα αποφέρουν το καλύτερο αποτέλεσμα, θα υποστηρίξουν ισορροπημένες απόψεις, και θα αναπτύξουν σχέσεις λειτουργικές σχέσεις και θα λαμβάνουν υπόψη περισσότερα πράγματα από μόνο το κόστος.

4. *Διαφορετικότητα συμβατή με το σύστημα.* Υπάρχει πάντα ένας πειρασμός για τους συνεργάτες να θεωρήσουν κάθε αλυσίδα εφοδιασμού ως μοναδική, απαιτώντας έτσι και μια μοναδική λύση. Οποδήποτε είναι δυνατόν, οι αρχές λειτουργίας και σχεδιασμού θα πρέπει να εξασφαλίσουν ότι το προτιμώμενο σύστημα είναι συμβατό με τα άλλα συστήματα της εφοδιαστικής αλυσίδας.

5. *Δύο συν δύο κάνουν πέντε.* Παραδοσιακά, οι δαπάνες των αλυσίδων εφοδιασμού ήταν ένα εμπορικά ευαίσθητο σημείο και παρουσίαζαν μια δυσκολία εμπιστοσύνης των αριθμών. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να γίνεται η επαρκής οικονομική μελέτη ώστε, εάν το καθαρό όφελος είναι επαρκές για να δικαιολογήσει την αλλαγή, να αρχίσει η διαπραγμάτευση της διανομής των κερδών και των δαπανών μεταξύ των συνεργατών, να προσαρμοστεί η οργάνωση, οι μέθοδοι και τα συστήματα για να βελτιστοποιηθούν τα οφέλη και να βρεθούν οι τρόποι ώστε να βελτιωθεί ο αριθμός των επιστροφών με το χρόνο.

Ένταξη των μονάδων διαχείρισης στις διεργασίες του οργανισμού.

Στην προσπάθεια ένταξης της διαχείρισης των μονάδων μεταφοράς στις διεργασίες μιας εταιρίας ή ενός οργανισμού, προτείνονται τα ακόλουθα βασικά σημεία, για την ομαλή περιγραφή των unit loads και την επίτευξη των μέγιστων αποτελεσμάτων:

Στόχος της διαδικασίας είναι η βελτίωση και η αποτελεσματικότητα της ιστάμενης καθώς και όποιες μελλοντικής εφοδιαστικής αλυσίδας με το να προωθήσουμε την ομαδοποίηση και ενσωμάτωση της διανομής και αποθήκευσης των προϊόντων. Τα αποτελεσματικά Unit Loads (UL) είναι απολύτως απαραίτητα για την βελτίωση της διανομής, αποθήκευσης και διαχείρισης κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας

Η εισαγωγή των unit loads πρέπει να υλοποιείται σε δεδομένη ημερομηνία βάσει του χρονοδιαγράμματος παρουσίας στην αγορά του τελικού προϊόντος. Σαν περιπτώσεις υλοποίησης μπορούν να είναι κατά τον επανασχεδιασμό των UL λόγω αλλαγών σε κάποιο σημείο της εφοδιαστικής αλυσίδας που συνδέεται με τα UL (π.χ. αλλαγές σε μεταφορικά μέσα), όταν απαιτείται επανασχεδιασμός των UL λόγω αλλαγών σε υλικά συσκευασίας (τύπο, σχεδιασμό, ποσότητα προϊόντων, κ.λπ.), όταν εισάγονται προτάσεις μείωσης κόστους, για να ικανοποιηθούν συγκεκριμένες αιτήσεις πελατών που αποφασίστηκε να ικανοποιηθούν, και όταν υπάρχουν οι ανάλογες αιτήσεις από τα τμήματα ανάπτυξης προϊόντων και/ή marketing για ανάγκη παρουσίας στην αγορά με νέα προϊόντα με συγκεκριμένες προδιαγραφές του αισθητικού και του λειτουργικού της συσκευασίας ή τροποποίηση υπάρχοντων σαφώς για την διόρθωση λαθών που έχουν εμφανισθεί.

