

## ΕΛΑΣΤΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
Ε. Δ. ΝΤΡΙΒΑΛΑΣ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ  
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

**Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΤΜΗΜΑ ΚΛΩΣΤΟΨΦΑΝΤΟΥΡΓΙΑΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΒΑΦΙΚΗΣ**

## **ΕΛΑΣΤΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
Ε. Δ. ΝΤΡΙΒΑΛΑΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
Β. Γ. ΚΑΛΥΒΑΣ**

**ΑΘΗΝΑ 2012**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Ευχαριστώ θερμά τον εισηγητή μου, Εργαστηριακό Συνεργάτη του Τμήματος Κλωστοϋφαντουργίας Δρα Β. Γ. Καλύβα, καθώς επίσης και τον Καθηγητή του Τμήματος Δρα Α. Α. Βασιλειάδη, για τη βοήθεια και την υποστήριξη κατά την εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας, για την ευκαιρία που μου έδωσαν να ασχοληθώ με ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον θέμα και επειδή παρέμειναν δίπλα μου καθόλη τη διάρκεια συγγραφής της εργασίας με συμβουλές, πληροφορίες και διευκρινίσεις σχετικές με το περιεχόμενο, την ανάπτυξη και την τελική της μορφή.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη στήριξη και τη συμπαράστασή της.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα ελαστικά και η ανάπτυξή τους, το αντικείμενο της παρούσας μελέτης, εξετάζονται αρχικά από ιστορικής πλευράς. Το κυριότερο συστατικό τους, τα ελαστομερή –φυσικά και συνθετικά– και ένα από τα συνθετικά ενισχυτικά υλικά, το Νylon, συζητούνται διεξοδικά στα κεφάλαια 2 και 3. Το λινό –ένα άλλο ενισχυτικό υλικό– παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο. Στοιχεία των διαφόρων σταδίων της βιομηχανικής παραγωγής τους και ο κομβικός ρόλος των πολυαρίθμων συστατικών των ελαστικών είναι τα αντικείμενα του 5<sup>ου</sup> κεφαλαίου. Οι δύο σημαντικότερες κατηγορίες ελαστικών, τα σταυρωτά και τα ακτινωτά, αναλύονται στη συνέχεια. Στο 7<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνονται χρήσιμες παρατηρήσεις για την καθημερινή χρήση των ελαστικών και, τελικά, εξάγονται γενικά συμπεράσματα.

## **SYNOPSIS**

Tyres and their development, the subject of the present study, are examined firstly from a historical perspective. Their main component, elastomers –both, natural and synthetic– and one of the synthetic reinforcing materials, Nylon, are discussed thoroughly in chapters 2 and 3. Linen –another reinforcing material– is presented in the following chapter. Elements of the various stages of their industrial production and the key role of the numerous components of tyres are the subjects of the 5<sup>th</sup> chapter. The two major categories of tyres, bias-ply and radial, are analyzed next. In the 7<sup>th</sup> chapter, useful remarks on the everyday use of the tyres are made and, finally, general conclusions are drawn.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	ΣΕΛΙΔΑ
<b>1. Ιστορικά Στοιχεία για τα Ελαστικά</b>	1
1.1 Στοιχεία της ανάπτυξης των ελαστικών	1
<b>2. Πολυμερή</b>	3
2.1 Γενικά ιστορικά στοιχεία πολυμερών	3
2.2 Στοιχεία δομής και κατάταξης πολυμερών	4
2.3 Χημική δομή και σύνθεση των πολυμερών	8
2.3.1 Αλυσιδωτός πολυμερισμός	10
2.3.2 Σταδιακός πολυμερισμός	12
2.4 Σημαντικές κατηγορίες πολυμερών	13
2.4.1 Θερμοπλαστικά	13
2.4.2 Θερμοσκληρυνόμενα	14
2.4.3 Ελαστομερή	15
2.4.4 Πλαστικά	18
2.5 Σύνθετα υλικά	19
<b>3. Πολυαμίδια</b>	21
3.1 Εισαγωγή	21
3.2 Χημική δομή και ιδιότητες πολυαμιδίων	21
3.3 Nylon 6.6	22
3.4 Αραμίδια	24
<b>4. Λινά Υφάσματα</b>	26
4.1 Το λινό στην Κλωστοϋφαντουργία	26
<b>5. Η Κατασκευή των Ελαστικών</b>	29
5.1 Τα ελαστικά	29
5.2 Εσωτερικό του ελαστικού	29
5.3 Η πτυχή του σκελετού	30
5.4 Πλευρικά τοιχώματα	30
5.5 Σκελετός στήριξης	31
5.6 Το άνω μέρος (κορώνα)	31
5.7 Ενισχυτικά του πέλματος	31
5.8 Πέλμα	32

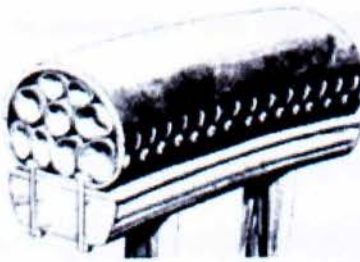
5.9 Γόμα	32
5.10 Άλλα συστατικά και υλικά	32
5.11 Διαδικασία παραγωγής	33
5.12 Σύνθεση και μείξη	34
5.13 Προετοιμασία συστατικών	35
5.14 Κατασκευή του ελαστικού	36
5.15 Τελικό ψήσιμο	37
5.16 Στάδιο τελικού ελέγχου ποιότητας	38
<b>6. Τύποι Ελαστικών</b>	39
6.1 Βασικοί τύποι ελαστικών	39
6.1.1 Σταυρωτά ή διαγώνια ελαστικά	39
6.1.2 Ακτινωτά ελαστικά	40
<b>7. Πληροφορίες για Ελαστικά Καθημερινής Χρήσης</b>	43
7.1 Γενικές πληροφορίες	43
7.2 Η πίεση των ελαστικών	45
<b>8. Συμπεράσματα</b>	48
<b>9. Σύνοψη</b>	49
<b>Βιβλιογραφία</b>	50
<b>Διαδικασία Παραγωγής Ελαστικού</b>	52

## Κεφάλαιο 1

### Ιστορικά Στοιχεία για τα Ελαστικά

#### 1.1 Στοιχεία της ανάπτυξης των ελαστικών

Σύμφωνα με ιστορικές πηγές, ο πρώτος τροχός έκανε την εμφάνισή του γύρω στο 3500 π.Χ.. Τα πρώτα ελαστικά κατασκευάστηκαν από δεσμούς σιδήρου που τοποθετούντο σε ξύλινους τροχούς για κάρα και για βαγόνια. Όμως, με την ανακάλυψη του καουτσούκ η δομή τους άλλαξε. Στα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα έγινε η πρώτη εμφάνιση του ελαστικού από καουτσούκ [1].



Σχήμα 1. Το πρώτο επίστρωτο ελαστικό

Ο R. W. Thomson ανακάλυψε και δημιούργησε το επίστρωτο ελαστικό το 1845. Στο πρώτο του σχέδιο χρησιμοποίησε πολλά λεπτά σωληνάκια τα οποία εσώκλεισε σε ένα δερμάτινο κάλυμμα (Σχήμα 1). Αυτό το συγκεκριμένο σχέδιο είχε πλεονεκτήματα, συγκριτικά με νεότερα σχέδια, για παράδειγμα, χρειαζόταν πάνω από ένα τρύπημα για να ξεφουσκώσει. Αυτά συνέβαιναν μέχρι τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα, οπότε ο John Boyd Dunlop δημιούργησε το ελαστικό με αεροθάλαμο το 1888. Ο Dunlop παρακολουθούσε το μικρό γιό του να οδηγεί το τρίκυκλό του με ελαστικά από συμπαγές καουτσούκ πάνω σε δρόμο με χαλίκια. Παρατήρησε ότι ο γιος του δεν μπορούσε να κινηθεί πολύ γρήγορα, ούτε αισθανόταν πολύ άνετα. Προσπαθώντας να κάνει την οδήγησή του πιο εύκολη και πιο ελεγχόμενη, ο Dunlop πήρε το τρίκυκλο, περιτύλιξε τους τροχούς με λεπτά φύλλα καουτσούκ, τα κόλλησε μεταξύ τους και τα



φούσκωσε με αντλία μπάλας ποδοσφαίρου. Με τον τρόπο αυτό κατασκεύασε το πρώτο σύστημα ελαστικού στρώματος με πεπιεσμένο αέρα στην ιστορία και έθεσε τα θεμέλια για το πρώτο ελαστικό πεπιεσμένου αέρος [2].

Παρόλες τις τεχνολογικές ανακαλύψεις, το συμπαγές ελαστικό συνέχισε να είναι το κυρίαρχο ελαστικό. Ο Dunlop πρώτος διαφήμισε τα ελαστικά του το Δεκέμβριο του 1888 στο "Irish Cyclist" και το Μάιο του επόμενου χρόνου η καινοτομία του είχε την πρώτη της αναγνώριση. Στο "Belfast Cycle Race" οι νίκες έγιναν με τα "pneumatic rubber tyres" και από τότε το κοινό άρχισε να ενδιαφέρεται πιο θερμά. Όμως και αυτό το μοντέλο είχε τα μειονεκτήματά του, επειδή ο αεροθάλαμος κολλούσε στον τροχό (ζάντα).

Το 1890 ο C. K. Welsh δημιούργησε ένα προσχέδιο τροχού με εξωτερικό κάλυμμα και προεκτεταμένο χείλος, μία γνώριμη μορφή σημερινών τροχών. Με τα χρόνια, τα ελαστικά αναπτύχθηκαν έως τα σημερινά επίπεδα υψηλής τεχνολογίας. Τα πιο σημαντικά τεχνολογικά επιτεύγματα περιλαμβάνουν το ακτινωτό ελαστικό της εταιρείας Michelin, το 1948 και το αεροστεγές ελαστικό οχημάτων της Dunlop, το 1972.

Οι συνεχείς βελτιώσεις έδωσαν στην αυτοκινητοβιομηχανία ελαστικά με πολλές δυνατότητες. Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται τα αγωνιστικά ελαστικά, όπως της Formula 1, μέχρι τα βιομηχανικά ελαστικά για οχήματα τόσο μεγάλα όσο μια κατοικία. Σήμερα, όλα τα ελαστικά προσφέρουν άνεση στην οδήγηση, απορρόφηση κραδασμών και επιδόσεις.

## Κεφάλαιο 2

### Πολυμερή

#### 2.1 Γενικά ιστορικά στοιχεία πολυμερών

Ο κόσμος μας είναι γεμάτος από πολυμερή υλικά. Αντικείμενα που χρησιμοποιούμε καθημερινά, το χαρτί που γράφουμε, τα ρούχα που φοράμε, ακόμη και εμείς οι ίδιοι είμαστε κατασκευασμένοι από πολυμερικές δομές. Τα πολυμερή βρίσκονται παντού στη φύση. Για παράδειγμα, το ξύλο, το βαμβάκι, το μετάξι, οι πρωτεϊνικές ίνες των οργανισμών, το DNA των κυττάρων, καθώς και η μεμβράνη που διαχωρίζει το ένα κύτταρο από το άλλο αποτελούν περιπτώσεις φυσικών πολυμερών. Η χρήση των πολυμερικών υλικών άρχισε πριν από χιλιάδες χρόνια, όταν οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν τα φυσικά πολυμερή, που έχουν φυτική ή ζωική προέλευση, στην καθημερινή τους ζωή. Εντούτοις, μόλις κατά τον 20<sup>ο</sup> αιώνα ξεκίνησε η επιστημονική προσέγγιση και η παραγωγή συνθετικών πολυμερών, ιδιαίτερα μετά τη λήξη του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου, περίοδο ιδιαίτερης άνθησης για τον τομέα των υλικών. Μπορεί να θεωρηθεί ότι η επιστήμη των πολυμερών, στην πραγματικότητα, «γεννήθηκε» κατά τη δεκαετία του 1920, όταν ο Γερμανός χημικός Hermann Staudinger εισήγαγε για πρώτη φορά την έννοια του μακρομορίου. Μια θεώρηση που ερχόταν σε αντίθεση με την προγενέστερη εκδοχή του Naegeli περί κολλοειδούς «μεγαλομοριακών» διαστάσεων, το οποίο αποτελούσε ένα άθροισμα πολλών μικροτέρων μορίων συνδεδεμένων με ασθενείς δεσμούς ακαθόριστης φύσεως. Η θεωρία του Staudinger άρχισε σταδιακά να αποκτά υποστηρικτές στη δεκαετία του '30 και ο ίδιος βραβεύτηκε με το βραβείο Nobel το 1953 [3].



Ωστόσο, δε θα πρέπει να υποτιμηθεί η συμβολή και άλλων μελετητών, οι οποίοι από τα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα εργάστηκαν στο ίδιο ερευνητικό πεδίο. Το 1838, ο Γάλλος χημικός Henri Victor Regnault παρατήρησε το σχηματισμό στερεής ουσίας από αέριο βινυλοχλωρίδιο, μετά από έκθεσή του στο φως. Η έρευνα αυτή δεν είχε συνέχεια, αλλά το 19<sup>ο</sup> αιώνα η χρήση των φυσικών πολυμερών άλλαξε δραματικά με την παραγωγή ημισυνθετικών πολυμερών, δηλαδή φυσικών πολυμερών που επεξεργάζονται χημικά ώστε να προκύψουν υλικά με βελτιωμένες ιδιότητες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η μετατροπή του καουτσούκ σε ελαστικό καλύτερων ιδιοτήτων με την προσθήκη θείου, που πρώτος παρατήρησε ο Charles Goodyear (1839), διαδικασία που αργότερα καθιερώθηκε με την ονομασία βουλκανισμός. Το πρώτο πλαστικό που παρασκευάστηκε ήταν η συνθετική κυτταρίνη (celluloid), το 1870. Μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο η βιομηχανία των πολυμερών γνώρισε ραγδαία ανάπτυξη, κυρίως λόγω της παραγωγής συνθετικών πολυμερών με χημικές κατεργασίες. Αυτό συνέβη, πρωτίστως, εξαιτίας της ανεπάρκειας φυσικών πολυμερών. Έτσι, τα φυσικά πολυμερή αντικαταστάθηκαν από τα συνθετικά, τα οποία έλαβαν τεράστια ώθηση, με κύρια χώρα ανάπτυξης τις Ηνωμένες Πολιτείες. Την εποχή αυτή αναπτύχθηκαν και τα θερμοπλαστικά πολυμερή, όπως το πολυστυρένιο (PS), το πολυαιθυλένιο (PE), το πολυπροπυλένιο (PP) και το χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC) [4]. Το 2002 η παγκόσμια ετήσια παραγωγή πολυμερών άγγιξε τα 150 με 200 εκατομμύρια τόνους προϊόντων και συναγωνίζεται εκείνη του χάλυβα [5].

## **2.2 Στοιχεία δομής και κατάταξης πολυμερών**

Οι όροι «πολυμερή» και «πλαστικά» θεωρούνται συνήθως συνώνυμοι. Στην πραγματικότητα, όμως, υπάρχει διαφορά μεταξύ τους. Το πολυμερές είναι η χημική ένωση που προκύπτει από την αντίδραση πολυμερισμού και συνήθως

εκπροσωπεί την οικογένεια των υλικών που χαρακτηρίζονται από μια κοινή μακρομοριακή δομή. Τα καθαρά πολυμερή σπανίως χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές. Συνήθως, τα πολυμερή εμπεριέχουν διάφορες πρόσθετες ουσίες που τους προσδίδουν επιθυμητές τελικές ιδιότητες.

Κάποια από τα κυριότερα χαρακτηριστικά των πολυμερών είναι τα παρακάτω:

- Αποτελούνται κυρίως από άνθρακα και υδρογόνο και, σε μικρότερο βαθμό, από οξυγόνο, άζωτο και πυρίτιο
- Αν τήκονται, έχουν χαμηλά σημεία τήξης σε σχέση με τα άλλα φυσικά υλικά
- Τα πιο πολλά δεν είναι καλοί αγωγοί θερμότητας και ηλεκτρισμού.

Τα πολυμερή εμφανίζουν χαμηλή θερμική αγωγιμότητα· λόγω αυτού βρίσκουν εφαρμογή ως θερμομονωτικά. Επίσης, χρησιμοποιούνται και ως μονωτές ηλεκτρισμού. Η ιδιότητα αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι οι ομοιοπολικοί δεσμοί των πολυμερών δεν περιέχουν ελεύθερο ηλεκτρικό φορτίο (ηλεκτρόνια), οπότε παρουσιάζουν μεγάλη ειδική ηλεκτρική αντίσταση. Επιπλέον, γενικά, εμφανίζουν μεγάλη αντοχή σε χημική προσβολή. Τα πολυμερικά υλικά είναι ελαφρά (είναι, δηλαδή, χαμηλής πυκνότητας), διότι τα στοιχεία H, C έχουν μικρά ατομικά βάρη. Τα κρυσταλλικά πολυμερή παρουσιάζουν μεγαλύτερη πυκνότητα από τα άμορφα, εξαιτίας της πυκνής κανονικής διάταξης των μακρομορίων. Με κριτήριο τη μηχανική συμπεριφορά τους κατά τη θέρμανση, τα πολυμερή κατατάσσονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα θερμοπλαστικά (thermoplastics) και τα θερμοσκληρυνόμενα (thermo sets).

