ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

5

Л

5

կ

հ

հ

Ь

Л

Г

J

կ

հ

5

Г

5

Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΓΩΝΙΣΤΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ»

«Master of Science in Design and Manufacturing of Sports Vehicle Systems"

«Περιγραφή και Μηχανικές ιδιότητες Ελαστικών Συμβατικών Οχημάτων: Ανάλυση των Δυνάμεων Πρόσφυσης επί του οδοστρώματος και συσχέτιση με τον Χειρισμό του Οχήματος κατά την Οδήγηση σε συνθήκες Φρεναρίσματος, Επιτάχυνσης και Στροφής»

"Description and Mechanical Properties of Road Car Tires: Grip Force Analysis at the Tire-Track interface and study of the effects on Car Handling during Braking, Acceleration and Cornering condition"

Διπλωματική Εργασία

που υποβλήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τ.Ε.Ι. Στερεάς Ελλάδας ως μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στη Σχεδίαση και Κατασκευή Συστημάτων Αγωνιστικών Οχημάτων από τον

Καραπαναγιώτη Χρήστο του Αθανασίου

Ιούνιος 2018

D

P

P

l

Р

P

P

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΓΩΝΙΣΤΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ»

«Master of Science in Design and Manufacturing of Sports Vehicle Systems »

«Περιγραφή και Μηχανικές ιδιότητες Ελαστικών Συμβατικών Οχημάτων: Ανάλυση των Δυνάμεων Πρόσφυσης επί του οδοστρώματος και συσχέτιση με τον Χειρισμό του Οχήματος κατά την Οδήγηση σε συνθήκες Φρεναρίσματος, Επιτάχυνσης και Στροφής»

Διπλωματική Εργασία

που υποβλήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τ.Ε.Ι. Στερεάς Ελλάδας

ως μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στη Σχεδίαση και Κατασκευή Συστημάτων Αγωνιστικών Οχημάτων από τον

Καραπαναγιώτη Χρήστο του Αθανασίου

Δήλωση Αυθεντικότητας, ζητήματα Copyright

«Ο μεταπτυχιακός φοιτητής που εκπόνησε την παρούσα διπλωματική εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στη βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (μη-εμπορικός, μη-κερδοσκοπικός, αλλά εκπαιδευτικός-ερευνητικός), της φύσης του υλικού που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες κ.λπ.), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή την γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου».

Ιούνιος 2018

Σελίδα Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

«Η παρούσα διπλωματική εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την τριμελή εξεταστική επιτροπή η οποία ορίστηκε από την Γ.Σ.Ε.Σ. του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τ.Ε.Ι. Στερεάς Ελλάδας, σύμφωνα με το νόμο και τον εγκεκριμένο Οδηγό Σπουδών του ΠΜΣ «Σχεδίαση και Κατασκευή Συστημάτων Αγωνιστικών Οχημάτων». Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

1 Δρ. Μηχ. Μαρκολέφας Στυλιανός (Επιβλέπων)

2 Δρ. Μηχ.Φατσής Αντώνιος (Μέλος)

3 Δρ. Μηχ. Κριμπένης Αγαθοκλής (Μέλος)

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τ.Ε.Ι. Στερεάς Ελλάδας, δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα.»

<u>Περίληψη</u>

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει αντικείμενο την περιγραφή και τις μηχανικές ιδιότητες Ελαστικών Συμβατικών Οχημάτων, την ανάλυση των δυνάμεων πρόσφυσης επί του οδοστρώματος και τη συσχέτιση τους με τον χειρισμό ενός οχήματος σε διάφορες συνθήκες οδήγησης.

Γενικότερος στόχος της εργασίας είναι μια προσέγγγιση στην τεχνολογία και την συμπεριφορά των ελαστικών των οχημάτων. Ωστόσο, οι ενώσεις καουτσούκ που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι αρκετά ανελαστικές και η προσπάθεια να περιγραφούν οι ελαστικές τους ιδιότητες με μεγάλη ακρίβεια είναι δύσκολο. Ειδικά όταν εξ αιτίας της πολυπλοκότητας τους πρέπει να γίνουν συμβιβασμοί για την ικανοποίηση μεγάλων αλλά συχνά αντικρουόμενων απαιτήσεων: ακαμψία, αντοχή, ανθεκτικότητα, καλή πρόσφυση, αντίσταση στη φθορά, σκληρότητα.

Γι αυτό το λόγο παρατείθονται υπολογιστικά μοντέλα βασισμένα σε πειραματικές μετρήσεις σαν ένας επαρκής τρόπος πρόβλεψης της συμπεριφοράς σε ευρύ φάσμα λειτουργίας από περιορισμένου φάσματος μετρήσεις.

Τα συμπεράσματα των μοντέλων αυτής της εργασίας ταιριάζουν με αυτά της βιβλιογραφίας από πειραματικές καταγραφές αλλά και με την εμπειρία της οδικής συμπεριφοράς του κάθε ενός μας. Ειδικά ακολουθούν:

Κεφάλαιο 1: Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια συλλογή πληροφοριών των ελαστικών. Ειδικότερα της δομής τους με επικέντρωση στα ακτινικά ελαστικά και εν συνεχεία την περιγραφή του τρόπου κατασκευής των λινών ύφανσης αλλά και των χαλύβδινων κορδονών του. Επί πλέον γίνεται αναφορά στο σχεδιασμό του πέλματος και των υλικών κατασκευής ενός ελαστικού. Τέλος αναλύεται η ονοματολογία της διαστασιολόγισης αλλά και κάποια από τα στανταρισμένα βιομηχανικά πρότυπα των ελαστικών.

Κεφάλαιο 2: Αποτυπώνονται οι μηχανικές ιδιότητες του ελαστικού. Μετά από μία γρήγορη επισκόπηση στις φυσικές ιδιότητες του καουτσούκ τις μεταφέρουμε στη μηχανική συμπεριφορά του ελαστικού σε συνδιασμό με τα ενισχυτικά κορδόνια που αποτελούν το σκελετό του. Τέτοιες είναι η ελαστική συμπεριφορά σε μικρές και μεγάλες παραμορφώσεις σε συνάρτηση με τις θερμοκρασίες για φυσικές αλλά και ενισχυμένες

ενώσεις ελαστικού. Τέλος η αντοχή θραύσης η μηχανική κόπωση αλλά και η γήρανση του υλικού έχουν το πεδίο αναφοράς τους σ αυτό το κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 3: Ορίζονται έννοιες όπως πρόσφυση, τριβή κυλισης, τριβή ολισθισης, η πλευρική και διαμήκης ολίσθηση του ελαστικού καθώς και οι συντελεστές πρόσφυσηςολίσθησης.

Αναφέρονται παραμορφώσεις σε όλο το σώμα του ελαστικού από την επίδραση πίεσης αέρα, φορτίου, ταχύτητας, ροπής. Περιγράφεται η απόδοση της κύριας καμπύλης τριβής σε λείες, ξηρές, υγρές και επιφάνειες πάγου.

Κεφάλαιο 4: Ορίζεται ένα σύστημα αναφοράς αξόνων κίνησης ενός ελαστικού, η στατική παραμόρφωση και η ακαμψία ενός ελαστικού. Τέλος γίνεται μια πρώτη περιγραφή της αποτύπωσης-μετακίνησης ενός ελαστικού στο δρόμο.