Η διαδικασία της περιγραφής των unit loads πρέπει υλοποιείται από υπάλληλους του τμήματος ανάπτυξης και διαχείρισης των θεμάτων συσκευασίας, μηχανικούς και υπεύθυνους αποθηκών, σε ομάδες εργασίας ορισμένες και διαχειριζόμενες από τον υπεύθυνο ανάπτυξης του προϊόντος και εμπλέκοντας τον Logistics και τον Supply Chain manager της εταιρίας. Να τονίσουμε ότι στην υλοποίηση της περιγραφής των unit loads είναι απαραίτητη η δήλωση της κατευθυντήριας γραμμής και η έγκριση των αποτελεσμάτων σε κάθε στάδιο της ανάπτυξης. Επίσης το εργοστάσιο παραγωγής, οι εταιρίες των προμηθευτών και λοιπών εξωτερικών συνεργατών πρέπει να υλοποιήσουν κατά περίπτωση τα διάφορα στάδια προς την επίτευξη της εισαγωγής-υλοποίησης των νέων unit loads.

Πρέπει να τονίσουμε ότι η ανάμιξη του προσωπικού των εξωτερικών συνεργατών δεν συμμετέχει στην διαδικασία έγκρισης των αποτελεσμάτων των διαφόρων σταδίων της περιγραφής των unit loads. Από κάθε εξωτερικό συνεργάτη θα πρέπει να υπάρχει και να διευκρινιστεί ο ανάλογος υπεύθυνος για την παρακολούθηση και την εξέλιξη, των οικονομικών θεμάτων και της τήρησης του χρονοδιαγράμματος εφαρμογής και υλοποίησης των αποφάσεων όπως και για τα αποτελέσματα που θα προκύψουν. Ακολούθως ο υπεύθυνος εξωτερικός συνεργάτης είναι υπεύθυνος για τα αποτελέσματα που θα προκύψουν στην τελική παράδοση των συμφωνηθέντων προδιαγραφών και υλικών.

Οι διαδικασίες περιγραφής των unit loads, είναι πασιφανές ότι υλοποιούνται στον χώρο της εταιρίας και σε χώρους συνεργατών (ιδιόκτητες εγκαταστάσεις παραγωγής, δοκιμών και ελέγχων, αποθήκες, 3PL αποθήκες εγκαταστάσεις παραγωγής τρίτων, συσκευασίας τρίτων). Εάν είναι εφικτό η περιγραφή των unit loads θα πρέπει να υλοποιείται παρουσία μελών της ομάδας ανάπτυξης, έτσι ώστε να είναι δυνατή η διευκρίνιση κάθε απορίας πιθανώς προκύψει.

Η υλοποίηση της εισαγωγής των νέων Unit Loads ξεκινά με την συλλογή των απαραίτητων πληροφοριών από τα αντίστοιχα αρμόδια τμήματα που αφορούν στην σύνοψη των απαιτήσεων της συσκευασίας με τις λεπτομέρειες σχετικά με την πρωτογενή όσο και δευτερογενή συσκευασία, π.χ. κοστολογημένες παραμέτρους, μέγεθος, μορφή, απαιτήσεις καταναλωτικής χρήσης, απαιτήσεις αλυσίδων ανεφοδιασμού, κ.λπ. Πληροφορίες σχετικά με την «αξία» κάθε πελάτη. Πόσο σημαντικός πελάτης είναι και ποιοι οι τζίροι που αναμένονται, ποια προϊόντα αγοράζει και σε τι ποσότητες το κάθε ένα και μέσω ποιιάς εφοδιαστικής αλυσίδας τα λαμβάνει. Θα πρέπει να είναι γνωστές οι δυνατότητες του επιλεγμένου μεταφορέα, το warehousing (περιγραφή των σημείων και των χρόνων εναπόθεσης των προϊόντων στο μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας), ποιες οι δυνατότητες του εργοστασίου παραγωγής, ποια τα εμπόδια και φυσικά η ανάλυση του όλου κόστους.

Η συλλογή των πιο πάνω πληροφοριών γίνεται στην αρχική φάση ανάπτυξης των προϊόντων και στις συγκεκριμένες φάσεις όπως αναφέρονται σε προηγούμενη παράγραφο.