Με κριτήριο την προέλευση τα πολυμερή διακρίνονται σε:

- Φυσικά
- Ημισυνθετικά
- Συνθετικά.



Τα φυσικά πολυμερή βρίσκονται στη φύση. Ημισυνθετικά ονομάζονται τα πολυμερή που προκύπτουν από χημική επεξεργασία φυσικών πολυμερών. Συνθετικά πολυμερή προκύπτουν από μη ανανεώσιμες πρώτες ύλες, όπως το πετρέλαιο και συντίθενται χημικά [4].

Με βάση τον τρόπο σύνθεσής τους, τα συνθετικά πολυμερή χωρίζονται σε δύο σημαντικές υποκατηγορίες, τα πολυμερή προσθήκης και τα πολυμερή συμπύκνωσης.

Τα πολυμερή προσθήκης παράγονται με διαδοχικές αντιδράσεις προσθήκης μονομερών μέχρι να προκύψει το τελικό πολυμερές (Σχήμα 2). Τα πολυμερή συμπύκνωσης προκύπτουν με την αντίδραση δύο μονομερών διαφορετικών δραστικών ομάδων (Σχήμα 3). Το πολυμερές που προκύπτει περιλαμβάνει, συνήθως, στην κύρια αλυσίδα και άλλα άτομα εκτός από άνθρακα [4].



Σχήμα 2. Παράδειγμα πολυμερισμού προσθήκης



Σχήμα 3. Παράδειγμα πολυμερισμού συμπύκνωσης [4]

Με κριτήριο την αρχιτεκτονική της μακρομοριακής αλυσίδας τους τα πολυμερή διακρίνονται σε:

- Γραμμικά
- Διακλαδισμένα
- Διασταυρωμένα
- Δικτυωμένα.

Γραμμικά είναι τα πολυμερή, στα οποία τα μονομερή συνδέονται μεταξύ τους σχηματίζοντας απλές αλυσίδες. Μεταξύ αυτών των αλυσίδων αναπτύσσονται

διαμοριακές ελκτικές δυνάμεις, όπως δεσμοί Van der Waals. Παραδείγματα πολυμερών με γραμμικές δομές αποτελούν το Nylon, το πολυαιθυλένιο, το πολυβινυλοχλωρίδιο και το πολυστυρένιο. Διακλαδισμένα είναι τα πολυμερή, των οποίων οι κύριες αλυσίδες περιέχουν μικρού μοριακού βάρους πλευρικές αλυσίδες. Η παρουσία των πλευρικών αλυσίδων μειώνει την πυκνότητα του πολυμερούς. Στα διασταυρωμένα πολυμερή, οι κύριες αλυσίδες ενώνονται μεταξύ τους με μικρού μοριακού βάρους αλυσίδες (Σχήμα 4). Πολλά από τα ελαστικά υλικά είναι διασταυρωμένα. Τέλος, τα δικτυωμένα πολυμερή έχουν ονομασθεί έτσι εξαιτίας των τρισδιάστατων δικτύων, τα οποία σχηματίζουν οι αλυσίδες τους.

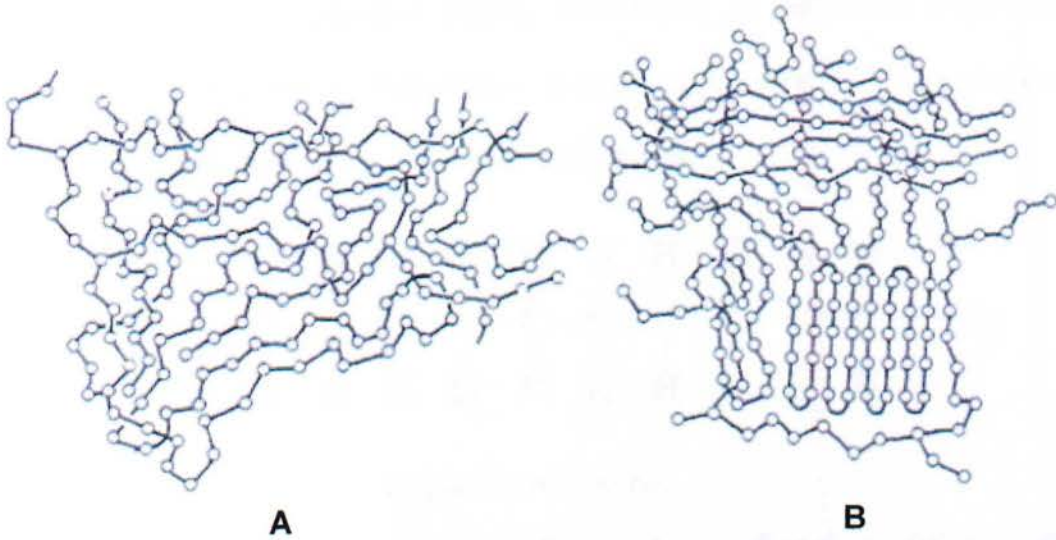


**Σχήμα 4.** Γραμμικό, διακλαδισμένο και διασταυρωμένο πολυμερές

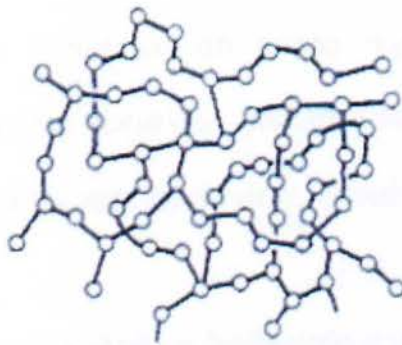
Οι χρήσεις είναι πάρα πολλές, λόγω των μηχανικών, οπτικών και ηλεκτρικών ιδιοτήτων που παρουσιάζουν. Λόγω της χαμηλής τους πυκνότητας, η ειδική μηχανική αντοχή (αντοχή/πυκνότητα) είναι πολύ μεγάλη και χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές που απαιτούν, ταυτόχρονα, υψηλή αντοχή και μικρό βάρος (π.χ. αυτοκινητοβιομηχανία). Γενικά, τα πολυμερή υλικά παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία ιδιοτήτων (μηχανικών, φυσικών) και χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ειδών καθημερινής και οικιακής χρήσης (αθλητικά είδη, παιχνίδια, πλαστικά έπιπλα, επενδύσεις, κόλλες, σακούλες), στην ηλεκτρονική (πλακέτες



κυκλωμάτων και πλαίσια), την κλωστοϋφαντουργία (ίνες και υφάσματα), την αυτοκινητοβιομηχανία, τη ναυπηγική και την αεροναυπηγική [6].



**Σχήμα 5.** Αμορφο γραμμικό πολυμερές (A) και ημικρυσταλλικό γραμμικό πολυμερές (B)



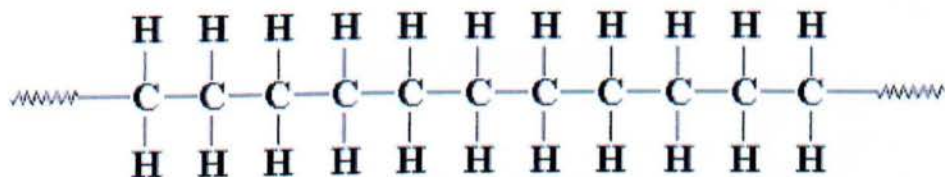
**Σχήμα 6.** Πολυμερές, στο οποίο οι αλυσίδες συνδέονται με ομοιοπολικές διασταυρώσεις (π.χ. εποξειδική ρητίνη) [7]

Τα πολυμερή, σε σχέση με τα μεταλλικά υλικά, παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα. Στις περισσότερες περιπτώσεις έχουν χαμηλότερες μηχανικές ιδιότητες και δεν είναι δυνατή η χρήση τους σε υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, η χρήση τους επιφυλάσσει μεγάλους κινδύνους ρύπανσης του περιβάλλοντος (πρόβλημα ανακύκλωσης) [8].

### 2.3. Χημική δομή και σύνθεση των πολυμερών

Ένα πολυμερές είναι μια χημική ένωση μεγάλου μοριακού βάρους, η οποία αποτελείται από δομικές μονάδες που συνδέονται με ομοιοπολικούς δεσμούς.

Η χημική αυτή ένωση προκύπτει από τη σύνδεση πολλών απλών μορίων με μικρό μοριακό βάρος (των μονομερών), με αποτέλεσμα η τελική χημική ένωση να έχει πολλαπλάσιο μοριακό βάρος. Ενδεικτικά, το αιθυλένιο ( $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$ ) μετατρέπεται στη μονάδα  $-\text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2-$ , η οποία σχηματίζει το πολυαιθυλένιο, το απλούστερο πολυμερές ( $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ )<sub>n</sub>.



Σχήμα 7. Πολυαιθυλένιο

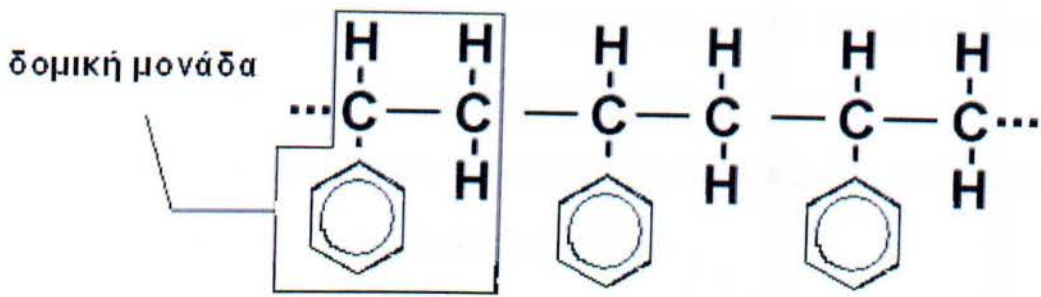
Στο παραπάνω παράδειγμα, αν προστεθεί ένα άτομο υδρογόνου (H) στο κάθε άκρο της αλυσίδας δημιουργείται ένα συνηθισμένο συστατικό της βενζίνης ( $\text{C}_{11}\text{H}_{24}$ ). Συμπεραίνεται, επομένως, ότι πολλά τεχνητά πολυμερή σώματα συντίθενται από το πετρέλαιο. Επιπλέον, πολλά πολυμερή σώματα καίγονται, με πιθανό το σχηματισμό τοξικών προϊόντων, ειδικά εκείνα τα πολυμερή που περιέχουν χλώριο (Cl).

Η αντίδραση πολυμερισμού, δηλαδή η διαδικασία κατά την οποία προκύπτουν τα πολυμερή σώματα από τα μονομερή τους, είναι μια σύνθετη διαδικασία, η οποία συντελείται με εφαρμογή θερμότητας, πίεσης και παρουσία ενός ή περισσοτέρων καταλυτών.

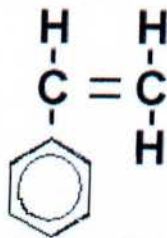
Όπως ήδη αναφέρθηκε, όλα τα πολυμερή υλικά ταξινομούνται με κριτήριο τη διαδικασία σύνθεσής τους, είτε ως πολυμερή προσθήκης, είτε ως πολυμερή συμπύκνωσης.

Πολυμερές προσθήκης ονομάζεται εκείνο, στο οποίο ο μοριακός τύπος του μονομερούς επαναλαμβάνεται (όπως, για παράδειγμα, στο πολυαιθυλένιο). Ο μοριακός τύπος του πολυστυρενίου φαίνεται στο Σχήμα 8, ενώ στο Σχήμα 9 παρουσιάζεται το μονομερές, από το οποίο προέρχεται το πολυμερές αυτό.



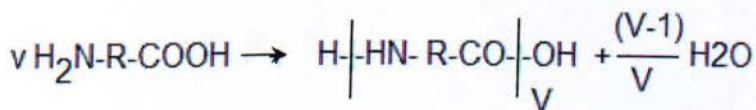


Σχήμα 8. Πολυστυρένιο



Σχήμα 9. Στυρένιο

Το πολυμερές συμπύκνωσης είναι εκείνο, του οποίου ο μοριακός τύπος έχει προκύψει από την αντίδραση του μονομερούς (ή των μονομερών), με τελικό σχηματισμό πολυμερούς (χαρακτηριστικό παράδειγμα το πολυαμίδιο) και μιας μικρού μοριακού βάρους χημικής ένωσης, όπως το νερό, που απομακρύνεται ως παραπροϊόν (Σχήμα 10).



Σχήμα 10. Πολυμερισμός συμπύκνωσης

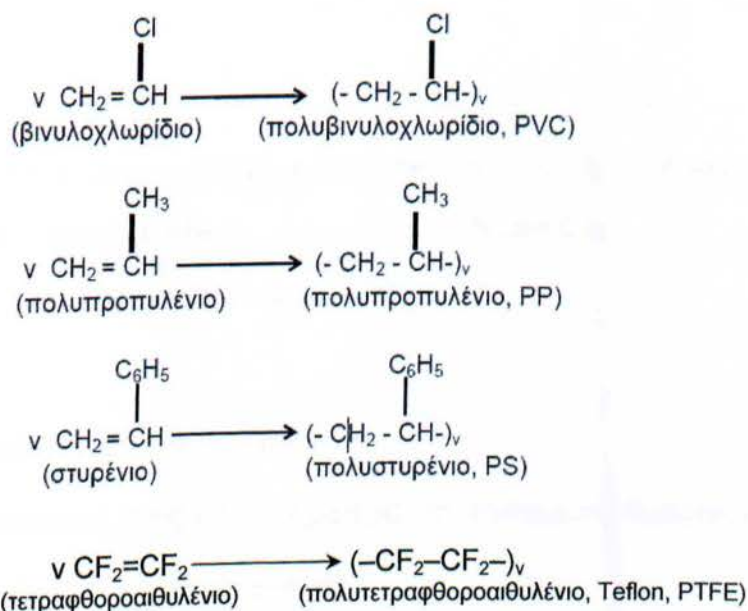
### 2.3.1 Αλυσιδωτός πολυμερισμός

Ονομάζεται επίσης πολυπροσθήκη και πρόκειται για μια ταχεία αλυσιδωτή αντίδραση που έχει τρεις φάσεις:



Ο αριθμός  $n$  δείχνει τον αριθμό των ανεξάρτητων μονομερών (αιθυλένιο) που συνδέονται, προκειμένου να δημιουργηθεί το πολυμερές (πολυαιθυλένιο). Οι διάφορες φάσεις της αλυσιδωτής αντίδρασης παρουσιάζονται στο Σχήμα 12. Το ρόλο του ενεργοποιητή, αλλά και αναστολέα του πολυμερισμού, παίζει η ελεύθερη ρίζα του υδροξυλίου ( $\text{OH}\cdot$ ).

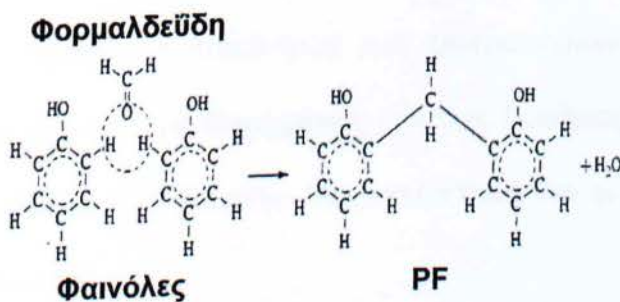
Μερικά πολύ διαδεδομένα πολυμερή και οι συνολικές αντιδράσεις αλυσιδωτού πολυμερισμού φαίνονται στο Σχήμα 13.



**Σχήμα 13.** Σχηματισμός πολυμερών προσθήκης

### 2.3.2 Σταδιακός πολυμερισμός

Σε αντίθεση με τον αλυσιδωτό πολυμερισμό, ο σταδιακός πολυμερισμός (ή πολυσυμπύκνωση) αποτελεί πολύ πιο αργή αντίδραση και πραγματοποιείται μέσω πολλαπλών ανεξαρτήτων αντιδράσεων μεταξύ ζευγών μονομερών.