Κεφάλαιο 5: Επεκτείνουμε το σύστημα αξόνων με τον ορισμό των ροπών που δημιουργούνται στο ελαστικό. Προσδιορίζουμε τους όρους και τις παραμέτρους, γωνία κλίσης, γωνία ολίσθησης, ακτίνα στροφής, εκτροπή ελαστικού, ροπή ευθυγράμμισης και ροπή υπερστροφής.

Περιγραφή δυνάμεων και υπολογισμός τιμών, κατασκευή κ σύγκριση διαγραμμάτων διαμήκους, πλευρικής δύναμης και ροπών ευθυγράμμισης για ευθύγραμμες και καμπύλες κινήσεις σε ελεύθερη κύληση και συνδιασμένη με φρενάρισμα.

Κεφάλαιο 6: Αναφορά στις ιδιότητες που επηρεάζουν το χειρισμό και τη σταθερότητα του οχήματος. Γεωμετρία διεύθυνσης αυτ/του. Ακαμψία τροχού, μετατόπηση φορτίων, δυνάμεις στροφής ελαστικών. Υπερστροφή- υποστροφή.

<u>Abstract</u>

This diploma thesis addresses the description and mechanical properties of Tyre Conventional Vehicles, the analysis of the road surface traction forces and their correlation with the handling of a vehicle under different driving conditions.

A more general objective of this diploma thesis is an approach to the technology and the behavior of vehicle tyres. However, the rubber compounds currently used are quite inelastic and any effort to describe their elastic properties with great precision is difficult. Especially when due to their complexity, compromises must be made to meet large but often conflicting requirements: stiffness, tensile fatigue, durability, good traction, resistance to wear, hardness.

For this reason, computational models based on experimental measurements are provided as an adequate way of predicting behavior over a wide range of operation from a limited range of measurements.

The conclusions of the magic formula in this diploma thesis match those of the literature from experimental recordings as well as our experience of the tyre road behavior. The current dissertation consists of the following chapters:

Chapter 1: This chapter provides a collection of information on tyres and in particular their structure, concentrating on radial tyres and then describing the way of making the weaving cords steel or not . In addition, reference is made to the design of the tread and construction materials of a tyre. Finally, an analysis of dimensioning and some of the standardized industrial standards of tyres is essential.

Chapter 2: The mechanical properties of a tyre are presented. After a quick overview of the physical properties of rubber, there is an examination of the mechanical behavior of the tyre in combination with the reinforcing cords that make up the frame. Such is the elastic behavior in small and large deformations in relation to the temperatures for both natural and reinforced rubber compounds. Finally, breaking stress, mechanical fatigue and aging of the material fall under the scope of this chapter.

Chapter 3: Definitions are defined as traction, rolling friction, sliding friction, lateral and longitudinal sliding of the tyre, and traction-slip coefficients. There are deformations throughout the body of the tyre due to air pressure, load, speed and torque. The performance of the main friction curve on smooth, dry, wet and ice surfaces is also described.

Chapter 4: A drive axle reference system, static deformation and tyre stiffness are also defined. Moreover, a first description of the tread of a tyre on the road is made.

Chapter 5: On the orientation the axle system the generated moments on the tyre are defining. Determining the terms and parameters, inclination angle, slip angle, bend radius, tyre deflection, aligning moment and overturning moment is important at this point. There is a description of forces and calculation of construction of longitudinal slip ratio and aligning moment diagrams for straight and curved movements in freewheeling and combined with braking.

Chapter 6: Reference to the properties affecting the handling and stability of the vehicle. Geometry of this address. Wheel stiffness, load shifting, tire turning forces. Oversteering-Understeering.

Πρόλογος-Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. κ. Μαρκολέφα Στυλιανό για την εμπιστοσύνη του για την ανάθεση της διπλωματικής μου και για την πολύτιμη καθοδήγηση και βοήθειά του, καθόλη τη χρονική διάρκεια του μεταπτυχιακού. Μαζί μ αυτόν ευχαριστώ τους καθηγητές μου κ. Φατσή Αντώνιο και κ. Κριμπένη Αγαθοκλή που μέσω του μεταπτυχιακού με οδήγησαν να ανακαλύψω νέες γνώσεις και δεξιότητες. Τέλος, ευχαριστώ την γυναίκα μου που με στηρίζει στις επιλογές μου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ:

Κεφάλαιο 1- ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ	. 1
1.1. <u>ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ</u>	1
1.2. <u>Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ -ΤΥΠΟΙ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ</u>	1
1.3. ΔΟΜΗ RADIAL ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	3
1.3.1. ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΠΕΛΜΑΤΟΣ	8
1.4. <u>ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ</u>	10
1.4.1. ΕΞΕΛΙΞΗ ΥΦΑΝΣΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ	10
1.4.2. ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΥΦΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ	11
1.4.3. ΟΡΟΛΟΓΙΑ ΚΛΩΣΤΟΥΦΑΝΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ	12
1.4.4. ΥΛΙΚΑ ΥΦΑΝΣΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ	13
1.4.5. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΟΡΔΟΝΙΩΝ	16
1.4.6. <i>ХАЛҮВАІNO КОРАО</i> ЛІ	20
1.4.7. <i>ΥΛΙΚΑ ΕΝΟΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ</i>	23
1.5. <u>BIOMHXANIKA ПРОТУПА</u>	26
Κεφάλαιο 2- ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΚΑΟΥΤΣΟΥΚ	28
2.1. <u>ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΙΞΩΔΟΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ</u>	28
2.1.1. ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΕΣ ΚΑΙ ΥΑΛΩΔΕΙΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΟΥΤΣΟΥΚ	28
2.1.2. ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ	32
2.1.3. ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΜΕΓΑΛΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ	34
2.1.4. ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΚΑΟΥΤΣΟΥΚ (ΥΠΟ)
ΠΛΗΡΩΣΗ)	
2.1.5. <i>VISCO –ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ</i>	39
2.1.6. ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ	41
2.2. <u>ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ</u>	45
2.2.1. ΦΥΣΙΚΑ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΤΕΛΕΙΕΣ	45
2.2.2. Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΑΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ	46
2.2.3. ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΘΡΑΥΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΘΡΑΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΡΩΓΜΩΝ- ΣΧΙΣΙΜΑΤΟΣ	48
2.2.4. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΟΥΤΣΟΥΚ	49
2.2.5. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΡΩΓΜΩΝ-ΑΜΒΛΥΝΣΕΙΣ ΕΝΟΣ ΑΚΡΟΥ ΣΧΙΣΙΜΑΤΟΣ- ΜΗΣ	XANIKH
ΚΟΠΩΣΗ	51
2.2.6. ΑΠΟΤΥΧΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΙΚΟΥ ΔΕΣΜΟΥ	54
2.3. <u>ΓΗΡΑΝΣΗ ΤΟΥ ΚΑΟΥΤΣΟΥΚ</u>	55
2.4. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ - ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΟΡΔΟΝΙΩΝ, ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	57
2.4.1. ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΚΟΡΔΟΝΙΩΝ ΔΟΓΩ ΣΥΣΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥΣ	5