Ένας προτεινόμενος τρόπος συλλογής των πληροφοριών θα ήταν ένα έντυπο με την μορφή του «Unit Loads Design brief» το οποίο συμπληρώνεται από τα εμπλεκόμενα τμήματα ανάπτυξης προϊόντων και αγορών, το εμπορικό, το τμήμα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, και το εκάστοτε εργοστάσιο παραγωγής. Βασιζόμαστε στις περιγραφές από τα αρμόδια τμήματα ανάπτυξης προϊόντων τα οποία λεπτομερώς ενημερώνουν για τις απαιτήσεις συσκευασίας τον υπεύθυνο για την ανάπτυξη της συσκευασίας. Η σύνοψη πρέπει να λαμβάνει υπόψη οποιαδήποτε πολιτική έχει η εταιρία στα πλαίσια της συσκευασίας και των χρησιμοποιούμενων υλικών, τις οποιεσδήποτε πρόσθετες απαιτήσεις λιανοπωλητών και τις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζονται σε πιθανές διαφορετικές χώρες παρουσίας του κωδικού.

Στη συνέχεια, ο υπεύθυνος για την ανάπτυξη της συσκευασίας μεταφράζει αυτές τις απαιτήσεις σε ποσοτικά προσδιορισμένους και επιτεύξιμους τεχνικούς στόχους. Οι απαιτήσεις αναπτύσσονται πλήρως κατά τη διάρκεια της φάσης του «εφικτού», και συνδέονται με την διαδικασία ανάπτυξης των προϊόντων. Οι αναπροσαρμογές των απαιτήσεων της συσκευασίας κοινοποιούνται άμεσα. Θα πρέπει να γίνεται συνεχής επαναξιολόγηση βάσει των πιθανώς υπαρχόντων περιορισμών οι οποίοι προκύπτουν εξ αιτίας του σχεδιασμού των πρωτογενών προϊόντων, και επανασχεδιάζονται οι συσκευασίες ώστε να ταιριάζουν τους χώρους, στα ράφια και στους χώρους της τριτογενούς συσκευασίας.

Στόχος της όλης διαδικασίας είναι η τεκμηριωμένη ανάπτυξη των αποδοτικότερων φορτίων των προϊόντων. Σε αυτή τη βάση θα πρέπει να εξετάζονται η σταθεροποίηση των φορτίων καθώς είναι απαραίτητη ώστε να αποφευχθούν οι αποδομήσεις, κατά την διαχείριση, αποθήκευση και διακίνηση των προϊόντων, να μειωθούν οι ζημιές και να αποφευχθούν οι κίνδυνοι για το προσωπικό. Η μέγιστη σταθερότητα θα πρέπει να επιτυγχάνεται σε απόλυτη σύγκριση με τα υλικά που χρησιμοποιούνται, καθώς η βασική αρχή είναι η χρήση του ελάχιστου κατά το δυνατόν υλικού συσκευασίας και η χρήση υλικών όσο το δυνατόν πιο φιλικών προς το περιβάλλον. Ταυτόχρονα και από τη μεριά του χρήστη, το υλικό συσκευασίας θα πρέπει να μπορεί να απομακρυνθεί εύκολα χωρίς να καταστρέφει τα προϊόντα. Στο επίπεδο της διαχείρισης αποθηκών και αποστολών, θα πρέπει να τεκμηριώνεται το αριθμητικό πλεονέκτημα συσκευασιών και οι διαστάσεις και οι επενδύσεις των ραφιών και το ξαναγέμισμα τους συγκριτικά με την ικανότητα διαμόρφωσης του χώρου. Το ύψος δευτερογενούς συσκευασίας σε σύγκριση με το ύψος των παλετών, η καλύτερη χρησιμοποίηση του διαθέσιμου και χρησιμοποιούμενου όγκου κατά την μεταφορά, η αποθήκευση εμπορευμάτων, ο χειρισμός και η δημιουργία κατατάξεων, ο χειρισμός των καταστημάτων και η συνολική διαχείριση των υλικών συσκευασίας, θα πρέπει επίσης να εξετάζονται.

Οι πηγές και το κόστος ανάπτυξης της συσκευασίας υπολογίζονται, αναθεωρούνται και εγκρίνονται συνεχώς από τους κατόχους των προϋπολογισμών οι πηγές ανάπτυξης που απαιτούνται σε κάθε στάδιο του προγράμματος. π.χ.: ανάπτυξης συσκευασίας, έρευνας, προμηθειών, αλυσίδων εφοδιασμού, πρωτοτύπων (mock ups), δοκιμαστικής κλίμακας, των πλήρων δειγμάτων παραγωγής και άλλων δραστηριοτήτων.