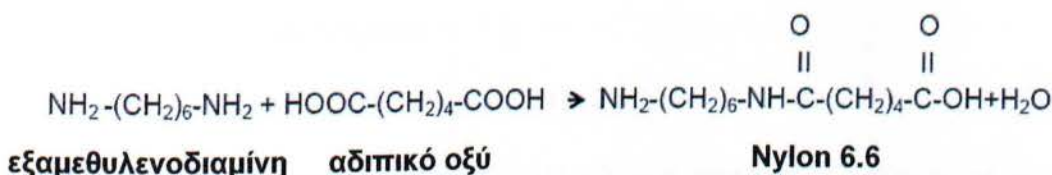
**Σχήμα 14.** Σταδιακός πολυμερισμός φαινόλης–φορμαλδεΐδης



Η αντίδραση των μονομερών συνοδεύεται από την παραγωγή παραπροϊόντος (όπως νερό ή αμμωνία). Ένα τέτοιο παράδειγμα σταδιακού πολυμερισμού φαινόλης–φορμαλδεΐδης παρουσιάζεται στο Σχήμα 14.

Το παραγόμενο συμπολυμερές φαινόλης–φορμαλδεΐδης (PF) είναι γνωστό με την ονομασία βακελίτης και χρησιμοποιείται σε πολλές ηλεκτρολογικές εφαρμογές.

Ένα άλλο παράδειγμα σταδιακού πολυμερισμού είναι ο σχηματισμός του Nylon 6.6 (Σχήμα 15).



Σχήμα 15. Σύνθεση του Nylon 6.6

## 2.4 Σημαντικές κατηγορίες πολυμερών

Ως προς τη συμπεριφορά τους στη θερμότητα, τα πολυμερή διακρίνονται σε θερμοπλαστικά και θερμοσκληρυνόμενα [6].

### 2.4.1 Θερμοπλαστικά

Είναι συνήθως γραμμικά πολυμερή, τα οποία κατά τη θέρμανση μαλακώνουν και παραμορφώνονται εύκολα, όπως τα μέταλλα, ενώ κατά την ψύξη τους σκληραίνουν. Η διεργασία αυτή είναι αντιστρεπτή.

Η ευκολία παραμόρφωσης των θερμοπλαστικών κατά τη θέρμανση οφείλεται στην αύξηση της τοπικής κινητικότητας των μακρομορίων τους, τα οποία συγκρατούνται μεταξύ τους με διαμοριακές ελκτικές δυνάμεις, όπως δεσμούς Van der Waals. Μερικά συνηθισμένα θερμοπλαστικά και οι εφαρμογές τους φαίνονται στον Πίνακα 1.



Πίνακας 1. Θερμοπλαστικά πολυμερή και εφαρμογές

Πολυμερές	Τυπικές Εφαρμογές
Πολυαιθυλένιο (PE)	Υλικά συσκευασίας, φύλλα, φιάλες
Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)	Δάπεδα, μεμβράνες, σωλήνες
Πολυπροπυλένιο (PP)	Φύλλα, σωλήνες, καλύμματα
Πολυστυρένιο (PS)	Δοχεία, αφρώδη υλικά
Θερμοπλαστικός πολυεστέρας (PET, Dacron, Mylar)	Μαγνητικές ταινίες, ίνες, μεμβράνες
Ακρυλικά (PMMA, Lucite)	Παράθυρα, φακοί επαφής
Πολυαμίδιο (Nylon)	Ρουχισμός, σχοινιά, γρανάζια
Ακρυλονιτρίλιο–Βουταδιένιο–Στυρένιο (ABS)	Βαλίτσες, τηλεφωνικές συσκευές
Πολυτετραφθοροαιθυλένιο (Teflon)	Υλικά στεγανοποίησης, έδρανα, φλάντζες

### 2.4.2 Θερμοσκληρυνόμενα

Τα θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή σχηματίζουν δισδιάστατα ή τρισδιάστατα δίκτυα, αποτελούμενα από μικρά, σχετικά, μακρομόρια που προέρχονται από την επανάληψη του μονομερούς μερικές εκατοντάδες φορές. Κατά την ανάμειξη του πολυμερούς (ρητίνη) με το αντίστοιχο σκληρυντικό, με ή χωρίς θέρμανση, το πολυμερές σκληραίνει και μορφοποιείται κατά μη αντιστρεπτό τρόπο. Έτσι, τα θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή δεν επιδέχονται περαιτέρω κατεργασία, διότι αυξανόμενης της θερμοκρασίας διασπώνται χημικοί δεσμοί και το πολυμερές δεν τήκεται, λόγω της ιδιάζουσας δικτυωτής κατανομής των μακρομορίων, η οποία καθιστά αδύνατη τη σχετική ολίσθησή τους. Ορισμένα τυπικά θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή και οι εφαρμογές τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

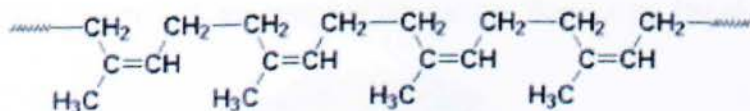
Πίνακας 2. Θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή και εφαρμογές

Πολυμερές	Τυπικές Εφαρμογές
Πολυουρεθάνη	Φύλλα, σωλήνες, αφρώδη υλικά, ίνες
Φαινολικά (Βακελίτης)	Ηλεκτρολογικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός
Ρητίνη ουρίας–φορμαλδεϋδης	Πιάτα, ελάσματα
Θερμοσκληρυνόμενοι πολυεστέρες	Σύνθετα υλικά με ίνες γυαλιού (fiberglass), επικαλύψεις
Εποξειδικές ρητίνες	Κόλλες (Araldite), σύνθετα υλικά με ίνες γυαλιού, επικαλύψεις

Τα πολυμερή, ανάλογα με τη συμπεριφορά τους σε εφαρμοζόμενη τάση, κατηγοριοποιούνται σε πλαστικά και σε ελαστομερή.

### 2.4.3 Ελαστομερή

Είναι, συνήθως, γραμμικά πολυμερή με διακλαδισμένες αλυσίδες. Κατά την εφαρμογή εκτατικής τάσης, μπορούν να υποστούν μεγάλες παραμορφώσεις και να επανέλθουν στο αρχικό τους σχήμα μετά την άρση του φορτίου (ιδιότητα υπερελαστικότητας). Οι χαρακτηριστικότεροι αντιπρόσωποι των ελαστομερών είναι το ελαστικό κόμμι, το συνθετικό και το φυσικό καουτσούκ, το συνθετικό πολυισοπρένιο, το ελαστικό πολυμερές στυρενίου-βουταδιενίου, το πολυχλωροπρένιο και οι σιλικόνες. Το καουτσούκ βρίσκει την κυριότερη εφαρμογή του στα ελαστικά των αυτοκινήτων.



Σχήμα 16. Χημική δομή καουτσούκ

Το ελαστικό είναι ανθεκτικό στα αλκάλια και τα ασθενή οξέα. Η ελαστικότητα των ελαστομερών, η ανθεκτικότητα, η στεγανότητα, η συγκολλητικότητα και η ηλεκτρική τους αντίσταση τα καθιστούν πολύ χρήσιμα για κόλλες, ίνες, υλικά επιστρώσεως και ασυναγώνιστα για υλικά που χυτεύονται ή διαμορφώνονται εύκολα και για ηλεκτρικούς μονωτές. Γενικά, τα συνθετικά ελαστομερή έχουν τα εξής πλεονεκτήματα σε σχέση με τα φυσικά:

- Αργή γήρανση
- Υψηλότερη αντοχή στη διάβρωση
- Υψηλότερη αντίσταση στο πετρέλαιο, τους διαλύτες, το οξυγόνο, το όζον και σε ορισμένα χημικά αντιδραστήρια
- Διατήρηση ορισμένων ιδιοτήτων σε μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών.

Από την άλλη, τα πλεονεκτήματα του φυσικού ελαστικού είναι:



- Μικρότερη τοπική συγκέντρωση θερμότητας κατά την κάμψη
- Μεγαλύτερη αντίσταση κατά τη δημιουργία οπής, όταν είναι θερμό.

Όταν το καουτσούκ θερμανθεί με θείο υφίσταται βουλκανισμό, δημιουργούνται δηλαδή διασταυρώσεις (cross-links) μεταξύ των μορίων, οι οποίες ενισχύουν σημαντικά τη δομή του ελαστικού. Με τον τρόπο αυτό, το ελαστομερές γίνεται πολύ σκληρότερο, ανθεκτικότερο και λιγότερο ευαίσθητο σε θερμοκρασιακές μεταβολές. Η σχέση που υπάρχει μεταξύ της περιεκτικότητας του καουτσούκ σε θείο και της βελτίωσης της μηχανικής του συμπεριφοράς, επιτρέπει την παραγωγή καουτσούκ με μεγάλο εύρος ιδιοτήτων [9].

Εκτός από τη θερμή μέθοδο βουλκανισμού (που εφευρέθηκε από τον Charles Goodyear το 1839), αναπτύχθηκε και η μέθοδος ψυχρού βουλκανισμού, κατά την οποία το ελαστικό «βαπτίζεται» ή ψεκάζεται με ατμούς ορισμένων ενώσεων θείου (αναπτύχθηκε από τον Alexander Parkes το 1846) [8].



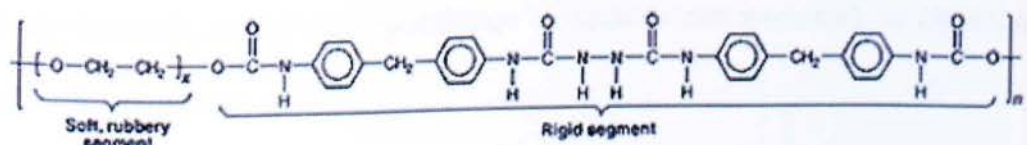
Σχήμα 14. Ελαστικό αυτοκινήτου

Το σκληρό ελαστικό περιέχει θείο σε ποσοστό από 30 έως 50%, ενώ στο μαλακό ελαστικό το αντίστοιχο ποσοστό είναι χαμηλότερο του 5%. Κατά την ανάμειξη θείου–ελαστικού προστίθεται, συνήθως, ένας οργανικός επιταχυντής (όπως η ανιλίνη) που ελαττώνει το χρόνο και τη θερμοκρασία της διεργασίας βουλκανισμού. Το τελικό στάδιο περιλαμβάνει τοποθέτηση του προκύπτοντας υλικού σε τύπους (καλούπια) για να σχηματισθεί η επιθυμητή μορφή με την εφαρμογή πίεσης και θερμότητας.



Το τελικό προϊόν δεν είναι κολλώδες, όπως το ακατέργαστο ελαστικό, δε σκληραίνει κατά την έκθεσή του σε χαμηλές θερμοκρασίες και δε μαλακώνει κατά τη θέρμανση –εκτός αν η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή–, διατηρεί την ελαστικότητά του σε μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών και είναι ανθεκτικότερο στη φθορά, σε προϊόντα πετρελαίου και σε άλλες χημικές ουσίες. Τέλος, είναι καλύτερο μονωτικό για τον ηλεκτρισμό και τη θερμότητα. Η διεργασία του βουλκανισμού ήταν καθοριστική στην εξέλιξη των ελαστικών και βοήθησε την ανάπτυξη βιομηχανιών, όπως της αυτοκινητοβιομηχανίας [8].

Αξίζει να αναφερθεί ότι τα ελαστικά αιθυλενίου–προπυλενίου (EPDM), λόγω της υψηλής τους αντοχής στη διάβρωση και το ηλιακό φως, χρησιμοποιούνται σε υποδήματα και σε ορισμένα μέρη του αυτοκινήτου ως ηλεκτρομονωτικά. Τα ελαστομερή, με την εμπορική ονομασία Spandex<sup>®</sup>, είναι συμπολυμερή πολυουρεθάνης με πολυαιθέρα ή πολυεστέρα. Η πολυουρεθάνη προσδίδει αντοχή σε μηχανικές καταπονήσεις και ανθεκτικότητα στη θερμότητα, ενώ ο πολυαιθέρας ή ο πολυεστέρας συνεισφέρει στην ελαστικότητα. Η οικογένεια αυτή είναι η πιο «ευέλικτη», εξαιτίας της σκληρότητας, της αντοχής, της μη διάβρωσης από πετρέλαιο και των καλών αντοχών της στη γήρανση. Η χρήση τους εκτείνεται από τους τροχούς αεροσκαφών έως τα μαξιλάρια καθισμάτων. Άλλα συνθετικά προϊόντα ελαστικού είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά σε πολυάριθμες χημικές ουσίες, αλλά το υψηλό κόστος παραγωγής περιορίζει τη ευρεία χρήση τους [8].



Σχήμα 15. Spandex

Συνοπτικά, μερικά κοινά ελαστομερή και οι εφαρμογές τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Ελαστομερή και εφαρμογές

Πολυμερές	Τυπικές Εφαρμογές
Πολυβουταδιένιο	Ελαστικά αυτοκινήτων
Πολυισοπρένιο	Ελαστικά αυτοκινήτων, έδρανα, παρεμβύσματα (φλάντζες)
Πολυχλωροπρένιο	Έδρανα, πυράντοχα αφρώδη υλικά, μεταφορικές ταινίες
Σιλικόνη	Κόλλες, παρεμβύσματα

#### 2.4.4 Πλαστικά

Πλαστικό είναι ένα οποιοδήποτε οργανικό υλικό, το οποίο έχει τη δυνατότητα να μορφοποιείται με την εφαρμογή θερμότητας και πίεσης και να διατηρεί τη μορφή αυτή κατά τη χρήση του.

Τα πλαστικά είναι σχεδόν αποκλειστικά πολυμερή μεγάλου μοριακού βάρους, από όπου και η ονομασία πολλών πλαστικών, τα οποία φέρουν το πρόθεμα πολυ- και μπορεί να περιέχουν πρόσθετα, οργανικά ή μη, για βελτίωση των ιδιοτήτων τους (μηχανική αντοχή, εμφάνιση και χρώμα). Κύριο συστατικό τους αποτελούν οι συνθετικές ρητίνες, οι οποίες διακρίνονται σε εποξειδικές και ακρυλικές.

Ένα πλαστικό παρασκευάζεται από συνδυασμό:

- Πολυμερών
- Πλαστικοποιητών
- Υλικών πληρώσεως
- Χρωστικών ουσιών και
- Άλλων προσθέτων.

Ο συνδυασμός αυτός των προσθέτων προσδίδει στο πλαστικό τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του.

Οι πλαστικοποιητές προστίθενται για αύξηση ευκαμψίας και ανθεκτικότητας. Τα υλικά πληρώσεως προστίθενται για βελτίωση συγκεκριμένων ιδιοτήτων, όπως της σκληρότητας ή της αντοχής στους κραδασμούς. Οι χρωστικές ουσίες προσδίδουν στο πλαστικό την επιθυμητή απόχρωση. Συμπεραίνεται,



επομένως, ότι με τη χρησιμοποίηση διαφορετικών προσθέτων και αναλογίων επιτυγχάνεται ένα ευρύ φάσμα ιδιοτήτων του τελικού μείγματος (πλαστικού).

Τα πλαστικά χρησιμοποιούνται για την κατασκευή σωλήνων, σπειρωμάτων, φύλλων, σε καθορισμένες μορφές, σχήματα και διαστάσεις που ακολουθούν, βεβαίως, συγκεκριμένες προδιαγραφές [8].

## 2.5 Σύνθετα υλικά

Σύνθετα καλούνται τα υλικά που κατασκευάζονται με συνδυασμό τουλάχιστο δύο διαφορετικών υλικών, τα οποία συνδέονται κατάλληλα μεταξύ τους, ώστε να σχηματίσουν ένα ενιαίο, συμπαγές μείγμα, προκειμένου να αποκτηθούν βελτιωμένες ιδιότητες (μηχανικές, θερμικές, ηλεκτρικές). Μια απλή περίπτωση παραδοσιακού σύνθετου υλικού είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα (*béton armé*), το οποίο αποτελείται από σκυρόδεμα (που ήδη αποτελεί ένα σύνθετο υλικό, κατασκευασμένο από τσιμέντο και χαλίκια) και από ράβδους σιδήρου στο εσωτερικό του. Το οπλισμένο σκυρόδεμα παρουσιάζει αυξημένη αντοχή στην κάμψη και δυσθραυστότητα.