2.4.2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΚΟΡΔΟΝΙΩΝ59
2.4.3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΚΟΡΔΟΝΙΩΝ
Κεφαλαιο 3 -ΤΡΙΒΗ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΣΦΥΣΗ62
3.1. <u>ΤΡΙΒΗ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΣΦΥΣΗ</u> 62
3.1.1. <i>ТРІВН КҮЛІΣНΣ</i>
3.1.2. ΦΥΣΙΚΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΛΙΣΗΣ- ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ
3.1.3. <i>ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΤΕΦΑΝΗ ΠΕΛΜΑΤΟΣ</i>
3.1.4. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΠΛΕΥΡΙΚΟΥ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ
<i>ΣΤΕΦΑΝΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΤΗ ΖΑΝΤΑ</i>
3.1.5. <i>ΠΙΕΣΗ, ΦΟΡΤΙΟ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑ</i>
3.1.6. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΡΟΠΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ Η ΡΟΠΗ ΠΕΔΗΣΗΣ70
3.2. <u>ΤΡΙΒΗ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ</u> 72
3.2.1. ΚΥΡΙΑ ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΡΙΒΗΣ ΣΕ ΞΕΡΗ ΛΕΙΑ – ΞΕΡΗ ΤΡΑΧΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ
<i>ΛΙΠΑΡΗ ΤΡΑΧΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ</i> 72
3.2.2. <i>ΟΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΕΠΙ ΤΗΣ MUSTERCURVE</i>
3.2.3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΛΗΡΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΤΗΣMASTER CURVE
3.2.4. Η ΚΥΡΙΑ ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΡΙΒΗΣ ΓΙΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΡΙΒΗΣ ΣΕ ΥΓΡΗ
ΠΡΟΣΦΥΣΗ
3.2.5. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΓΡΟΥ ΣΕ ΤΡΙΒΗ ΚΑΟΥΤΣΟΥΚ
3.2.6. <i>ТРІВН ΣЕ ПАГО</i>
3.3. <u>ΟΛΙΣΘΗΣΗ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ</u> 86
3.3.1. ΔΙΑΜΗΚΗ ΟΛΙΣΘΗΣΗ ΦΡΕΝΑΡΙΣΜΑΤΟΣ /ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ
3.3.2. ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΟΛΙΣΘΗΣΗ
3.3.3 ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ & ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΠΛΕΥΡΙΚΗΣ
ΟΛΙΣΘΙΣΗΣ
3.3.4. ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΟΥ
$\Phi PENAPI\Sigma MATO\Sigma \dots89$
3.3.5 ΣΧΕΔΙΟ ΠΕΛΜΑΤΟΣ90
Κεφάλαιο 4 - ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ92
4.1. <u>ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΒΑΣΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ</u> 92
4.2. <u>TO $\Phi OPTIO / \Pi APAMOP \Phi \Omega \Sigma H KAI H AKAM YIA TOY EAASTIKOY92$</u>
4.3. <u>ΤΥΠΟΣ ΦΟΡΤΙΟΥ / ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ</u> 94
4.4. <u>ΕΠΑΦΗ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ (FOOTPRINT)</u> 95
4.4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ95
4.4.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΟΝΤΑΣ ΤΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΤΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ96
4.4.3. <i>ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ</i> 97

4.4.4. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	
4.4.5. ΦΥΣΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ	99
4.4.6. ΕΛΑΣΤΙΚΟ ΧΩΡΙΣ ΣΧΕΔΙΟ ΠΕΛΜΑΤΟΣ	100
4.4.7. <i>ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΝΑΝΤΙ ΚΥΛΙΣΗΣ</i>	
Κεφάλαιο 5- ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΡΟΠΕΣ	106
51 ΕΙΣΑΓΟΓΗ	106
5.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΥΝΔΜΈΟΝ ΚΑΙ ΡΟΠΟΝ ΕΔΔΣΤΙΚΟΥ ΣΕ ΕΝΔ ΣΧ	VTHMA
$3.2. \underline{1102210112W02211NAWE22WKATTO132WEAA211K012EEWA2}$	<u>106</u>
5.2.1. METADAUTES IL VEIDISMOL HOV OAUEOVNI STUNI ANADTYCH A	100
5.2.1. METABAHTEZ H XEIPIZMOT HOT OAHTOTN 21HN ANAIHTEH A	INAMESZN
ΚΑΙ ΡΟΠΩΝ ΤΩΝ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ	
5.3. <u>$\Gamma\Omega NIA OAI\Sigma\Theta H\Sigma H\Sigma$</u>	109
5.4. <u>$\Gamma\Omega NIA K\Lambda I\Sigma H\Sigma$</u>	111
5.5. <u>ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ MAGIC FORMULA</u>	113
5.6. <u>ΣΤΡΟΦΗ ΜΕ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΚΥΛΙΣΗ</u>	115
5.6.1. ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΜΟΝΟ ΜΕ ΓΩΝΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ	115
5.6.2. ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΜΟΝΟ ΜΕ ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ	
5.6.3. ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΕΣ ΓΩΝΙΕΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΣΗΣ	
5.6.4. ΕΛΞΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΑΠΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟ	
5.7. ΚΙΝΗΣΗ Η ΠΕΔΗΣΗ ΣΕ ΕΥΘΕΙΑ ΓΡΑΜΜΗ	125
5.7.1. ΡΟΠΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ	
5.8. ΣΥΝΑΥΑΣΜΕΝΗ ΟΛΗΓΗΣΗ ΣΕ ΣΤΡΟΦΕΣ	128
5.8.1 ΣΥΝΔΙΑΣΜΕΝΗ ΟΔΙΣΘΗΣΗ ΚΑΙ ΜΑGIC FORMULA	134
5.8.2 $\Pi APOAIKES E \Pi APASEIS (a > t)$	136
$S_{0}(\lambda) = 6 IAIOTHTES EAASTIKON HOV EIHDEAZOVN TO YEIDI$	
$\mathbf{x}_{\mathbf{x}} \mathbf{y}_{\mathbf{x}} \mathbf{u}_{\mathbf{x}} \mathbf{u}$	200 KAI 111
$6.1. \underline{I E \underline{S2MEIPIA \Delta IE \underline{Y} \underline{\Theta} \underline{Y} \underline{N} \underline{Z} \underline{H} \underline{Z}}$	
6.2. <u>ΥΠΟΣΤΡΟΦΗ ΚΑΙ ΥΠΕΡΣΤΡΟΦΗ</u>	141
6.3. <u>ANATPOПH</u>	147
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ , ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	149
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΑΠΟ ΔΙΑΔΥΚΤΙΟ SITE	154
ΑΝΑΦΟΡΕΣ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	154-157
ПАРАРТНМА	
ΓΕΝΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ & ΣΤΡΕΠΤΙΚΗ ΑΚΑΜΨΙΑ	158
ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗ	159
ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	160-161
ΡΟΠΗ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗΣ	162-163
ΣΥΝΘΕΤΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ	164-165
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΛΕΥΡΙΚΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ	166