Αφού καθοριστούν οι διαστάσεις της πρωτογενούς δευτερογενούς συσκευασίας, συλλέγονται cutters (μηχανολογικά / τεχνικά σχέδια) από τους προμηθευτές. Τα σχέδια αποστέλλονται στους εξωτερικούς συνεργάτες σε περίπτωση ανάγκης γραφισμού. Στη συνέχεια, συλλέγονται και αρχειοθετούνται οι προδιαγραφές για τη νέα συσκευασία για κάθε υλικό και προμηθευτή, βάσει διαθέσιμων και επιθυμητών πληροφοριών. Εισάγεται η προδιαγραφή στο ηλεκτρονικό αρχείο της εταιρίας

Στα επόμενα βήματα, μαζί με την ομάδα έργου και το εργοστάσιο παραγωγής, θα πρέπει να συμφωνείται ένα πρόγραμμα εργοστασιακών δοκιμών για την συσκευασία σε κλίμακα με τη χρήση των διαθέσιμων μηχανών παραγωγής από κοινού με την ανάπτυξη προϊόντων. Έτσι, δίδεται η συμφωνημένη με το εργοστάσιο παραγωγής ενημέρωση με τρόπο και σε επίπεδο και έκταση που απαιτείται για να εξασφαλιστεί μια επιτυχής πρώτη (αλλά και μετέπειτα) παραγωγή του προϊόντος. Για τα πρώτα τρεξίματα της παραγωγής παρέχεται η αναγκαία βοήθεια για την ανάπτυξη, ενώ οι όποιες αναθεωρήσεις θα πρέπει να γίνονται βάσει των αποτελεσμάτων της αρχικής παραγωγής.

Έτσι, οριστικοποιείται ο φάκελος σχεδιασμού και ανάπτυξης της συσκευασίας (Packaging Dossier) και δίνεται προς αρχειοθέτηση ώστε να κλείσει ο φάκελος του προϊόντος, ο οποίος εφόσον απαιτείται υποβάλλονται μαζί με τα αντίστοιχα δείγματα προς έγκριση από τους Φορείς που αδειοδοτούν την κυκλοφορία του. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να ενημερώνεται το τμήμα συσκευασίας σε τακτά χρονικά διαστήματα για τα βασικά ποιοτικά θέματα που προκύπτουν τόσο σε νέα όσο και σε υπάρχοντα υλικά και μεθόδους συσκευασίας.

Σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να διαπιστωθεί ότι υπάρχει η αναγκαιότητα για γίνει μια διόρθωση στα αποτελέσματα της εισαγωγής νέων κωδικών υλικών συσκευασίας. Την έγκριση και τελική απόφαση μπορεί να λάβει ο εκάστοτε υπεύθυνος του έργου ή ο διευθυντής τμήματος άμεσα εμπλεκόμενου σε οποιοδήποτε τομέα με το τελικό προϊόν. Οι διορθώσεις στους νέους κωδικών υλικών συσκευασίας του υλοποιημένου τελικού προϊόντος μπορούν να προταθούν σε οποιαδήποτε στιγμή αλλά θα ικανοποιηθούν μόνο μετά από αξιολόγηση του κόστους αποθεμάτων, των καθυστερήσεων και των λοιπών συνεπειών σε τεχνικά, οικονομικά και εμπορικά επίπεδα. Η διεύθυνση του έργου χρησιμοποιώντας τις ανάλογες εντολές επικοινωνεί τις διορθώσεις προς τα εμπλεκόμενα μέλη των ομάδων, ορίζοντας χρονοδιάγραμμα υλοποίησης.

Συνολικά λοιπόν, οι αρμόδιοι για τον έλεγχο της εισαγωγής νέων κωδικών υλικών συσκευασίας και τελικών προϊόντων θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι η διεύθυνση Supply Chain και τα τμήματα σχεδιασμού, αγορών και Logistics. Αξίζει να τονιστεί πως τα τμήματα σχεδιασμού και υλοποίησης είναι υπόλογα στην διεύθυνση ανάπτυξης νέων προϊόντων ενώ η διεύθυνση του εργοστασίου είναι αρμόδια για την παραγωγή και τον έλεγχο του τελικού προϊόντος μέσω των αρμόδιων τμημάτων ποιοτικού ελέγχου και διασφάλισης της ποιότητας.