Κάθε σύνθετο υλικό συνίσταται από το υλικό της μήτρας και από το ενισχυτικό υλικό. Ανάλογα με τη μορφή του ενισχυτικού υλικού, υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες σύνθετων υλικών:

**Σύνθετα υλικά με διασπορά σωματιδίων.** Παράδειγμα ενός τέτοιου υλικού είναι το σύνθετο πολυστυρενίου–ελαστομερούς. Το σύνθετο αυτό περιέχει σωματίδια ελαστικού σε διασπορά μέσα σε μια μήτρα πολυστυρενίου και ο συνδυασμός των δύο υλικών έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πλαστικότητας του, αρχικά, ψαθυρού πολυστυρενίου. Ένα άλλο παράδειγμα σύνθετου με διασπορά σωματιδίων είναι το αργίλιο (αλουμίνιο) με διεσπαρμένους κόκκους καρβιδίου του πυριτίου (SiC). Λόγω της ύπαρξης των κεραμικών κόκκων του SiC, το υλικό



εμφανίζει πολύ υψηλή σκληρότητα ενώ, ταυτόχρονα, διατηρεί και την ολκιμότητα που προσδίδει η μήτρα αργιλίου

**Σύνθετα υλικά με ίνες:** Το χαρακτηριστικότερο παράδειγμα τέτοιου σύνθετου υλικού είναι πολυμερές (φαινολικό, πολυεστερικό, εποξειδική ρητίνη) ενισχυμένο με ίνες υάλου (fiberglass). Ένα τέτοιο σύνθετο υλικό παρουσιάζει μεγάλη μηχανική, χημική αντοχή και δυσθραυστότητα, σε συνδυασμό με εξαιρετικά χαμηλή πυκνότητα και χρησιμοποιείται σε αεροναυπηγικές–ναυπηγικές εφαρμογές και στη χημική βιομηχανία για την κατασκευή δοχείων καταλλήλων για διαβρωτικά υγρά. Σύνθετα με ίνες Kevlar® (εμπορική ονομασία αρωματικού πολυαμιδίου, το οποίο παρασκεύασε η εταιρεία DuPont) και άνθρακα, είναι υλικά με μεγάλη αντοχή στην κρούση, τα οποία βρίσκουν εφαρμογές στην κατασκευή αμαξωμάτων αγωνιστικών αυτοκινήτων, τριβείων, εδράνων και, γενικά, στοιχείων μηχανών που καταπονούνται κάτω από έντονες μηχανικές και θερμικές συνθήκες.

## Κεφάλαιο 3

### Πολυαμίδια

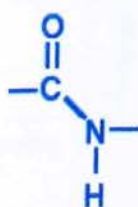
#### 3.1 Εισαγωγή

Το Nylon, εμπορική ονομασία συνθετικών πολυαμιδίων, ανακαλύφθηκε το 1935. Είναι θερμοπλαστικό υλικό, το οποίο χαρακτηρίζεται από αντοχή, ελαστικότητα, αντίσταση σε φθορά και χημικές ουσίες, καθώς και από χαμηλή απορροφητικότητα υγρασίας.

Τα πρώτα καταναλωτικά προϊόντα, στα οποία χρησιμοποιήθηκε, ήταν η οδοντόβουρτσα και οι γυναικείες κάλτσες. Σήμερα χρησιμοποιείται σε πολλά άλλα προϊόντα όπως, για παράδειγμα, υφάσματα, ελαστικά αυτοκινήτων, αερόσακοι, δίχτυα, τάπητες, αλεξίπτωτα, σχοινιά [12].

#### 3.2 Χημική δομή και ιδιότητες πολυαμιδίων

Η χαρακτηριστική ομάδα των πολυαμιδίων είναι η αμιδική, με συντακτικό τύπο που φαίνεται στο Σχήμα 16. Η χημική αντίδραση μιας καρβοξυλομάδας και μιας αμινομάδας σχηματίζει αμιδικό δεσμό.



Σχήμα 16. Αμιδικός δεσμός

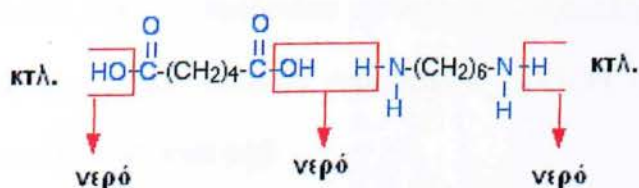
Τα πολυαμίδια είναι πολυμερή συμπύκνωσης δύο μονομερών, συνήθως ενός διοξέος και μιας διαμίνης. Το πρώτο πολυαμίδιο παρασκευάστηκε από τη συμπύκνωση εξαμεθυλενοδιαμίνης με αδιπικό οξύ.

### 3.3 Nylon 6.6

Το Nylon 6.6 αποτελείται από δύο μονομερή που το καθένα περιέχει 6 άτομα άνθρακα· κατά συνέπεια, από εκεί προέρχεται και η ονομασία του.

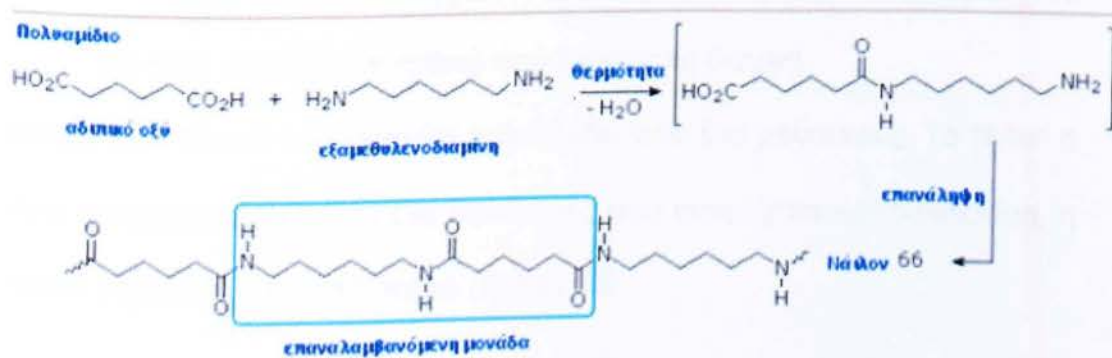
Το Nylon 6.6 σχηματίζεται από ένα διοξύ, το 1,4-εξανοδικό ή αδιπικό οξύ,  $\text{HOOC}-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{COOH}$  και από μια διαμίνη, την εξανο-1,6-διαμίνη ή εξαμεθυλενοδιαμίνη,  $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{NH}_2$ .

Όταν αυτές οι δυο ενώσεις πολυμερίζονται, η αμινομάδα και η καρβοξυλική ομάδα αντιδρούν, σχηματίζοντας την αμιδο-ομάδα και νερό (πολυμερισμός συμπύκνωσης). Το διάγραμμα του Σχήματος 17 αποσαφηνίζει την απώλεια ενός μορίου νερού ανάμεσα σε δύο μόρια μονομερών.



Σχήμα 17. Παραγωγή νερού κατά το σχηματισμό του Nylon 6.6

Η συνολική αντίδραση φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα (Σχήμα 18).



Σχήμα 18. Αντίδραση σχηματισμού του Nylon 6.6

Μια άλλη μέθοδος παρασκευής του Nylon είναι η αντίδραση πολυμερισμού (συμπύκνωση) που πραγματοποιείται στη διεπιφάνεια δύο διαλυμάτων. Όταν, για παράδειγμα, χρησιμοποιηθεί εξαμεθυλενοδιαμίνη,  $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2$  και το χλωρίδιο του αδιπικού οξέος,  $\text{ClOC}-(\text{CH}_2)_4-\text{COCl}$ , θα παρασκευασθεί το Nylon 6.6, ενώ όταν χρησιμοποιηθεί εξαμεθυλενοδιαμίνη και το διχλωρίδιο του



δεκανοδικού οξέος,  $\text{ClOC}-(\text{CH}_2)_8-\text{COCl}$ , θα παρασκευασθεί το Nylon. Και στις δύο περιπτώσεις, ο σχηματισμός του αμιδικού δεσμού συνοδεύεται από το σχηματισμό  $\text{HCl}$  ως παραπροϊόντος.

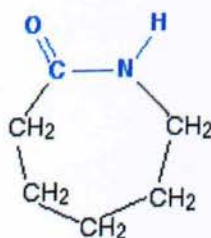
Το Nylon 6.6 χρησιμοποιείται για την κατασκευή ινών που είναι ισχυρές και ανθεκτικές στο χρόνο, ράβδων ή φύλλων που μπορούν, στη συνέχεια, να μορφοποιηθούν εύκολα σε διάφορα αντικείμενα.

Αρχικά, το οξύ (ως όξινο) και η αμίνη (ως βασική) αντιδρούν προς σχηματισμό άλατος. Αυτό, στη συνέχεια, μετατρέπεται σε Nylon 6.6 με θερμότητα (στους  $350\text{ }^\circ\text{C}$ ) και πίεση.

Τα δύο μονομερή μπορούν να παρασκευασθούν από κυκλοεξάνιο:

- Η οξειδωση του κυκλοεξανίου ανοίγει τον εξαμελή δακτύλιο των ατόμων άνθρακα και παράγει μια ομάδα  $-\text{COOH}$  σε κάθε άκρο, σχηματίζοντας το αδιπικό οξύ
- Το οξύ κατεργάζεται με την αμμωνία για την παραγωγή του άλατος αμμωνίου,  $\text{NH}_4\text{OOC}-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{COONH}_4$
- Το άλας αμμωνίου θερμαίνεται στους  $350\text{ }^\circ\text{C}$ , παρουσία υδρογόνου και ενός καταλύτη (νικελίου) παράγοντας τη διαμίνη.

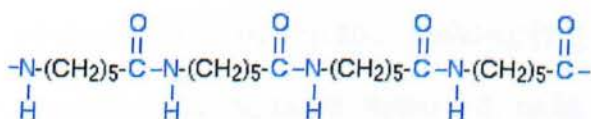
Τέλος, είναι δυνατό να παραχθεί πολυαμίδιο από ένα μονομερές. Το Nylon 6 είναι κατασκευασμένο από ένα μονομερές που ονομάζεται καπρολακτάμη, η οποία περιέχει τον αμιδικό δεσμό (Σχήμα 19).



**Καπρολακτάμη**

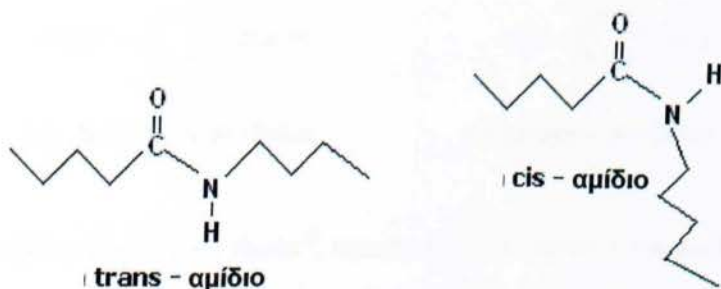
**Σχήμα 19.** Καπρολακτάμη, μονομερές για το Nylon 6

Κάτω από ορισμένες συνθήκες πολυμερισμού, ο δακτύλιος του Σχήματος 19 ανοίγει και δημιουργείται μια συνεχής αλυσίδα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 20.



Σχήμα 20. Δομή του Nylon 6

Ο αμιδικός δεσμός, όπως είναι γνωστό, εμφανίζει cis- και trans- ισομερείς διατάξεις.



Σχήμα 21. Ισομερείς μορφές του αμιδικού δεσμού

Σε ένα πολυαμίδιο οι αμιδικοί δεσμοί έχουν κατά κανόνα τη διάταξη trans- και, επομένως, μεταξύ των πολυμερών αλυσίδων αναπτύσσονται πολικοί δεσμοί και δεσμοί υδρογόνου.

Τέλος, το Nylon 6 το οποίο παράγεται υπό αυτές τις συνθήκες έχει σχετική μοριακή μάζα περίπου 10000 και σημείο τήξης κοντά στους 250 °C. Όταν τακεί μπορεί να μορφοποιηθεί σε ίνες οι οποίες, στη συνέχεια, επιμηκύνονται μηχανικά σε μήκος 4-πλάσιο του αρχικού τους. Αυτή η επεξεργασία βελτιώνει πολύ τις μηχανικές του ιδιότητες.

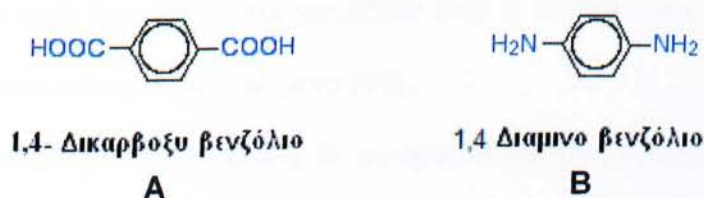
### 3.4 Αραμίδια

Πρόκειται για την οικογένεια αρωματικών πολυαμιδίων, με χαρακτηριστικούς αντιπροσώπους το Kevlar® και το Nomex®. Το Kevlar® χρησιμοποιείται για την κατασκευή αλεξίσφαιρων γιλέκων, ελαστικών αυτοκινήτων, σανίδων για

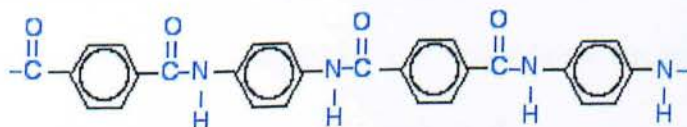


πατίνια (skating) και, γενικά, όπου απαιτούνται ιδιαίτερα ανθεκτικά υλικά. Αναμεμειγμένο με το Nomex<sup>®</sup> χρησιμοποιείται στην κατασκευή ενδυμάτων πυροπροστασίας. Το Kevlar<sup>®</sup> είναι πάρα πολύ κρυσταλλικό, δεν τήκεται κάτω από τους 500 °C και δε διαλύεται σε χημικούς διαλύτες [13].

Το Kevlar<sup>®</sup> είναι παρόμοιας δομής με το Nylon 6.6, αλλά οι αμιδικοί δεσμοί συνδέονται με δακτυλίους βενζολίου. Τα δύο μονομερή για την σύνθεσή του είναι το χλωρίδιο του 1,4-δικαρβοξυβενζολίου ή τereφθαλικού οξέος και το 1,4-διαμινοβενζόλιο ή 1,4-φαινυλενοδιαμίνη (Σχήμα 22).



**Σχήμα 22.** Αρχικά μονομερή του Kevlar<sup>®</sup>, τereφθαλικό οξύ (A) και 1,4-φαινυλενοδιαμίνη (B) Κατά την αντίδραση παράγεται το αρωματικό πολυαμίδιο και υδροχλώριο ως παραπροϊόν. Το Kevlar<sup>®</sup>, που παράχθηκε αρχικά από την εταιρεία DuPont στις αρχές της δεκαετίας του '60, είναι εξαιρετικά ανθεκτικό και πολύ ελαφρό.



**Σχήμα 23.** Χημικός τύπος του Kevlar<sup>®</sup>

Οι αρωματικοί δακτύλιοι εμποδίζουν τη δυνατότητα ύπαρξης cis- διάταξης, με αποτέλεσμα οι αμιδικοί δεσμοί μιας μοριακής αλυσίδας Kevlar<sup>®</sup> να είναι trans- και τα μακρομόρια να είναι ευθυγραμμισμένα, με ισχυρές διαμοριακές ελκτικές δυνάμεις (διπολικές, δεσμοί υδρογόνου, Van Der Waals) [13]. Το Kevlar<sup>®</sup> έχει πολύ καλές θερμο-μηχανικές ιδιότητες, με αντοχή στη θραύση πέντε φορές περίπου υψηλότερη από εκείνη του χάλυβα. Χρησιμοποιείται σε σύνθετα υλικά για την κατασκευή πλοίων, για σχοινιά ορειβασίας, ελαφρά χιονοπέδιλα και ρακέτες, καθώς και πολλά άλλα προϊόντα υψηλών απαιτήσεων.



## Κεφάλαιο 4

### Λινά Υφάσματα

#### 4.1 Το λινό στην Κλωστοϋφαντουργία

Γενικότερα, με τον όρο λινό αναφερόμαστε σε ύφασμα που παράγεται από τις ίνες ενός φυτού, γνωστού ως λινάρι (Σχήμα 24). Άλλα είδη υφασμάτων, αν και παράγονται από βαμβάκι ή άλλα υλικά, αναφέρονται επίσης ως λινά. Αυτό που κάνει το λινό ξεχωριστό και μοναδικό είναι η ιδιότητά του να διατηρείται εξαιρετικά δροσερό σε θερμά κλίματα [14].