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

No	Λεζάντα	Πηγή	Σελ.
Εικόνα 1.1	Τύποι ελαστικών	Ι	2
Εικόνα 1.2 α	Δομή ακτινικού ελαστικού	П	3
Εικόνα 1.2 β	Δομή ακτινικού ελαστικού, φάσεις κατασκευής	III	4
Εικόνα 1.2 γ	Δομή ακτινικού ελαστικού	IV	5
Εικόνα 1.2 δ	Δομή ακτινικού ελαστικού	[29]	6
Εικόνα 1.3: α) β) γ)	Δομή ενός ακτινικού ελαστικού	[10], V	7
Εικόνα 1.4	Περιγραφή πέλματος	[1]	8
Εικόνα 1.5	Παράδειγμα διάταξης πέλματος για αποφυγή θορύβου	VI	8
Εικόνα 1.6	Χαλύβδινα σύρματα και ακαμψία ελαστικού	[1]	9
Εικόνα 1.7	Αναδυπλώσεις στα πλαινά άκρα του ελαστικού	[26]	10
Εικόνα 1.8	Σχοινί που απεικονίζει την σύνθεση του κορδονιού - ίνες / νήμα / κορδόνι (σχοινί)	VII	12
Εικόνα 1.9	Παραγωγή κορδονιών	VIII	16
Εικόνα 1.10	Κλώση τήγματος	IX	17
Εικόνα 1.11	Υγρή κλώση	X	18
Εικόνα 1.12	Ξηρή κλωση	XI	18
Εικόνα 1.13	Παράδειγμα κατασκευής κορδονιού με περιστροφές "S" και "Ζ" συστροφές	[3]	19
Εικόνα 1.14	Ρολό ύφανσης κορδονιών	XII	20
Εικόνα. 1.15	Στοιχεία χαλύβδινου κορδονιού - ίνες / νήματα / κορδόνι / περιτύλιγμα	[3]	20
Εικόνα 1.16	Διατομές τυπικών χαλύβδινων ινών	[3]	22
Εικόνα 1.17	Υλικά κατασκευής κορδονιών	XIII	24
Εικόνα 1.18	Πλέγμα κορδονιών	XIII	24
Εικόνα 1.19	Παραγωγή πλεγμάτων και νημάτων	[40]	25
Εικόνα 1.20	Συνθεση νημάτων και ελαστικών	[40]	25

Εικόνα 1.21	Προετοιμασία χαλύβδινων πλεγμάτων	[40]	25
Εικόνα 1.22	Ονοματολογία μεγέθους	XIV	26
Εικόνα 2.1	Βουλκανισμός	XV	28
Εικόνα 2.2	Καμπύλη σκλήρηνσης για ένωση C στους 160 ° C	[9]	29
Εικόνα 2.3	Παραμόρφωση ελαστικών – μοριακες αλυσίδες	XV	30
Εικόνα 2.4	Ελαστικοί συντελεστές (moduli) για μικρά στελέχη	[9]	33
Εικόνα 2.5	Συμπίεση ενός συνδεδεμένου μπλοκ καουτσούκ	[10]	34
Εικόνα 2.6	Καλούπι ελαστικού	XVI	34
Εικόνα 2.7	Σχέσεις παραμορφώσεων λ και τάσειων t	[9]	35
Εικόνα 2.8	Σχέσεις μεταξύ ενέργειας παραμόρφωσης W και τάσεων t	[9]	35
Εικόνα 2.9	Πειραματική σχέση μεταξύ τάσης εφελκυσμού και επιμήκυνσης %	[9]	36
Εικόνα 2.10	Ταση σκλήρυνσης στέλεχος ενός μορίου καουτσούκ καθώς πλησιάζει την πλήρη επέκταση.	[10]	37
Εικόνα 2.11	Τάση-μαλάκυνση του γεμισμένου-σύνθετου καουτσούκ (Effect Mullins)	[10]	38
Εικόνα 2.12	Τάση -μαλάκωμα του γεμισμένου καουτσούκ σε μικρές πιέσεις (Effect Payne)	[9]	39
Εικόνα 2.13	Ταλαντευτική παραμόρφωση: δυναμικά αποτελέσματα	[10]	40
Εικόνα 2.14	Δυναμικές ιδιότητες έναντι συχνότητας και θερμοκρασίας	[10]	42
Εικόνα 2.15	Rate φ του Brownian , κίνηση των μοριακών τμημάτων κίνησης Εξάρτηση της τμηματικής κινητικότητας φ σε θερμοκρασία	[9],[10]	43
Εικόνα 2.16α	Μέτρο Ε έναντι συχνότητας ταλάντωσης f για ελαστομερές πολυουρεθάνης	[10]	44
Εικόνα 2.16b	Μοντέλο Ε έναντι μειωμένης συχνότητας f aT στους -42 ° C	[10]	44
Εικόνα 2.17	λογάριθμος (ζώνη κόπωσης Ν) έναντι λογαρίθμου (βάθος κοπής c)	[9]	45
Εικόνα 2.18	Σχέση μεταξύ δύναμης σχισίματος Ρ και ενέργειας θραύσης Gc	[9]	46
Εικόνα 2.19	δοκιμή της αντοχής σε εφελκυσμό	[9]	47

Εικόνα 2.20	δοκιμή της αντοχής σε εφελκυσμό	[9]	47
Εικόνα 2.21a ,b	Αντοχή σε εφελκυσμό έναντι ρυθμού επέκτασης / μειωμένου ρυθμού επέκτασης σε -10 ° C	[9]	48
Εικόνα 2.21c	Επιμήκυνση κατά τη διάσπαση συναρτήση μειωμένου ρυθμού επέκτασης σε -10 °C	[9]	48
Εικόνα 2.22	Ενεργειακή θραύση (δύναμη σχισίματος) σε σχέση με την ταχύτητα και τη θερμοκρασία για το βουλκανισμένο HS-SBR (Tg = - 30 ° C)	[9]	49
Εικόνα 2.23	χρήση της αρχής WLF για την κατασκευή μιας "κύριας καμπύλης" ισχύος σχισίματος έναντι αναλογίας σχισίματος	[9]	49
Εικόνα 2.24	Συσχέτιση μεταξύ ενέργειας θραύσης Ub και εκλυμένης ενέργειας Ud	[9]	50
Εικόνα 2.25	Πολλαπλά σχισίματα στην άκρη μιας κοπής σε μία άκρη ενός δοκιμαστικού υλικού εφελκυσμού: σχίσιμο "Knotty"	[9]	51
Εικόνα 2.26	Σχίσιμο υπό επαναλαμβανόμενες καταπονήσεις (θραύση κόπωσης)	[10]	52
Εικόνα 2.27	Κρυσταλλοποίηση που προκαλείται από παραμόρφωση σε μια ρωγμή	[9]	53
Εικόνα 2.28	Επίδραση μη χαλαρωτικής παραμόρφωσης στην εφελκυστική κόπωση στη διάρκεια ζωής Ν μη γεμισμένου NR	[10]	53
Εικόνα 2.29	Η διάρκεια ζωής κόπωσης Ν για κυλίνδρους NR εναλλασόμενης μεταξύ ελάχιστης παραμόρφωσης εmin και μέγιστης παραμόρφωσης εmin + Δε	[10]	54
Εικόνα 2.30	Δοκιμή αποφλοιώσεως 180°	[9]	54
Εικόνα 2.31	δυνάμεις έλξης στη διεπαφή κορδονιού - καουτσούκ	[9]	55
Εικόνα 3.1	τροχός σε τριβή κύλισης	[11]	62
Εικόνα 3.2	συμμετοχή των τμημάτων του ελαστικού στην απώλεια ενέργειας στην αντίσταση κύλισης	[27]	64
Εικόνα 3.3	(α) Διαμήκης και(Β) εγκάρσια κάμψη του ελαστικού στην επιφάνεια επαφής.	[12]	64
Εικόνα 3.4	Διαμήκης κάμψη της στεφάνης: (α) συνολικές παραμορφώσεις του ελαστικού, (β) παραμορφώσεις σε διαφορετικές περιφερειακές θέσεις στην περιοχή της στεφάνης.	[12]	64
Εικόνα 3.5	Κίνηση μπλοκ πέλματος διαμέσου του επιθέματος επαφής για ελαστικό ελεύθερης έλασης χωρίς γωνία ολίσθησης.	[12]	66