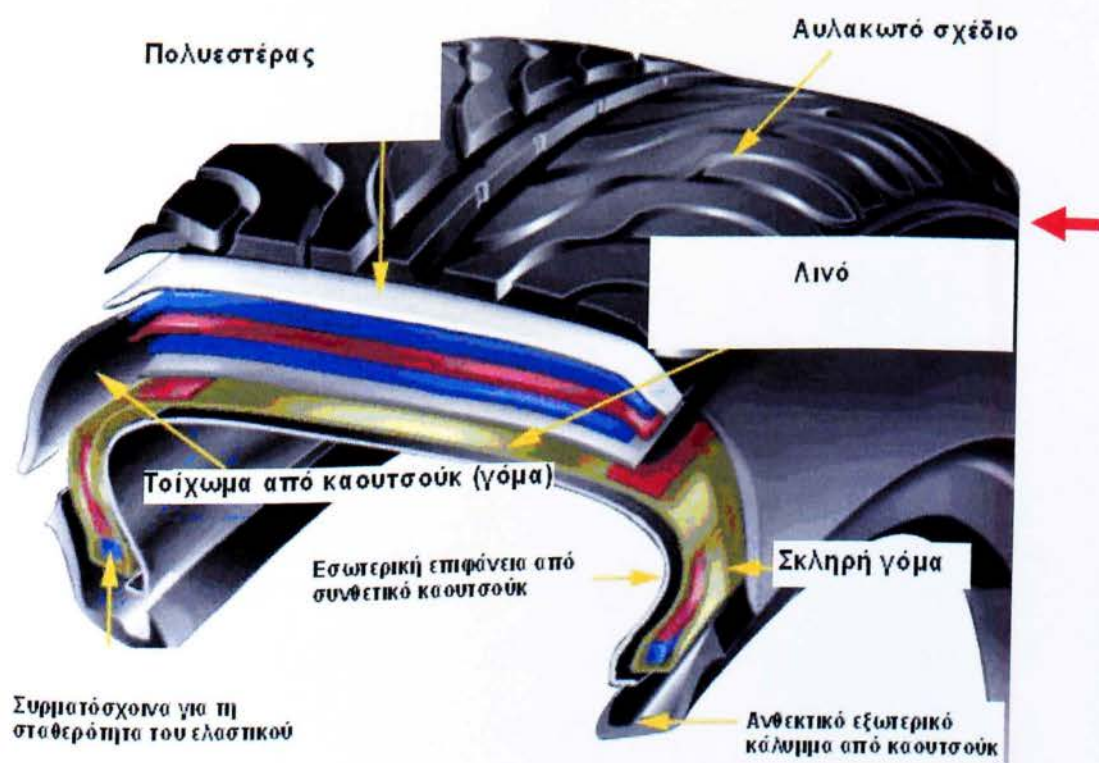
Το λινό στην Κλωστοϋφαντουργία δε συνιστά σύγχρονη εφαρμογή. Δείγματα τέτοιων υφασμάτων από λινάρόσπορο και άχυρο έχουν βρεθεί στην Αίγυπτο, τα οποία χρονολογούνται από τουλάχιστο 10000 χρόνια πριν. Λόγω της αξίας του υφάσματος, οι αρχαίοι Αιγύπτιοι το μεταχειρίζονταν συχνά ως νόμισμα στις συναλλαγές τους. Η αξία του για τους Αιγυπτίους ήταν τόσο μεγάλη, ώστε το χρησιμοποιούσαν για να τυλίγουν ταριχευμένα σώματα και να τονίζουν τη σημασία της αθανασίας των νεκρών και την καθαρότητα της ψυχής τους [14].



Σχήμα 24. Λινάρι

Στη σύγχρονη εποχή, η παραγωγή του γίνεται σε μικρές ποσότητες, λόγω του υψηλού κόστους και της χρονοβόρας διαδικασίας επεξεργασίας του. Συνήθως παράγεται σε δύο διαφορετικές ποιότητες, μία με τις κοντύτερες ίνες που το καθιστούν χοντροκομμένο, ενώ η άλλη, με τη μακρύτερη και λεπτότερη ίνα, το καθιστά ένα αρκετά καλής ποιότητας ύφασμα. Το συγκεκριμένο ύφασμα είναι δύο έως τρεις φορές ανθεκτικότερο στον εφελκυσμό από το συνηθισμένο βαμβάκι [14].

Το λινάρι είναι ετήσιο φυτό και καλλιεργείται για τις κλωστικές ίνες του, από τις οποίες κατασκευάζονται λινά νήματα ή υφάσματα. Οι κυριότερες ποικιλίες του είναι δύο. Η μια από αυτές καλλιεργείται για τις ίνες της και λέγεται κλωστική. Οι κλωστικές ίνες έχουν μεγάλη αντοχή, ικανοποιητική σιλπνότητα και εύκολη επεξεργασία. Επίσης, είναι ανθεκτικές στις διάφορες προσβολές από μύκητες ή μικροοργανισμούς και ανθεκτικότερες από εκείνες του βαμβακιού.



Συρματόσχοινα για τη σταθερότητα του ελαστικού

Σχήμα 25. Κορδόνια από κλωστοϋφαντουργικές ίνες (Textile fiber cords)

Επιπλέον, μπορούν να αποχρωματισθούν, αλλά η βαφή τους είναι σχετικά δύσκολη λόγω της συμπαγούς δομής τους. Οι ίνες του λιναριού έχουν μικρή ελαστικότητα και σκληρή υφή. Τα υφάσματα από λινάρι χρησιμοποιούνται, εκτός από την παραγωγή ενδυμάτων, στην επιπλοποιία ως υλικό επένδυσης επίπλων. Κατώτερης ποιότητας λινάρια χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ελαστικών αυτοκινήτου (Σχήμα 25), σάκων και μουσαμάδων. Τα υπολείμματά τους αξιοποιούνται στη χαρτοποιία και την κατασκευή χαρτιών πολυτελείας και επιστολογραφίας.



## Κεφάλαιο 5

### Η Κατασκευή των Ελαστικών

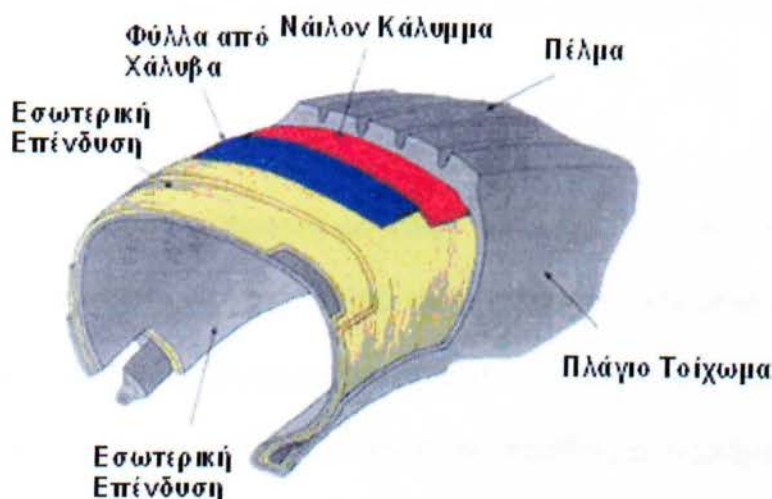
#### 5.1 Τα ελαστικά

Το ελαστικό αποτελείται από πολυάριθμα συστατικά, όπως μικρού μοριακού βάρους χημικές ενώσεις και μέχρι τριάντα διαφορετικά είδη καουτσούκ, που αναμειγνύονται σε τεράστιους αναμείκτες, τις λεγόμενες μηχανές Banbury, οι οποίες λειτουργούν υπό συνθήκες πολύ υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης. Η υψηλή θερμοκρασία διευκολύνει την αντίδραση πολυμερισμού. Τα πολυμερή προσδίδουν την ελαστικότητα που επιτρέπει στο ελαστικό να συμπιεσθεί στην περιοχή, όπου έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του οδοστρώματος και να επανέλθει στην αρχική του μορφή, κάτω από συνθήκες υψηλής συχνότητας περιστροφής. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά συστατικά που χρησιμοποιούνται αναφέρονται στη συνέχεια [15].

#### 5.2 Εσωτερικό του ελαστικού

Το εσωτερικό του ελαστικού είναι ένα ελαστικό φύλλο "halobutyl", το οποίο συντίθεται με τις πρόσθετες ουσίες που οδηγούν σε χαμηλή διαπερατότητα στον αέρα. Έτσι, εξασφαλίζεται η μη διαρροή του πεπιεσμένου αέρα μέσω της δομής του ελαστικού.

Στο σώμα τοποθετούνται δύο στρώσεις λινών, οι λεγόμενες χορδές. Επίσης, προστίθεται ένα ζεύγος λωρίδων, οι λεγόμενες τσέιφερ (chafer), που λέγονται έτσι επειδή ανθίστανται στην τριβή από τον τροχό, όταν γίνεται η τοποθέτησή τους σε αυτόν. Οι χορδές σε ένα ακτινωτό ελαστικό είναι κάθετες προς το πέλμα. Επιπλέον, τα φύλλα είναι επικαλυμμένα με καουτσούκ για να βοηθάει τους δεσμούς με τις άλλες συνιστώσες και να σφραγίζει τον αέρα [15].



Σχήμα 26. Τα εσωτερικά τμήματα ενός τυπικού ελαστικού

### 5.3 Η πτυχή του σκελετού

Μια πτυχή είναι ένα πετρευσμένο φύλλο που αποτελείται από ένα στρώμα ελαστικού, ένα στρώμα ενίσχυσης και ένα δεύτερο στρώμα ελαστικού. Το πρώτο κλωστοϋφαντουργικό προϊόν που χρησιμοποιήθηκε ήταν το βαμβάκι και, πιο πρόσφατα, τα υλικά περιλαμβάνουν το τεχνητό μετάξι, το πολυαμίδιο, το λινό ύφασμα, τον πολυεστέρα και το Kevlar<sup>®</sup>. Τα ελαστικά των επιβατικών οχημάτων έχουν, χαρακτηριστικά, μια ή δύο πτυχές σκελετού. Αυτές οι πτυχές προσδίδουν αντοχή στη δομή των ελαστικών. Έτσι, τα ελαστικά φορτηγών, τα ελαστικά των μοτοσικλετών εκτός δρόμου και οι τροχοί των αεροσκαφών διαθέτουν, σταδιακά, περισσότερες πτυχές [15,16].

### 5.4 Πλευρικά τοιχώματα

Τα πλαϊνά είναι μη ενισχυμένα εξελασμένα τμήματα, με πρόσθετα υλικά για να προσδώσουν στις πλευρές καλή αντοχή στην εκδορά και στα στοιχεία του περιβάλλοντος. Οι πρόσθετες ουσίες που χρησιμοποιούνται στις πλευρές περιλαμβάνουν αντιοξειδωτικές ουσίες. Τα εξελασμένα κομμάτια των πλαϊνών



είναι ασύμμετρα και παρέχουν μια παχιά ελαστική περιοχή για να επιτρέψουν την εγγραφή των στοιχείων των ελαστικών και των σχεδίων διακόσμησης [15].

### 5.5 Σκελετός στήριξης

Είναι ζώνες χαλύβδινου σύρματος μεγάλης αντοχής, το οποίο περιβάλλεται από ένα ελαστικό στρώμα. Τα σύρματα αυτά είναι επενδεδυμένα με χαλκό ή ορείχαλκο. Οι επιστρώσεις αυτές προστατεύουν το χάλυβα από τη διάβρωση. Ο χαλκός στο κράμα και το θείο στο ελαστικό περίβλημα παράγουν θειούχο χαλκό (CuS), ο οποίος βελτιώνει τη σύνδεση του σύρματος με το ελαστικό. Το εσωτερικό πλαίσιο είναι άκαμπτο και ανελαστικό και παρέχει την αντοχή στην κάμψη για να τοποθετηθεί μηχανικά το ελαστικό στον τροχό. Το ελαστικό που περιβάλλει το σύρμα περιλαμβάνει πρόσθετες ουσίες για να μεγιστοποιηθεί η αντοχή και η ανθεκτικότητα του ελαστικού [15].

### 5.6 Το άνω μέρος (κορώνα)

Το άνω μέρος είναι ένα τριγωνικό εξελασμένο τμήμα που έρχεται σε επαφή με το συρμάτινο πλέγμα του εσωτερικού πλαισίου. Δημιουργεί ένα «μαξιλάρι» μεταξύ του πλέγματος και της εύκαμπτης εσωτερικής πτυχής του σκελετού που ονομάζεται filler [15].

### 5.7 Ενισχυτικά του πέλματος

Είναι πεπεισμένα φύλλα που αποτελούνται από ένα στρώμα ελαστικού, ένα στρώμα λεπτών ινών χάλυβα και ένα δεύτερο στρώμα ελαστικού. Οι ίνες χάλυβα προσανατολίζονται ακτινωτά στα ακτινωτά (radial) ελαστικά και σε αντίθετες γωνίες στα σταυρωτά (bias) ελαστικά. Οι ζώνες αυτές προσδίδουν αντοχή στο ελαστικό και αντίσταση στις τοπικές πιέσεις, παραμένοντας

εύκαμπτες. Στα ελαστικά των επιβατικών αυτοκινήτων υπάρχουν, συνήθως, δύο ή τρία στρώματα ενίσχυσης [15].

### 5.8 Πέλμα

Είναι ένα παχύ εξελασμένο κομμάτι που περιβάλλει το σκελετό του ελαστικού. Τα συστατικά του πέλματος περιλαμβάνουν τις πρόσθετες ουσίες που θα προσδώσουν αντοχή στη διάτρηση, την τριβή και τα στοιχεία περιβάλλοντος. Η διαμόρφωση του πέλματος είναι μια διαδικασία δύσκολη, δεδομένου ότι τα σκληρά υλικά έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, αλλά χαμηλή πρόσφυση στο δρόμο, ενώ τα μαλακά καλή πρόσφυση, αλλά μειωμένη διάρκεια ζωής [15].

### 5.9 Γόμα

Η γόμα είναι ένα εξελασμένο φύλλο υλικού, μεταξύ της ζώνης χάλυβα και του πέλματος, για να απομονώσει το πέλμα από τη μηχανική καταπόνηση, λόγω της πιθανής επαφής του με τις ζώνες χάλυβα [15].

### 5.10 Άλλα συστατικά και υλικά

Οι μέθοδοι κατασκευής των ελαστικών ποικίλλουν, τόσο στον αριθμό, όσο και στον τύπο συστατικών που χρησιμοποιούνται, καθώς και στη σύνθεση του κάθε συστατικού, σύμφωνα με τη χρήση και το όριο τιμής του ελαστικού. Οι κατασκευαστές καινοτομούν συνεχώς με νέα υλικά και μεθόδους κατασκευής, προκειμένου να επιτευχθεί η υψηλότερη απόδοση με το χαμηλότερο κόστος. Τέτοια υλικά είναι:

- Το φυσικό ελαστικό ή πολυισοπρένιο είναι το βασικό ελαστομερές που χρησιμοποιείται στα ελαστικά
- Πολυμερές στυρενίου–βουταδιενίου είναι ένα συνθετικό ελαστικό που αντικαθιστά συχνά εν μέρει το φυσικό ελαστικό



- Το πολυβουταδιένιο χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλα ελαστικά, λόγω της χαμηλής συγκέντρωσης θερμότητας
- Το “halobutyl” χρησιμοποιείται για το εσωτερικό πλαίσιο, λόγω της χαμηλής διαπερατότητάς του από τον αέρα. Τα άτομα του αλογόνου συμβάλλουν στη συμβατότητά του με το σκελετό που αποτελείται, κυρίως, από φυσικό ελαστικό. Το “bromobutyl” είναι ανώτερο από το “chlorobutyl”, αλλά ακριβότερο
- Σκόνη ανθρακίτη περιέχεται σε υψηλό ποσοστό στα ελαστικά τμήματα και αυξάνει την αντοχή τους και την αντίσταση στις εκδορές
- Το πυρίτιο που χρησιμοποιείται μαζί με σκόνη άνθρακα, στα ελαστικά υψηλής απόδοσης, για αύξηση της αντοχής στη φθορά, λόγω υψηλών θερμοκρασιών κατά τη χρήση τους
- Το θείο είναι βασικό στοιχείο του βουλκανισμού
- Οι επιταχυντές είναι πολύπλοκες οργανικές ενώσεις που επιταχύνουν τις αντιδράσεις πολυμερισμού
- Ενεργοποιητές, οι οποίοι βοηθούν τον πολυμερισμό. Ο κυριότερος ενεργοποιητής είναι το οξείδιο του ψευδαργύρου (ZnO)
- Αντιοξειδωτικά και αντιοζονικά, τα οποία αποτρέπουν τη δημιουργία ρωγμών, λόγω της επίδρασης του ηλιακού φωτός και του όζοντος [15].

### 5.11 Διαδικασία παραγωγής

Τα στάδια της παραγωγής είναι πέντε, στα οποία εκτελούνται διακεκριμένες διαδικασίες. Αυτά, συνήθως, υπάρχουν ως ανεξάρτητα τμήματα παραγωγής μέσα σε ένα εργοστάσιο. Οι μεγάλοι κατασκευαστές ελαστικών μπορούν να ιδρύσουν ανεξάρτητα εργοστάσια για κάθε τμήμα σε μια ενιαία περιοχή ή να τα τοποθετήσουν σε μια ευρύτερη περιοχή [15].

## 5.12 Σύνθεση και μείξη

Είναι η συγκέντρωση όλων των συστατικών, τα οποία απαιτούνται για να δημιουργηθεί μια παρτίδα ελαστικού μείγματος. Κάθε συστατικό έχει ένα διαφορετικό μείγμα στοιχείων, σύμφωνα με τις ιδιότητες που απαιτούνται. Η μείξη είναι η μηχανική διαδικασία που εκτελείται, προκειμένου τα συστατικά να ομογενοποιηθούν. Συχνά, οι αναμεικτères είναι εξοπλισμένοι με δύο αντίθετα περιστρεφόμενα στελέχη ανάμειξης (αναδευτήρες), μέσα σε ένα τεράστιο δοχείο και αναμειγνύουν τη μάζα του ελαστικού με τα πρόσθετα συστατικά. Η μείξη γίνεται σε τρία ή τέσσερα στάδια για να ενσωματωθούν πλήρως τα συστατικά.

Η διαδικασία παράγει θερμότητα, συνεπώς τα στελέχη μείξης και το δοχείο ψύχονται με νερό για να διατηρηθεί μια θερμοκρασία αρκετά χαμηλή, ώστε να μην αρχίσει ο πολυμερισμός. Μετά την ανάμειξη, το ελαστικό εγχύεται σε μια μήτρα ή τροφοδοτείται με κοχλία μεταφοράς σε ένα σύμπλεγμα κυλίνδρων ή μπορεί να εγχυθεί σε ανοικτό σύστημα κυλίνδρων. Ένας μύλος, ο οποίος αποτελείται από δίδυμους αντίθετα περιστρεφόμενους κυλίνδρους, δημιουργεί το ανάγλυφο της επιφάνειας του ελαστικού, παρέχοντας την πρόσθετη μηχανική κατεργασία στο ελαστικό, παράγοντας ένα παχύ ελαστικό φύλλο. Το φύλλο ελκύεται από τους κυλίνδρους υπό μορφή ταινίας. Η ταινία ψύχεται, τοποθετείται πάνω της τάλκης (talc) και τοποθετείται σε παλέτες. Η ιδανική ελαστική ένωση, σε αυτό το σημείο, θα ήταν ομογενής. Εντούτοις, στην πράξη διαπιστώνεται ιδιαίτερη ανομοιογένεια. Αυτή οφείλεται σε διάφορες αιτίες, συμπεριλαμβανομένων των θερμών και ψυχρών περιοχών στον κάδο και στα στελέχη ανάμειξης (αναδευτήρες), της υπερβολικής λείανσης των στελεχών ανάμειξης, της επένδυσης του αναδευτήρα και της ανομοιογενούς μεταφοράς μάζας στα διάφορα σημεία της ροής. Κατά συνέπεια, είναι δυνατό να υπάρξει ανομοιογένεια κατανομής της σκόνης άνθρακα, η οποία δεν αναμειγνύεται



καλά με το ελαστικό ή άλλα πρόσθετα συστατικά. Οι αναμεικτères ελέγχονται συχνά, ελέγχεται η ροή στη μηχανή αναμεικτέρων και η μείξη ολοκληρώνεται με την παροχή ενός συγκεκριμένου ποσού ενέργειας που προσφέρεται στην παρτίδα [15].

### **5.13 Προετοιμασία συστατικών**

Τα συστατικά διέρχονται από 3 στάδια, τους κυλίνδρους, την μηχανή διέλασης και τη μηχανή χαλύβδινου σύρματος. Η μηχανή διέλασης αποτελείται από έναν κοχλία και έναν αναμεικτέρα, θερμαντικά στοιχεία κινούμενα με κοχλίες και μια μήτρα. Η μηχανή διέλασης εφαρμόζει δύο παράγοντες στο μείγμα, τη θερμότητα και την πίεση. Ο κοχλίας κίνησης της διέλασης επιτρέπει την επιπρόσθετη μείξη των συστατικών του μείγματος. Το μείγμα ωθείται στη μήτρα (καλούπι) και, μετά, το διελασμένο προϊόν θερμαίνεται σε ένα φούρνο, ψύχεται για να ολοκληρωθεί η διαδικασία θείωσης και, είτε τυλίγεται επάνω σε ένα στροφέιο, είτε κόβεται σε διάφορα μήκη. Τα πέλματα των ελαστικών διελάζονται συχνά με τέσσερα διαφορετικά συστατικά σε μια μηχανή διέλασης "quadraplex", η οποία έχει τέσσερις μεταφορικούς κοχλίες που μεταφέρουν τέσσερα διαφορετικά συστατικά, συνήθως αυτά της βάσης, του πυρήνα, του πέλματος και των φτερών. Επίσης, η διέλαση χρησιμοποιείται για τα πλαϊνά του ελαστικού και για τον εσωτερικό σκελετό [15].

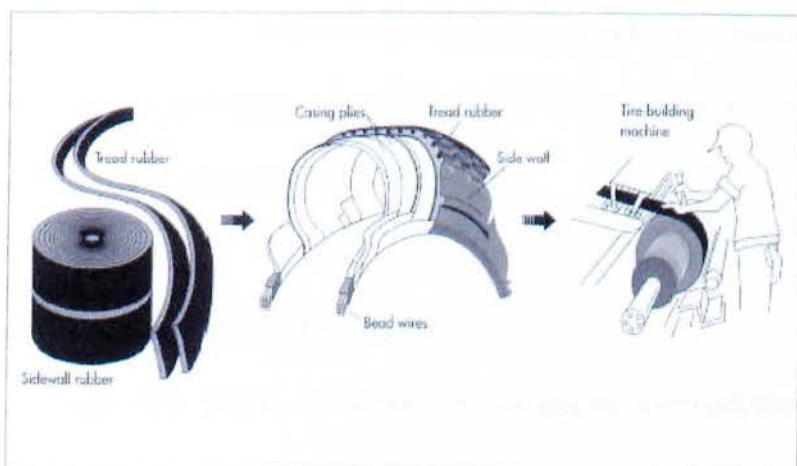
Ο κύλινδρος είναι ένα σύνολο τυμπάνων μεγάλης διαμέτρου, που συμπιέζουν το μείγμα του ελαστομερούς σε ένα λεπτό φύλλο, συνήθως 2 m πλάτους. Τα τύμπανα περιέλιξης του μείγματος ενώνουν δύο φύλλα ελαστικού με ένα ενδιάμεσο στρώμα του υλικού. Τα τύμπανα χάλυβα λειτουργούν ακριβώς έτσι και με τις ίνες χάλυβα. Τα τύμπανα χρησιμοποιούνται για να διαμορφώσουν τις πτυχές του σκελετού και τις στρώσεις των ενισχύσεων [15].

### **5.14 Κατασκευή του ελαστικού**

Είναι η διαδικασία, κατά την οποία όλα τα συστατικά τοποθετούνται επάνω σε ένα τύμπανο κατασκευής ελαστικού. Οι μηχανές κατασκευής των ελαστικών "TBM" μπορούν να είναι είτε χειροκίνητες ή πλήρως αυτοματοποιημένες. Οι διαδικασίες "TBM" περιλαμβάνουν το πρώτο στάδιο, όπου το εσωτερικό του ελαστικού, οι πτυχές και τα πλαϊνά τυλίγονται γύρω από το τύμπανο. Κατά το δεύτερο στάδιο, τοποθετούνται τα υλικά της ενίσχυσης και το πέλμα, οπότε η προκύπτουσα «πράσινη ρόδα» είναι διογκωμένη και διαμορφωμένη. Όλα τα επιμέρους αυτά υλικά απαιτούν συνένωση. Οι πτυχές του σκελετού και το εσωτερικό του ελαστικού συνδέονται με ένα τετραγωνισμένο μάτισμα. Το πέλμα και τα πλαϊνά ενώνονται με ένα μάτισμα που οι άκρες του κόβονται. Οι ζώνες συνδέονται δίπλα-δίπλα. Οι ενώσεις που είναι πάρα πολύ βαριές και μη συμμετρικές θα δημιουργήσουν ανεπάρκεια στη δυναμική καταπόνηση, στις τάσεις διόγκωσης και στην καλύτερη ισορροπία. Οι ενώσεις που είναι πάρα πολύ ελαφρές (ή ανοικτές) μπορούν να οδηγήσουν σε οπτικές ατέλειες και, σε μερικές περιπτώσεις, στην αστοχία της κατασκευής του ελαστικού. Το τελικό προϊόν της διαδικασίας "TBM" καλείται «πράσινη ρόδα». Η Pirelli ανέπτυξε μια πρόσθετη διαδικασία, αποκαλούμενη "MIRS", που χρησιμοποιεί robot για να περιστρέφει τα τύμπανα περιέλιξης μορφοποιώντας, με τον τρόπο αυτό, τα διαφορετικά συστατικά απευθείας μέσω των μεθόδων διέλασης και κοπής των λωρίδων. Αυτό επιτρέπει να κατασκευάζονται διαφορετικά μεγέθη ελαστικών με διαδοχικές διαδικασίες χωρίς την ανάγκη να αλλαχθεί η πορεία οργάνωσης ή ο εξοπλισμός. Αυτή η διαδικασία ταιριάζει στη μικρή παραγωγή, με συχνές αλλαγές στα μεγέθη των ελαστικών. Οι μεγαλύτεροι κατασκευαστές ελαστικών έχουν αναπτύξει αυτοματοποιημένες μηχανές παραγωγής σε μια προσπάθεια να δημιουργηθούν ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα ως προς την αξιοπιστία των



παραγομένων ελαστικών, την υψηλή παραγωγικότητα και το μειωμένο κόστος εργασίας [15].



Σχήμα 27. Πορεία κατασκευής του ελαστικού

### 5.15 Τελικό ψήσιμο

Είναι η διαδικασία εφαρμογής πίεσης στην «πράσινη ρόδα» σε ένα καλούπι, προκειμένου να ληφθεί η τελική μορφή της, με την ταυτόχρονη εφαρμογή θερμότητας για την έναρξη της χημικής αντίδρασης μεταξύ του ελαστομερούς και των άλλων υλικών. Στη διαδικασία αυτή, η «πράσινη ρόδα» μεταφέρεται αυτόματα στο καλούπι και μια ελαστική κύστη, που τοποθετείται εσωτερικά στην «πράσινη ρόδα», αρχίζει να διογκώνεται. Ο τύπος σφραγίζεται ερμητικά και η πίεση στην κύστη αυξάνεται, ώστε το πέλμα της «πράσινης ρόδας» να εφαρμόσει στα κοιλώματα του τύπου και να μορφοποιηθεί, με την ταυτόχρονη εγγραφή των χαρακτηριστικών του ελαστικού στα πλαϊνά του. Την κύστη γεμίζει ένα θερμαινόμενο ρευστό όπως ατμός, νερό, ή αδρανές αέριο. Οι θερμοκρασίες είναι της τάξεως των 350 °F (180 °C), με τις πιέσεις γύρω στα 350 psi (25 bar). Η διαδικασία ψησίματος διαρκεί περίπου 15 min. Στο τέλος του ψησίματος η πίεση εκτονώνεται, ο τύπος ανοίγεται και το ελαστικό ξεκαλουπώνεται. Το ελαστικό μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα "PCI", το οποίο θα κρατήσει το ελαστικό πλήρως διογκωμένο ενώ ψύχεται.

Υπάρχουν δύο τύποι μηχανών ψησίματος, ο μηχανικός και ο υδραυλικός. Οι μηχανικοί τύποι διατηρούν τη μορφή κλειστή μέσω συνδέσμων–τραβερσών, ενώ οι υδραυλικοί τύποι χρησιμοποιούν υδραυλικό λάδι ως πρωταρχικό μέσο για την κίνηση των μηχανισμών και το κλείδωμα του καλουπιού. Οι υδραυλικοί τύποι έχουν προκύψει ως οικονομικότεροι [15].

### **5.16 Στάδιο τελικού ελέγχου ποιότητας**

Αφού το ελαστικό έχει ψηθεί, ακολουθούν διάφορες επιπρόσθετες δοκιμές ποιοτικού ελέγχου. Η μέτρηση ομοιομορφίας των ελαστικών είναι μια δοκιμή, όπου το ελαστικό τοποθετείται αυτόματα σε διαιρούμενες ζάντες, διογκώνεται, εξομοιώνεται η κύλιση στο δρόμο και η ομοιομορφία μετράται για ένα εύρος δυνάμεων. Η μέτρηση ισορροπίας των ελαστικών είναι μια δοκιμή, όπου το ελαστικό τοποθετείται αυτόματα σε διαιρούμενους τροχούς, περιστρέφεται με υψηλή ταχύτητα και μετράται το εύρος της απόκλισης. Κάποιες κατηγορίες ελαστικών επιθεωρούνται με μηχανές ακτίνων Χ, οι οποίες διαπερνούν το ελαστικό και ελέγχουν τη δομή των ινών χάλυβα. Στο τελικό στάδιο, τα ελαστικά επιθεωρούνται οπτικά για να διαπιστωθούν τυχόν ατέλειες, όπως η ελλειπής μορφή, εκτεθειμένες ίνες και κύστες [15].



## Κεφάλαιο 6

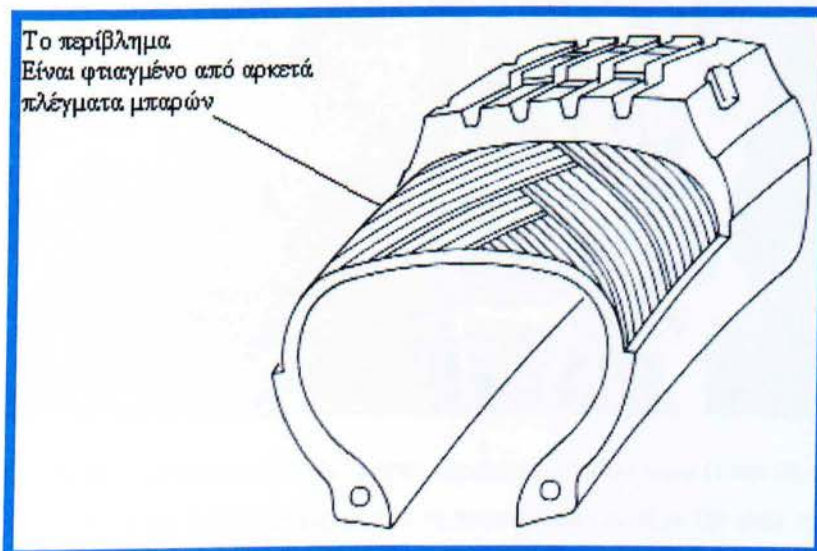
### Τύποι Ελαστικών

#### 6.1 Βασικοί τύποι ελαστικών

Υπάρχουν δύο βασικές τεχνολογίες κατασκευής ελαστικών. Πρόκειται για τα σταυρωτά ή διαγώνια (bias-ply) και τα ακτινωτά (radial) ελαστικά.

##### 6.1.1 Σταυρωτά ή διαγώνια ελαστικά

Τα διαγώνια (bias-ply, diagonal bias (D) ή cross plied) ελαστικά, ιστορικά πρωτοκατασκευάστηκαν από την εταιρεία Good Year, η οποία ανακάλυψε τη διαδικασία βουλκανισμού του ελαστομερούς (καουτσούκ). Αποτελούνται από υφασμάτινα κορδόνια (ίνες λινές, πολυαμιδικές ή, σε ορισμένες περιπτώσεις, από Kevlar®). Για την ενίσχυση των ελαστικών, η Good Year χρησιμοποίησε μια σειρά επιστρώσεων από υφασμάτινα πλέγματα («λινά»), ενσωματωμένων στο ελαστομερές. Κάθε στρώμα είναι τοποθετημένο διαγώνια στο ελαστικό, όπως παρατηρείται στο Σχήμα 28.



Σχήμα 28. Δομή «λινών» σταυρωτού (bias-belted) ελαστικού

Η γωνία τοποθέτησης των επιστρώσεων ως προς τα μεταλλικά καλώδια κυμαίνεται, ανάλογα με τον κατασκευαστή, από τις 30 έως τις 55 μοίρες. Οι μεταλλικές ίνες αποτελούν την καλύτερη διαθέσιμη επιλογή για πλέγματα και αποτελούνται από έναν πυρήνα χάλυβα με επικάλυψη Νylon. Η αντοχή τους αυξάνεται με την αύξηση της διαμέτρου, με ταυτόχρονη όμως ελάττωση της ευκαμψίας τους.