Εικόνα 3.6	Επίδραση του φορτίου στην αντίσταση κύλισης για τα ελαστικά επιβατικών αυτοκινήτων. Η αντίσταση κύλισης απεικονίζεται ως ποσοστό αυτού που μετράται στο 80% της μέγιστης χωρητικότητας φορτίου του ελαστικού	[14]	68
Εικόνα 3.7	Επίδραση πίεσης των ελαστικών στην αντίσταση κύλισης για α) ελαστικά επιβατικών αυτοκινήτων και β) ελαστικά φορτηγών. Η αντίσταση κύλισης απεικονίζεται ως ποσοστό αυτού που μετράται στην κατάσταση ονομαστικής πίεσης.	[14]	69
Εικόνα 3.8	Επίδραση της ταχύτητας στην αντίσταση κύλισης. Η αντίσταση κύλισης απεικονίζεται ως ποσοστό αυτού που μετράται στα 80 km/ h.	[14]	70
Εικόνα 3.9	Αντίσταση σε κύλιση σε συνάρτηση με τη διαμήκη δύναμη (ροπή οδήγησης / πέδησης) για διάφορα κατακόρυφα φορτία.	[12]	71
Εικόνα 3.10	Εξάρτηση του συντελεστή τριβής στην πίεση επαφής.	[13]	72
Εικόνα 3.11	Ατελής επαφή σε τραχιά επιφάνεια.	[12]	72
Εικόνα 3.12	Πειραματικά δεδομένα τριβής (αριστερά) ως συνάρτηση της ταχύτητας log σε διαφορετικές θερμοκρασίες και master curve (δεξιά) μιας ένωσης καουτσούκ με ABR σε επιφάνεια κίνησης για ένα καθαρό και στεγνό καρβίδιο πυριτίου 180 σε θερμοκρασία δωματίου.	[15]	73
Εικόνα 3.13	Master καμπύλη του συντελεστή τριβής μιας ένωσης ABR σε σχετικά ομαλή καθαρή στεγνή επιφάνεια γυαλιού, σε θερμοκρασία δωματίου.	[15]	73
Εικόνα 3.14	Τριβή ολίσθησης ομαλή ξηρή επιφάνεια	[13]	74
Εικόνα 3.15	Τριβή ολίσθησης ομαλή ξηρή / λιπαρή επιφάνεια	[13]	74
Εικόνα 3.16	Τριβή ολίσθησης ομαλή ξηρή επιφάνεια	[13]	75
Εικόνα 3.17	Η θέση των διαφορετικών ελαστικών καουτσούκ στον άξονα aTv (αριστερά) αναφέρεται στους 20 ° C και (δεξιά) στις τυπικές θερμοκρασίες αναφοράς τους.	[15]	75
Εικόνα 3.18	Σύγκριση των κύριων καμπυλών μιας ένωσης ABR (πάνω A) με μίας ένωσης butyl (κάτω B) σε καθαρό καρβίδιο του πυριτίου 180	[15]	76
Εικόνα 3.19	Μάστερ καμπύλες σε i) λείο, κυματιστό γυαλί, ii) σε ένα κομμάτι καρβιδίου του πυριτίου σκονισμένου με οξείδιο μαγνησίου και iii) σε μια καθαρή τροχιά καρβιδίου του πυριτίου, τριών ενώσεων του ABR: σ) μη συμπληρωμένων, β) γεμισμένων με 20 pphr αιθάλη και γ) 50 pphr αντιστοίχως	[15]	77
Εικόνα 3.20	master curve τριβής μιας ένωσης ελαστικού ABR σε μια υγρή επιφάνεια Alumina 180: (α) βρεγμένης με αποσταγμένο νερό και (β) με 5 % απορρυπαντικό προστιθέμενο στο νερό	[26]	78

Εικόνα 3.21	Σημάδια παρεμβολής και τα αντίστοιχα διαγράμματα περιγράμματος για την επαφή μιας σφαίρας από καουτσούκ και μιας γυάλινης πλάκας όταν (αριστερά) βρέθηκε με αποσταγμένο νερό και (δεξιά) με προστιθέμενο απορρυπαντικό. Το αποσταγμένο νερό συλλέγεται σε σφαιρίδια που αφήνουν σχεδόν ξηρές περιοχές ενώ ένα λεπτό συνεχές φιλμ σχηματίζεται όταν προστίθεται απορρυπαντικό	[15]	78
Εικόνα 3.22	Κύριες καμπύλες τριβής ABR καουτσούκ σε (α) ξηρό γυάλινο, (β) στεγνό καθαρό πυριτίου καρβίδιο 180, (γ) ξηρό καρβίδιο του πυριτίου με σκόνη οξειδίου του μαγνησίου (δ) αλουμίνας 180 βρεγμένο με αποσταγμένο νερό και (ε) βρεγμένο με νερό + 5% απορρυπαντικού.	[15]	79
Εικόνα 3.23	Τριβή σε υγρό οδόστρωμα	XVII	79
Εικόνα 3.24	Μετρηση του πάχος της μεμβράνης και η παραμόρφωση της, από μια σφαίρα καουτσούκ που ολισθαίνει σε διαφορετικές ταχύτητες πάνω σε μια γυάλινη λιπαινόμενη πλάκα. Το γράφημα στα κάτω αριστερά δείχνει την κεντρική γραμμή του περιγράμματος της σφαίρας (τεταγμένη) κατά το κέντρο του μήκους επαφής (τετμημένη)	[15]	80
Εικόνα 3.25	Πάχος φιλμ νερού στην περιοχή επαφής ενός λείου ελαστικού που ολισθαίνει πάνω από μια σκληρή επιφάνεια ν = 68 χλμ/ώρα πίεση ελαστικού = 1,3 bar	[15]	81
Εικόνα 3.26	συντελεστές πέδησης με μπλοκαρισμένους τροχούς ενός ελαστικού με μαλακό πέλμα σε υγρό γυαλισμένο σκυρόδεμα ως συνάρτηση της τετραγωνικής ρίζας της ταχύτητας. (175 R 14, φορτίο 350 kg, πίεση αέρα 1,9 bar)	[15]	82
Εικόνα 3.27	Σκαρίφημα μιας σφήνας νερού, που σχηματίζεται στο εμπρός μέρος της περιοχής επαφής του κινούμενου ελαστικού σε ένα βρεγμένο δρόμο με ένα φιλμ νερού αυξανόμενου πάχους πάνω από τα εξογκώματα του δρόμου.	[15]	82
Εικόνα 3.28	Συντελεστές ολίσθησης φρεναρίσματος σε βρεγμένο σκυρόδεμα ως συνάρτηση της ταχύτητας του οχήματος (αριστερά) και της τετραγωνικής ρίζας της ταχύτητας του οχήματος (δεξιά)	[15]	84
Εικόνα 3.29	Ιδιότητες τριβής σε πάγο, όταν μικρές ποσότητες των διαφορετικών αλάτων προστέθηκαν στο νερό πριν από το πάγωμα	[15]	84
Εικόνα 3.30	Συντελεστής τριβής μιας ένωσης NR ως συνάρτηση της θερμοκρασίας πάγου σε τρεις διαφορετικές ταχύτητες	[15]	85
Εικόνα 3.31	Συντελεστής τριβής τεσσάρων διαφορετικών ενώσεων που έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες μετάπτωσης υάλου, ως	[15]	85