### 6.1.2 Ακτινωτά ελαστικά

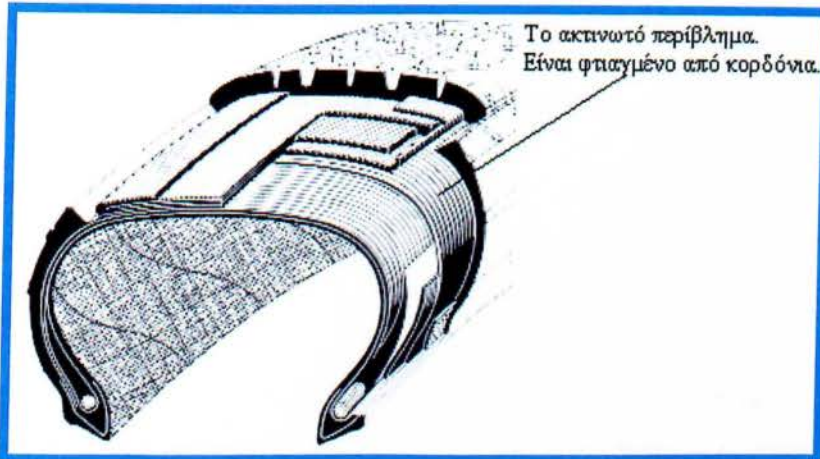
Ένας νεότερος τύπος ελαστικού είναι το radial (ακτινωτό). Ονομάζεται έτσι επειδή τα κορδόνια υφάσματος, από τα οποία αποτελείται, τοποθετούνται υπό γωνία 90 μοιρών ως προς το μεταλλικό καλώδιο (Σχήματα 29–31).



**Σχήμα 29.** Η ζώνη αποτελείται από διάφορες στρώσεις ειδικών ινών (1 και 2), τα λινά (7) απλώνονται ακτινωτά και δένονται γύρω από τη στεφάνη (3), η γόμα (5) είναι το υλικό που περιβάλλει το ελαστικό [17]



Το περίβλημά τους ενισχύεται με μια επίστρωση χαλύβδινου πλέγματος που «τρέχει» γύρω από την περιφέρειά του. Στα ελαστικά ακτινικής σχεδίασης, τα κορδόνια είναι κατασκευασμένα από Nylon, rayon (αναγεννημένη κυτταρίνη) ή πολυεστέρα.



Σχήμα 30. Δομή «λινών» ακτινωτού (radial) ελαστικού

Ο σκελετός ενός radial ελαστικού αποτελείται από μερικές στρώσεις λινών υφασμάτων (Σχήμα 30) που ακολουθούν τη διεύθυνση των (νοητών) ακτίνων του ελαστικού ή έχουν ελάχιστη απόκλιση από αυτές. Το ακτινωτό ελαστικό είναι πιο εύκαμπτο, με αποτέλεσμα τη μείωση της αντίστασης κύλισης και, επομένως, τη βελτίωση της οικονομίας καυσίμου.



Σχήμα 31. Ονοματολογία τμημάτων ενός ελαστικού

Τέλος, μια επένδυση ζωνών σιδήρου και χάλυβα προστέθηκε στο «στέμμα» του ελαστικού, κάτω από το πέλμα, για να προσδώσει μέγιστη σταθερότητα και αντοχή (Σχήμα 31).



## Κεφάλαιο 7

### Πληροφορίες για Ελαστικά Καθημερινής Χρήσης

#### 7.1 Γενικές πληροφορίες

Οι κατασκευαστές αναγράφουν στις πλευρές των ελαστικών μια σειρά από πληροφορίες. Την εταιρεία κατασκευής, φυσικά, τη χώρα προέλευσης, τον τύπο και τη διάσταση, το μέγεθος, την ημερομηνία κατασκευής και διάφορα άλλα στοιχεία και διακριτικά.

Σε κάθε ελαστικό αναφέρονται, με μεγάλους χαρακτήρες, οι διαστάσεις με ένα συγκεκριμένο τρόπο. Για παράδειγμα, P185/45 – R15 72H. Το γράμμα P (Passenger) υποδηλώνει τον τύπο του ελαστικού, δηλαδή ότι πρόκειται για ελαστικό επιβατικού αυτοκινήτου. Σε φορτηγά, αντί του γράμματος P υπάρχει το γράμμα T (Truck) ή LT (Light Truck). Ο πρώτος αριθμός (185) δηλώνει το πλάτος του πέλματος σε mm. Ο δεύτερος αριθμός (45) αναφέρεται στο ύψος του ελαστικού (το οποίο ονομάζεται «προφίλ»). Ο αριθμός του «προφίλ» δηλώνει το ύψος του ελαστικού ως εκατοστιαία αναλογία σε σχέση με το πλάτος του. Για παράδειγμα, αφού αναγράφεται 185/45, το ύψος του είναι το 45% των 185 mm, άρα 83,25 mm.

Το γράμμα R (Radial), που ακολουθεί, αποτελεί αναφορά στη δομή του ελαστικού, δηλαδή στον τρόπο κατασκευής του. Όπως προαναφέρθηκε, στα ελαστικά τύπου radial το κάθε στρώμα «λινών» τυλίγεται ακτινωτά γύρω από τους δακτυλίους των χαλύβδινων συρμάτων. Προαναφέρθηκε, επίσης, ότι υπάρχουν και ελαστικά διαγώνιου τύπου (bias-ply), όπου τα «λινά» είναι πλεγμένα υπό γωνία.

Ο τρίτος αριθμός (15) αναφέρεται στη διάμετρο του τροχού που μπορεί να φιλοξενήσει το συγκεκριμένο ελαστικό και μετράται σε in (ίντσες) (1 in είναι ίση

με 25,4 mm). Η μέτρηση γίνεται σε in και όχι σε mm για ιστορικούς, ίσως, λόγους και χάριν ευκολίας, χρησιμοποιώντας ακέραιους αριθμούς. Στο τέλος εμφανίζεται ένας τέταρτος αριθμός και ένα γράμμα που, στο παράδειγμα, είναι 72 H. Ο αριθμός δηλώνει το μέγιστο φορτίο (σε kg), το οποίο μπορεί να δεχθεί το ελαστικό και το γράμμα τη μέγιστη ταχύτητα ( $\text{km h}^{-1}$ ), στην οποία μπορεί το ελαστικό να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια.

Οι μέγιστες τιμές φορτίου και ταχύτητας δίνονται στον Πίνακα 4.

**Πίνακας 4.** Ανάλυση ορισμένων συμβόλων και αριθμών, αναγραφόμενων στα ελαστικά

Σύμβολο	Φορτίο (kg)	Σύμβολο	Μέγιστη ταχύτητα ( $\text{km h}^{-1}$ )
58	235	B	50
59	243	C	60
60	250	F	65
61	257	E	70
62	265	F	80
63	275	J	90
64	280	K	100
65	290	L	110
66	300	M	120
67	307	N	130
68	315	O	140
69	325	P	150
70	335	Q	160
71	345	R	170
72	355	S	180
73	365	T	190
74	375	U	200
75	387	H	210
76	400	V*	210+
77	412	V	240
78	425	W	270
79	437	Y	300
80	450		

Επιπρόσθετα, πάνω στην πλευρική επιφάνεια του ελαστικού εμφανίζεται η λέξη DOT. Το DOT δηλώνει ότι το ελαστικό έχει πάρει έγκριση κατασκευής για



χρήση σε δημόσιους δρόμους και πληρεί τις προδιαγραφές ασφαλείας που έχει θεσπίσει το υπουργείο μεταφορών των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (Department of Transportation, από όπου προέρχεται και το σύμβολο DOT). Η έγκριση αυτή είναι απαραίτητη δια νόμου μόνο στην αγορά των Ηνωμένων Πολιτειών, αν και τα πλείστα ελαστικά παγκοσμίως διαθέτουν τη συγκεκριμένη έγκριση. Τέλος, μετά την ένδειξη DOT υπάρχει ένας τετραψήφιος αριθμός. Για παράδειγμα, στον αριθμό 1704 τα δύο τελευταία ψηφία υποδεικνύουν το έτος κατασκευής (στο παράδειγμα, 04 για το 2004). Οι δύο πρώτοι αριθμοί δίνουν την εβδομάδα κατασκευής του ελαστικού (στο παράδειγμα, η 17<sup>η</sup> εβδομάδα του έτους, δηλαδή το μήνα Μάιο). Συνεπώς, αν αναγράφεται DOT 1704, το ελαστικό κατασκευάστηκε το Μάιο του 2004 και επιτρέπεται η χρήση του σε δημόσιο δρόμο.

Επίσης, αναγράφεται η λέξη rotation (περιστροφή) και σημειώνεται ένα βέλος, το οποίο δείχνει την κανονική φορά περιστροφής του ελαστικού, άρα και την ορθή φορά τοποθέτησης, η οποία είναι πάρα πολύ σημαντική!

Εάν το ελαστικό είναι σωστά αποθηκευμένο, υπό τις κατάλληλες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας, διατηρείται σε καλή κατάσταση έως και τέσσερα χρόνια μετά την ημερομηνία κατασκευής του [18,19].

## **7.2 Η πίεση των ελαστικών**

Γενικά, το σωστό είναι να χρησιμοποιείται η πίεση, η οποία υποδεικνύεται από τον κατασκευαστή, η οποία είναι μια μέση τιμή κατάλληλη για όλες, σχεδόν, τις πιθανές καταστάσεις που θα αντιμετωπίσει ένα όχημα.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι πιέσεις που συνιστούν οι κατασκευαστές ορίζονται για κρύα ελαστικά και αυτό διότι, ως γνωστό, η πίεση αυξάνεται με τη θερμότητα που αναπτύσσεται κατά τη χρήση του ελαστικού. Σε γενικές γραμμές, μεγάλη αύξηση της πίεσης του ελαστικού, σε σχέση πάντα με την

προτεινόμενη από τον κατασκευαστή, θα έχει ως αποτέλεσμα την επιδείνωση της συμπεριφοράς του οχήματος, καθώς μειώνεται η επιφάνεια επαφής του ελαστικού με το οδόστρωμα, ενώ δυσχεραίνεται η λειτουργία της ανάρτησης. Πιθανές περιπτώσεις, οι οποίες θα δικαιολογούσαν σχετικά μικρή αύξηση της πίεσης, είναι αυτή της υπερφόρτωσης (όπου σκοπός είναι να αποφευχθεί η υπερβολική παραμόρφωση του ελαστικού και, κατά συνέπεια, η φθορά του), αλλά και αυτή της βροχής και του βρεγμένου οδοστρώματος (όπου απαιτείται περιορισμένη επιφάνεια επαφής με το δρόμο για αποφυγή υδρολίσθησης).

Από την άλλη, μικρή ελάττωση της πίεσης βοηθάει το ελαστικό να φθάσει συντομότερα την κανονική θερμοκρασία λειτουργίας, λόγω της μεγαλύτερης επιφάνειας επαφής και, επομένως, αύξησης της τριβής με το οδόστρωμα, με άμεσο τίμημα, βέβαια, τη μεγαλύτερη φθορά του ελαστικού.

Φυσικά, το ζήτημα των πιέσεων των ελαστικών δεν είναι τόσο απλό, όσο παρουσιάζεται εδώ καθώς, διαφοροποιώντας την πίεση, επηρεάζονται τόσο η λειτουργία, όσο και η γεωμετρία της ανάρτησης, τμήμα της οποίας είναι και το ελαστικό. Πρέπει να τονισθεί ότι, ακόμη και μια μικρή αλλαγή στην πίεση των ελαστικών, προκαλεί αισθητή διαφορά στην οδική συμπεριφορά του.

Στα προηγηθέντα έγινε αναφορά στη θερμοκρασία λειτουργίας του ελαστικού. Για να αποδώσει το ελαστικό όπως πρέπει, απαιτείται αρχικά να ζεσταθεί φτάνοντας στην κατάλληλη θερμοκρασία. Αυτό γίνεται, τόσο μέσω της τριβής με το έδαφος, όσο και μέσω της διαρκούς παραμόρφωσης. Έτσι, η βέλτιστη θερμοκρασία χρήσης για τα ελαστικά δρόμου είναι 50 °C, αλλά μπορεί να προσεγγίσει και τους 80 °C. Υψηλότερες θερμοκρασίες από αυτές θα έχουν ως αποτέλεσμα την καταστροφή, δηλαδή το «κάψιμο» του ελαστικού.

Τέλος, είναι λογικό ότι τα ελαστικά θα πρέπει να αντικατασταθούν όταν η φθορά του πέλματος ξεπεράσει κάποιο όριο. Το όριο αυτό το υποδεικνύουν οι δείκτες φθοράς που υπάρχουν πάνω στο κάθε ελαστικό. Ακόμη όμως και αν



τα ελαστικά δεν έχουν υποστεί μεγάλη φθορά ή δεν έχουν διανύσει πολλά χιλιόμετρα, έχουν –εκ των πραγμάτων– συγκεκριμένο χρόνο ζωής, επειδή η γόμα τους χάνει τις ιδιότητές της με την πάροδο του χρόνου λόγω έκθεσής της στις ατμοσφαιρικές συνθήκες (προκαλείται οξείδωση του ελαστομερούς από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο, με αποτέλεσμα την «σκλήρυνσή» του [18], δηλαδή τη μείωση της ελαστικότητάς του και, επομένως, την ελάττωση της ικανότητας πρόσφυσής του). Ο χρόνος ζωής των ελαστικών υπολογίζεται από την ημέρα παραγωγής τους και, για προσεκτικά αποθηκευμένα ελαστικά, είναι δυνατό να φθάσει, όπως προαναφέρθηκε, έως τα τέσσερα χρόνια χωρίς να επιβαρυνθεί σημαντικά η ποιότητά τους. Από τη στιγμή, όμως, που θα χρησιμοποιηθούν για πρώτη φορά, η διάρκεια χρήσης τους δε θα πρέπει να υπερβεί τα δύο έτη, ανεξάρτητα από τα χιλιόμετρα που έχουν διανύσει [19].

## **Κεφάλαιο 8**

### **Συμπεράσματα**

Το μοναδικό σημείο επαφής ανάμεσα στο όχημα και το οδόστρωμα είναι το ελαστικό, από το οποίο απαιτείται η βέλτιστη αναλογία μεταξύ πρόσφυσης, ελαστικότητας, άνεσης, θορύβου, χιλιομετρικής απόδοσης και ενεργειακής αποτελεσματικότητας. Μπορεί το ελαστικό να φαίνεται ένα απλό, καθημερινό καταναλωτικό προϊόν, αλλά τόσο η κατασκευή, όσο και η δομή του κρύβουν μια πολυπλοκότητα (περισσότερα από 200 συστατικά μέρη συμμετέχουν στην κατασκευή ενός ελαστικού) που ενσωματώνει τεράστια ποσά επιστημονικής γνώσης και τεχνολογικής εξέλιξης.

Όπως αναπτύχθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, η Κλωστοϋφαντουργία παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην κατασκευή των ελαστικών και άλλων τμημάτων ενός αυτοκινήτου. Ένα ελαστικό οφείλει, κατά εβδομήντα πέντε τοις εκατό, την ανθεκτικότητά του στα υφάσματα που περιέχει. Όπως αναφέρθηκε, το αραμίδιο Kevlar® χρησιμοποιείται συχνά για την ενίσχυση των ακτινωτών ελαστικών, επειδή είναι ελαφρό και με αντοχή στον εφελκυσμό πέντε φορές υψηλότερη εκείνης του χάλυβα. Επίσης, άλλα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα χρησιμοποιούνται και στο εσωτερικό των οχημάτων σε αερόσακους, ζώνες ασφαλείας, επενδύσεις, παρεμβύσματα (φλάντζες) και ηθμούς (φίλτρα).



## **Κεφάλαιο 9**

### **Σύνοψη**

Από την εποχή του πρωτοπόρου R. W. Thomson μέχρι τη σημερινή έχουν υπάρξει σημαντικές αλλαγές στη δομή του ελαστικού. Με αφετηρία τα πρώτα ελαστικά, κατασκευασμένα με δεσμούς σιδήρου, η εξέλιξη φθάνει στα ειδικά ελαστικά της σύγχρονης εποχής, των οποίων η δομή συμπεριλαμβάνει λινά υφάσματα, κορδόνια, πολυαμίδιο, ζώνες χάλυβα και πολλά άλλα υλικά που παρουσιάστηκαν στην πτυχιακή αυτή εργασία.

Έγινε διεξοδική αναφορά στα πολυμερή υλικά και στα γενικά χαρακτηριστικά τους, με ιδιαίτερη έμφαση στο πολυαμίδιο και το λινό. Πολυαμιδικά και λινά υφάσματα είναι κλωστοϋφαντουργικά υλικά που χρησιμοποιούνται ευρέως για την κατασκευή των ελαστικών. Πραγματοποιήθηκε λεπτομερής ανάλυση της δομής, των μεθόδων κατασκευής και των χαρακτηριστικών του σύγχρονου ελαστικού. Τέλος, αναφέρθηκαν ορισμένες πληροφορίες για τους τύπους των ελαστικών καθημερινής χρήσης, τις προδιαγραφές τους και τη διάρκεια ζωής τους.

## Βιβλιογραφία

1. M. Schultz, "Popular Mechanics. Tires, a Century of Progress", Bill Congdon, U.S.A., 1985.
2. M. Bellis, "History of Tyres", 2006.
3. M. Okamoto, "Polymer/Layered Silicate Nanocomposites", 14, Rapra Technology Limited, U.K., 2003.
4. Ε. Γιώτη, "Βιοδιασπώμενα Πολυμερή. Εφαρμογές και Θερμομηχανικές Ιδιότητες", Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2009.
5. J. L. Throne, "Thermoforming: From Baby Rattles to Bed Springs and Beyond", *Proceedings of the Annual Technical Conference*, Society of Plastic Engineers, 2002.
6. Α. Αντωνιάδης, "Μηχανουργική Τεχνολογία", ΙΙ, ΟΕΔΒ, Αθήνα, 2002.
7. H. R. Allcock, και F. W. Lampe, "Contemporary Polymer Chemistry", 2<sup>nd</sup> Edition, Prentice Hall, U.K., 1990.
8. R. W. Ogden, "Non-Linear Elastic Deformations", New York, 1997.
9. Δ. Μ. Παπαδημητρίου, "Μικροδομή και Μηχανικές Εφαρμογές των Πλαστικών", Αθήνα, 2009.
10. W. D. Callister, Jr., "Επιστήμη και Τεχνολογία των Υλικών", 5<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2004.
11. Thermoforming User's Guide, "Introduction", [http://www.scudc.scu.edu/cm/odc/tf\\_doc/bm\\_intro.html](http://www.scudc.scu.edu/cm/odc/tf_doc/bm_intro.html)
12. L. Trossarelli, Dipartimento di Chimica IFM dell' Università di Torino, Torino, Italy.
13. DuPont, "Technical Guide, Kevlar Aramid Fiber", DuPont, Ed., U.S.A., 2000.
14. S. J. Jones, "What is Linen and How is it Produced?", 2009.
15. K. Nice, "Tyre Manufacture Process", 2006.
16. P. J. Mooney, "Understanding the Industrial Thermoforming Business", Plastics Custom Research Services, Advance, N.C., 2001.
17. Ν. Λουπάκης, "Δομή του Ελαστικού", 2007.

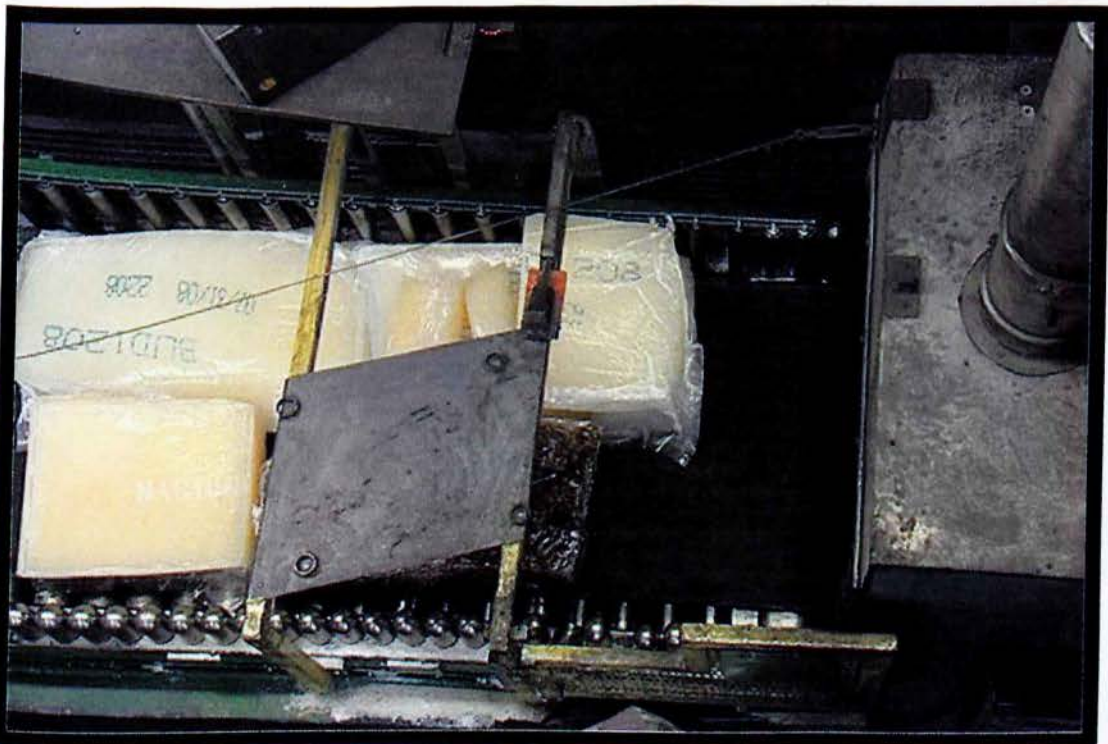


18. G. Gruenwald, "Thermoforming: A Plastics Processing Guide", Technomic Publishing Co., Lancaster, 1987.
19. M. L. Berins, "SPI Plastics Engineering Handbook", Kluwer Academic Publishers, Boston, 1991.

## Διαδικασία Παραγωγής Ελαστικού



Σύγχρονο ελαστικό σε λειτουργία



Προσθήκη υλικών



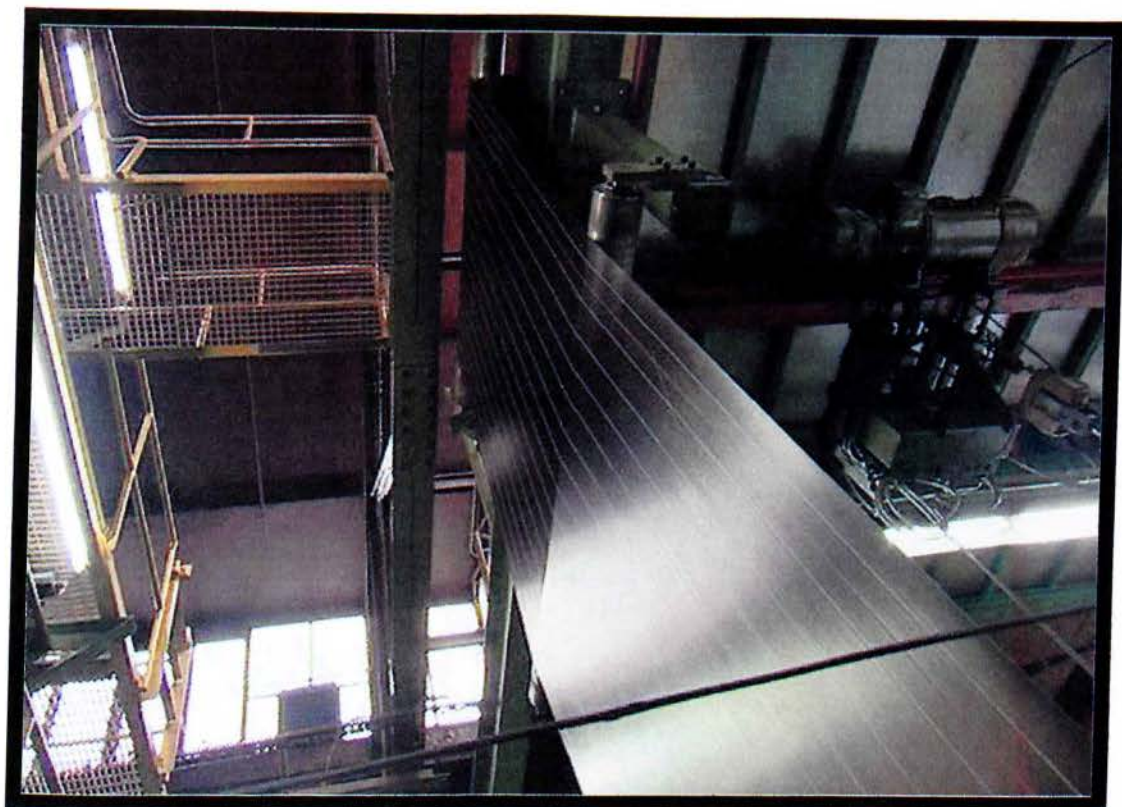


Μείξη υλικών

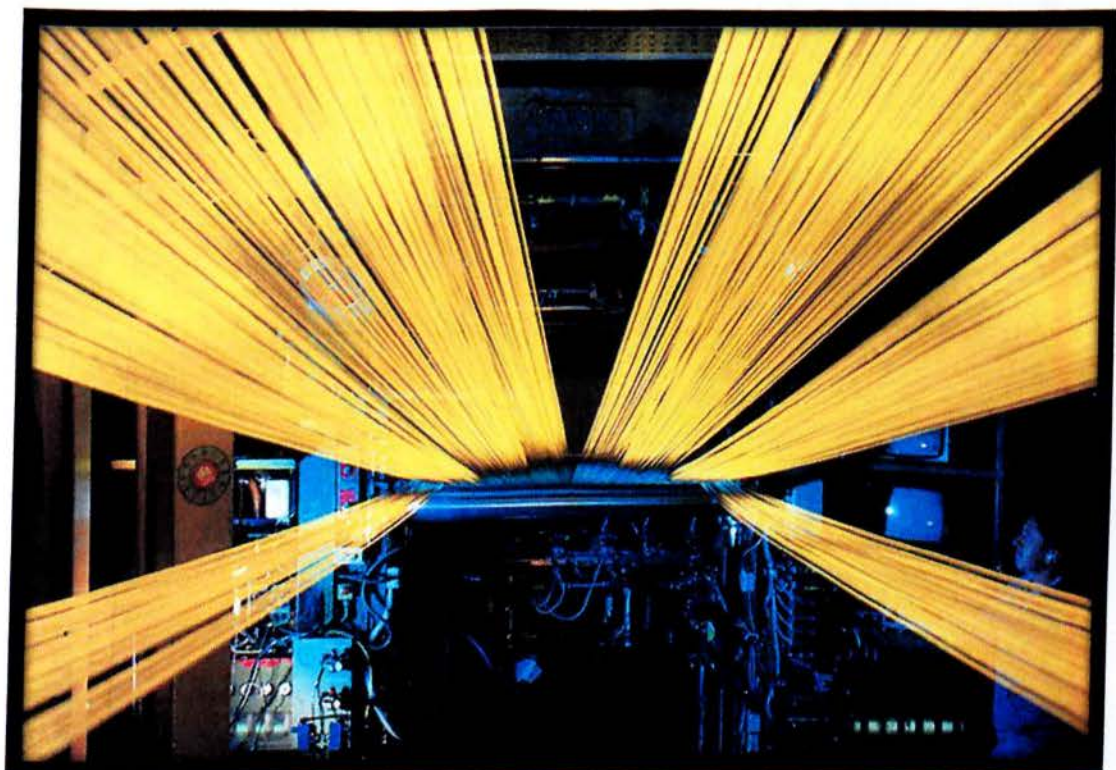


Παραγωγή πλεγμάτων και νημάτων



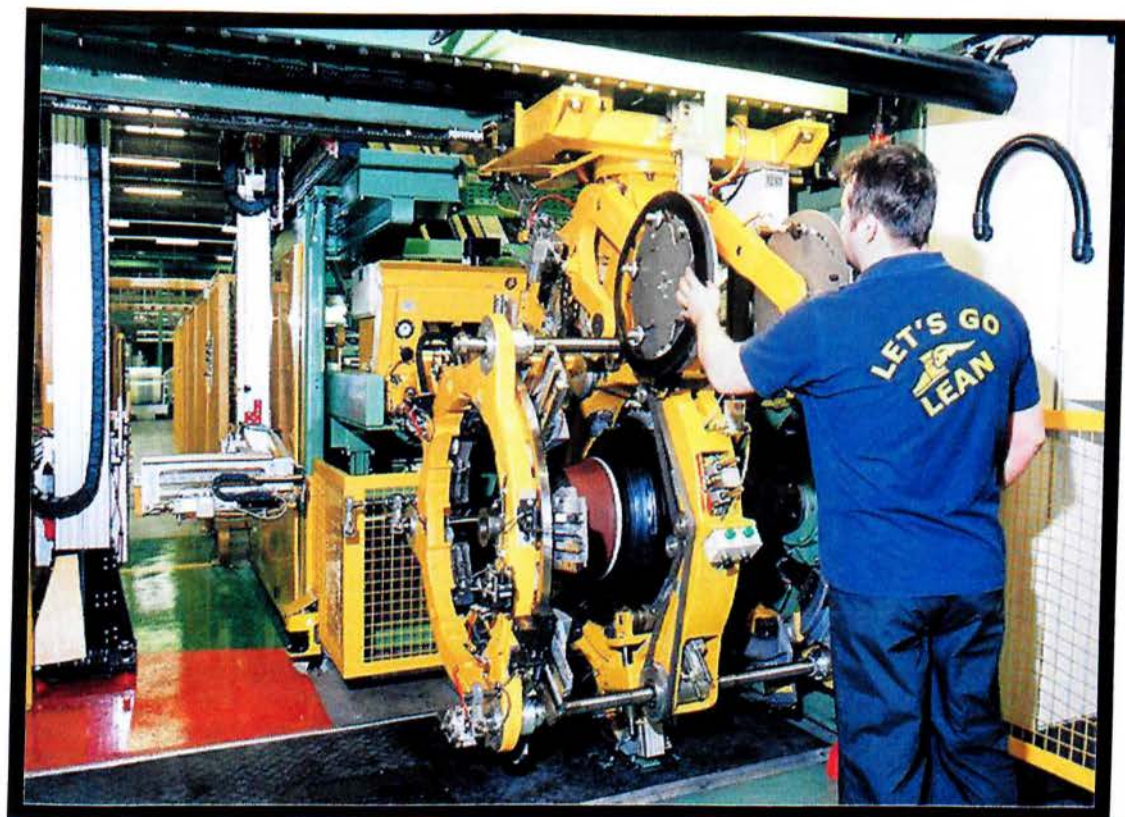


Σύνθεση νημάτων και ελαστικού

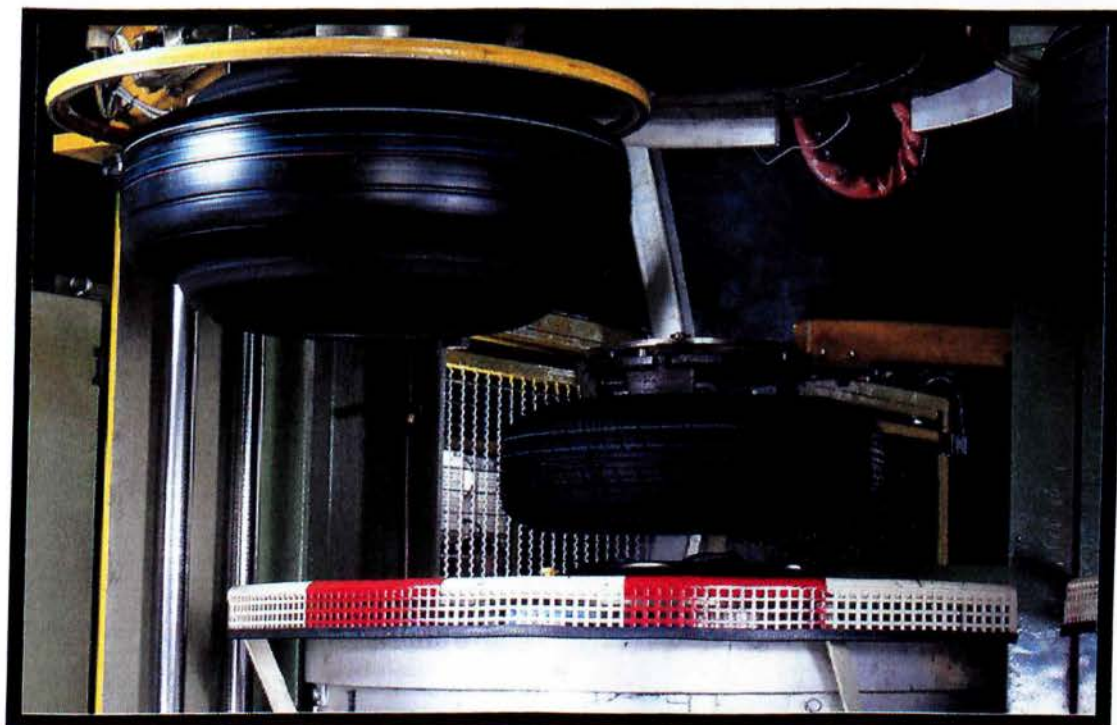


Προετοιμασία χαλύβδινων πλεγμάτων





Παραγωγή ελαστικού



Διαδικασία βουλκανισμού και ψήσιμο ελαστικού



Τελικό προϊόν



Εξέλιξη της παραγωγής ελαστικού