	συνάρτηση της θερμοκρασίας διαδρομής του πάγου με σταθερή ταχύτητα ολίσθησης 5mm/ s		
Εικόνα 3.32	Συντελεστές τριβής των τεσσάρων κενών ενώσεις τηςεικόνας 3.32 απεικονίζεται γραφικά σε σχέση με log αΤν	[28]	86
Εικόνα 3.33	Παράδειγμα διαμήκους ολίσθησης	XVIII	86
Εικόνα 3.34	Υπολογιζόμενοι συντελεστές πλευρικής δύναμης και δύναμης φρεναρίσματος σε συνάρτηση της γωνίας ολίσθησης.	XX	87
εικόνα 3.35	Πλευρική δύναμη ως συνάρτηση φορτίου με σταθερή γωνία ολίσθησης 13 ° και ταχύτητα 0,06 km / h σε επιφάνεια υγρής, αλουμίνας 180για τέσσερις ενώσεις πέλματος με βάση τέσσερα διαφορετικά πολυμερή, όλα γεμάτα με πληρωτικά συστατικά. Οι πλήρεις γραμμές προσδιορίστηκαν με το μοντέλο brush.	[15]	88
Εικόνα 3.36	Συντελεστής πλευρικής δύναμης μίας σύνθεσης πέλματος 3,4 ΙR ως συνάρτηση του log (ταχύτητα) σε διαφορετικές θερμοκρασίες νερού σε επιφάνεια υγρής αλουμίνας 180.	[15]	88
Εικόνα 3.37	Δεδομένα της εικόνας 38 που απεικονίζονται ως συνάρτηση του log aTv με την τυπική θερμοκρασία αναφοράς που λαμβάνεται ως Ts = Tg + 50 °C. Επίσης εμφανίζεται η κύρια καμπύλη τριβής για την ίδια ένωση στην ίδια επιφάνεια.	[15]	89
Εικόνα 3.38	Συντελεστές μέγιστης πέδησης και ολίσθησης ως συνάρτηση της (αρχικής ταχύτητα) ^{1/2} κατά την έναρξη της πέδησης σε βρεγμένο λείο σκυρόδεμα. (175 R 14, φορτίο 350 kg, πίεση ελαστικού 1,9 bar)	[15]	89
εικόνα 3.39	Τιμές του συντελεστή ολίσθησης πέδησης ως συνάρτηση της (ταχύτητας) ^{1/2} για ακτινωτά ελαστικά σε υγρό σκυρόδεμα, συγκρίνοντας δύο βασικά μοτίβα μαλακού ελαστικού. (175 R 14, φορτίο 350 kg, πίεση αέρα ελαστικού 1,9 bar)	[15]	90
Εικόνα 4.1	Καμπύλες φορτίου-εκτροπής / πιέσεις λειτουργίας	[26]	93
Εικόνα 4.2	Συσχέτιση εφαπτομενικής ακαμψίας	[17]	94
Εικόνα 4.3	Συσχέτιση φορτίου / παραμόρφωσης	[17]	94
Εικόνα 4.4	Αναλογία παραμόρφωσης με πλάτος (σειρά 75) - φορτίο 240 kPa	[17]	95
Εικόνα 4.5	Αποτύπωμα ελαστικού και σύστημα αξόνων	[18]	96
Εικόνα 4.6	Μετατοπίσεις της επιφάνειας του πέλματος σε σχέση με το δρόμο	[18]	97
Εικόνα 4.7	Ελαστικό σε θετική γωνία ολίσθησης	[18]	98

Εικόνα 4.8	Επίδραση των θερμικών ιδιοτήτων του οδοστρώματος στην υπολογισμένη αύξηση της θερμοκρασίας στην επαφή του ελαστικού	[13]	99
Εικόνα 4.9	Παλμογράφιμα ένος μονού σημείου του ελαστικού	[18]	100
Εικόνα 4.10	Τυπικές ισομετρικές πλευρικές, διαμήκεις και κανονικές τάσεις για ένα ελαστικό επιβατικών που κυλά σε μηδενική ολίσθηση και γωνία κλίσης	[13]	101
Εικόνα 4.11	Κανονική ισομετρική τάση για ένα ακτινικό ελαστικό που κυλά σε γωνίες ολίσθησης και κλίσης μηδέν	[18]	102
Εικόνα 4.12	Ισομετρικές πλευρικές καταπονήσεις ενός φορτωμένου ακτινικού επιβατικού ελαστικού και σε αργή κύλιση	[18]	102
Εικόνα 4.13	Ισομετρικές διαμήκεις τάσεις αποτυπώματος φορτωμένου ακτινικού ελαστικού επιβατικού σε αργή κύλιση	[18]	103
Εικόνα 4.14	Σχηματική συσχέτιση πλευρικής τάσης αντιπροσωπευτική της αλλαγής από τη στατική φόρτιση σε ευθεία ελεύθερη κύλιση με γαμηλή ταγύτητα	[18]	103
Εικόνα 4.15	Επίδραση της γωνίας ολίσθησης στο πεδίο τάσης ενός ομαλού ελαστικού	[13]	104
Εικόνα 4.16	Πλευρικές τάσεις και ολίσθηση ολίσθησης για ελαστικό σε στροφή για πλευρική τάση	[18]	104
Εικόνα 4.17	Επίδραση της γωνίας κλίσης στο πεδίο τάσης ενός ελαστικού	[13]	105
Εικόνα 4.18	Διαμήκεις διατμητικές τάσεις για ένα ομαλό ελαστικό πέλμα κατά τη διάρκεια φρεναρίσματος	[18]	105
Εικόνα 5.1	Σύστημα αξόνων ενός ελαστικού.	[23]	106
Εικόνα 5.2	Σειρά κεντρικής γραμμής πέλματος ελαστικού με γωνία κλίσης σε επαφή με το δρόμο.	[20]	109
Εικόνα 5.3	Ροπή ευθυγράμμισης – εκτροπή ελαστικού	[27]	110
Εικόνα 5.4	Ροπή υπερστροφής – εκτροπή ελαστικού	XIX	110
Εικόνα 5.5	Φωτογραφία γυάλινης πλάκας του αποτυπώματος ελαστικού στην α) ευθεία – β) θετική γωνία ολίσθησης	[20]	111
Εικόνα 5.6	Γωνία κλίσης	[23]	111
Εικόνα 5.7	Κορδόνι-σειρά ελαστικού σε γωνία κλίσης κατά την επαφή με το δρόμο	[20]	112
Εικόνα 5.8	Αποτύπωμα πέλματος ελαστικού σε θετική γωνία κλίσης	[20]	112
Еік. 5.9	Καμπύλες που παράγονται από την αρχική έκδοση της Magic Formula.	[21]	114
Εικόνα 5.10	Στρεπτική ακαμψία ως συνάρτηση του φορτίου	[27]	116
Εικόνα 5.11	Ακτίνα τροχού υπό φορτίο συναρτήσει γωνίας ολίσθησης και φορτίου για ένα ελαστικό με λόγο διαστάσεων 75	[20]	116
Εικόνα 5.12	Πλευρική δύναμη ως συνάρτηση της γωνίας ολίσθησης	[31]	117
Εικόνα 5.13	Ροπή ''ευθυγράμμισης'' σε μία μόνο κανονική δύναμη ως συνάρτηση της γωνίας ολίσθησης	[20]	118

Εικόνα 5.14	Ροπή ''υπερστροφής'' συναρτήσει γωνίας ολίσθησης και φορτίου για ένα ελαστικό με λόγο διαστάσεων 75	[20]	118
Εικόνα 5.15	Πλευρική δύναμη σε μία μόνο κανονική δύναμη ως συνάρτηση της γωνίας κλίσης	[20]	119
Εικόνα 5.16	Ακτίνα τροχού υπό φορτίο μίας μόνο κανονικής δύναμης ως συνάρτηση της γωνίας κλίσης	[20]	120
Εικόνα 5.17	Ροπή '' υπερστροφής'' σε μια ενιαία κανονική δύναμη ως συνάρτηση της γωνίας κλίσης	[20]	120
Εικόνα 5.18	Ροπή ''ευθυγράμμισης'' μιας ενιαίας κανονικής δύναμης ως συνάρτηση της γωνίας κλίσης	[20]	120
Εικόνα 5.19	Επίδραση της γωνίας κλίσης στην πλευρική δύναμη ως συνάρτηση της γωνίας ολίσθησης	[20]	121
Εικόνα 5.20	Επίδραση της γωνίας κλίσης στη ροπή ''υπερστροφής'' ως συνάρτηση της γωνίας ολίσθησης	[20]	122
Εικόνα 5.21	Επίδραση της γωνίας κλίσης στην ροπή ''ευθυγράμμισης '' της ως συνάρτηση της γωνίας ολίσθησης	[28]	122
Εικόνα 5.22	Επίδραση της γωνίας κλίσης στην φόρτιση της ακτίνας κύλισης συναρτήσει της γωνίας ολίσθησης	[20]	123
Εικόνα 5.23	Μικρή πλευρική δύναμη γωνίας ολίσθησης και ροπή ''ευθυγράμμισης'' που ασκείται στον εμπρόσθιο άξονα ενός αυτοκινήτου.	[20]	123
Εικόνα 5.24	Σχηματική κατανομή της κωνικότητας και της διαστρωμάτωσης	[20]	124
Εικόνα 5.25	Παραμόρφωση της ζώνης πέλματος στο λυγισμό	[20]	124
Εικόνα 5.26	Σχέδιο Plysteer	[20]	125
Εικόνα 5.27	Σύγκριση των διαμηκών δυνάμεων κίνησης και πέδησης	[28]	126
Εικόνα 5.28	Απόκριση διαμήκους δύναμης κατά την εφαρμογή και κατά την απελευθέρωση της ροπής πέδησης.	[28]	127
Εικόνα 5.29	Κύκλος ολίσθησης	[23], [36]	128
Εικόνα 5.30	Πλευρική δύναμη σε γωνία ολίσθησης 4 ° και της διαμήκους δύναμης κίνηση ως συνάρτηση του λόγου ολίσθησης	[20]	129
Εικόνα 5.31	Συμπεριφορά-απόδοση των καμπυλών Fy (Fz) σε ψηλές αναλογίες ολίσθησης	[23]	130
Εικόνα 5.32	Πλευρική δύναμη σε γωνία ολίσθησης 4 °°/ ή γωνίας κλίσης τροχού ως συνάρτηση της διαμήκους δύναμης	[27]	130

Εικόνα 5.33	Διαμήκης δύναμη ως συνάρτηση του λόγου ολίσθησης φρεναρίσματος σε σταθερές γωνίες ολίσθησης	[20]	131
Εικόνα 5.34 α	Πλευρική δύναμη ως συνάρτηση της γωνίας ολίσθησης και της διαμήκους δύναμης	[23]	131
Εικόνα 5.34β	κύκλος kann	[30]	132
Εικόνα 5.35	Πλευρική δύναμη συναρτήσει διαμήκους δύναμης σε επίπεδο ολίσθησης, (s)	[20]	133
Εικόνα 5.36	Δύναμη τριβής, F, έναντι μεγέθους ολίσθησης, s, για ελαστικό P205 / 60HR13 σε γωνία κλίσης 3 °	[20]	133
Εικόνα 5.37α	Ροπή ευθυγράμμισης ως συνάρτηση της γωνίας ολίσθησης και της διαμήκους δύναμης	[20]	133
Εικόνα 5.37β	Επιδραση της διαμήκους δύναμης (παραλλαγή 2φορτίων) στην δύναμη και στην ροπή επαναφοράς -ευθυγράμμισης	[26]	134
Εικόνα 5.38	Ροπή ευθυγράμμισης ως συνάρτηση του λόγου ολίσθησης	[20]	134
Εικόνα 5.39	Λειτουργία συνάρτησης βάρους για τις συνδυασμένες διαμήκεις και πλευρικές δυνάμεις ολίσθησης	[37]	135
Εικόνα 5.40	Επίδραση της ταχύτητας δοκιμής στην πλευρική δύναμη και στη ροπή ευθυγράμμιση λόγω γωνίας ολίσθησης	[20]	137
Εικόνα 5.41	Συντελεστές πέδησης σε οκτώ υφές οδοστρώματος για τρεις ενώσεις καουτσούκ ως συνάρτηση της ταχύτητας ολίσθησης	[20]	137
Εικόνα 5.42	Αναμενόμενη στρέβλωση πλευρικής ή διαμήκους δύναμης σε σχέση με την ταχύτητα	[20]	137
Εικόνα 5.43	Μείωση του συντελεστή δυσκαμψίας σε στροφές, σε διάφορες γωνίες ολίσθησης και αποστάσεις κύλισης	[20]	138
Εικόνα 6.1	Γεωμετρία διεύθυνσης αμαξώματος	[25]	139
Εικόνα 6.2	Παράλληλη γεωμετρία διεύθυνσης	[25]	140
Εικόνα 6.3	Γεωμετρία διεύθυνσης Ackermann	[25]	140
Εικόνα 6.4	Αντιπροσωπευτική τάση στρέψης ελαστικών συναρτήση γωνίας ολίσθησης	[25]	141
Εικόνα 6.5	Διακύμανση των γωνιών ολίσθησης των ελαστικών (από αριστερά προς τα δεξιά και από εμπρός προς τα πίσω) για ένα όχημα με ταχύτητα	[25]	142
Εικόνα 6.6	Μοντέλο ποδηλάτου	[26]	143
Εικόνα 6.7	Σχέση μεταξύ γωνίας οδήγησης και ταχύτητας οχήματος	[26], [23]	145
Εικόνα 6.8	Σχέση μεταξύ γωνίας οδήγησης και πλευρικής επιτάχυνσης	[23]	145

No	Λεζάντα	Πηγή	Σελ.
1.1	Εξέλιξη της ύφανσης ελαστικού	[3]	11
2.1	Μερικά αντιπροσωπευτικά μείγματα ελαστικών (οι ποσότητες δίνονται σε μέρη βάρους ανά 100 μέρη ελαστομερούς).	[9]	29
2.2	Θερμοκρασίες γυαλιού Tg (°C) για μερικά κοινά ελαστομερή.	[9]	32
2.3	Σχέση μεταξύ διεθνών βαθμών σκληρότητας καουτσούκ (IRHD) και μέτρου ελαστικότητας (Young)	[9]	33
2.4	Τυπικές ιδιότητες ινών των κυρίων υφάνσεων σε ελαστικά	[3]	57
2.5	Φυσικές ιδιότητες των κορδονιών εμπορικών ελαστικών 0,2 έως 0,3 tpi.	[3]	58
2.6	Σχετική απόδοση των υλικών λινών ελαστικού		58
2.7	Τυπικές αντοχές εφελκυσμού των χαλύβδινων κορδονιών	[3]	60
2.8	Κατασκευαστικές και φυσικές ιδιότητες των χαλύβδινων κορδονιών ακτινικών ελαστικών	[3]	61
4.1	Συντελεστής αναλογίας α'	[17]	93

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

1.ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ

1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ

Ελαστικά ... στρογγυλά, μαύρα και ακριβά ! Αυτή είναι η άποψη των περισσότερων καταναλωτών, οι οποίοι θεωρούν ότι είναι ένα προϊόν χαμηλής τεχνολογίας και γι αυτό η αγορά τους βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά στην τιμή. Εάν όμως είχαν τη δυνατότητα να ενημερωθούν, θα εκπλήσσονταν με το γεγονός ότι ένα απλό ακτινικό ελαστικό επιβατικού αυτοκινήτου υπάρχουν τουλάχιστον 20 εξαρτήματα, με 15 και πλέον ενώσεις καουτσούκ, συνδυασμένες κατάλληλα για να δώσουν το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Έτσι, τα ελαστικά είναι κατασκευασμένα απο σύνθετα δομικά υλικά υψηλής αντοχής, ώστε ο σχεδιασμός τους να ικανοποιεί τα κριτήρια οδήγησης και χειρισμού των κατασκευαστών οχημάτων, αλλά και τις προσδοκίες ποιότητας και απόδοσης του πελάτη. Για την επιβεβαίωση αυτών των προδιαγραφών, τα ελαστικά ενός μεσαιου αυτοκινήτου κυλούν περίπου 500 στροφές ανά χιλιόμετρο. Ως εκ τούτου, σε 80.000 χιλιόμετρα (ένας κύκλος δοκιμών), κάθε εξάρτημα του ελαστικού δοκιμάζεται στις απαιτήσεις αντοχής, για πάνω από 40 εκατομμύρια κύκλους φόρτωσης-εκφόρτωσης.

Τα πνευματικά ελαστικά ξεκίνησαν στη Μεγάλη Βρετανία κατά τα τέλη του 1800 ως εξέλιξη των ελαστικών από στερεό καουτσούκ. Είχαν μικρές διατομές και υψηλές πιέσεις, κυρίως για ποδηλάτα. Τα μεγαλύτερα (μπαλονοειδή) ελαστικά εμφανίστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του '20 στη βιομηχανία αυτοκινήτων. Τα δε ελαστικά χωρίς αεροθάλαμο εισήχθησαν στις αρχές της δεκαετίας του 1950. Τα ελαστικά με λοξή επιστρωση 'Belted bias tires'' εμφανίστηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1960. Τα δε ακτινικά ελαστικά ''Radial'', εμφανίστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1970 και τώρα κυριαρχούν στην αγορά ελαστικών επιβατικών.[1]

1.2 Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ -ΤΥΠΟΙ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ

Το ελαστικό είναι αρκετά πιο πολύπλοκο απ' ότι φαίνεται με την πρώτη ματιά. Βασικό στοιχείο κάθε ελαστικού είναι ο σκελετός του που αποτελείται από ίνες τυλιγμένες στις άκρες του, γύρω από δύο δακτύλιους (στεφάνες) οι οποίοι εφαρμόζουν στα χείλη της ζάντας. Στα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των ινών αυτών ,περιλαμβάνονται το βαμβάκι, το ατσάλι, το νάιλον και άλλα συνθετικά υλικά.

Από τον τρόπο με τον οποίο οι ίνες του σκελετού είναι διατεταγμένες στο χώρο, διακρίνουμε τις παρακάτω κατηγορίες ελαστικών:

A) Diagonal bias tires - (Διαγώνιας κλίσης ελαστικά)

Χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα σε ορισμένες εφαρμογές για φορτηγά, ρυμουλκούμενα και αγροτικά εργαλεία. Τα ελαστικά με λοξά πλέγματα έχουν ένα σώμα από στρώσεις νημάτων, που τοποθετούνται σε γωνίες μικρότερες από 90 ° προς την κεντρική γραμμή όσον αφορά το μήκος του ελαστικού. (εικόνα 1.1).

Πλεονεκτήματα: Απλή κατασκευή και ευκολία κατασκευής

Μειονεκτήματα: Καθώς το ελαστικό παραμορφώνεται και λυγίζει, δημιουργείται διάτμηση μεταξύ των στρώσεων των λινών και παράγεται θερμότητα. Η κίνηση του πέλματος έχει επίσης ως αποτέλεσμα ανομοιόμορφα χαρακτηριστικά φθοράς.

B) Belted bias tires- (Διαγώνιας επίστρωσης ελαστικά με ενισχυμένες ζώνες σταθεροποίησης)

Τα παραπάνω ελαστικά, όπως υποδηλώνει το όνομα, είναι ελαστικά με ενισχυμένες ζώνες σταθεροποίησης οι οποίες προστίθονται κάτω από την περιοχή του πέλματος. Οι ζώνες περιορίζουν την παραμόρφωση του σκελετού του ελαστικού σε οριζόντιες κατευθύνσεις, ενισχύοντας και σταθεροποιώντας την περιοχή του πέλματος (εικόνα 1.1).

Πλεονεκτήματα: λιγότερη φθορά και βελτιομένος χειρισμός λόγω της αυξημένης ακαμψίας στην περιοχή πέλματος.

Μειονεκτήματα: Διατμητικές δυνάμεις του σώματος των λινών κατά την παραμόρφωση του ελαστικού στην επαφή με το έδαφος δημιουργούν θερμότητα. Υψηλότερο κόστος κατασκευής.

Γ) Radial tires- (Ακτινιτά ελαστικά)

Τα ακτινιτά ελαστικά έχουν σώμα στρώσεων με ίνες (λινά) που τοποθετούνται ακτινικά από άκρη σε άκρη, σε 90 ° προς την κεντρική γραμμή όσον αφορά το μήκος του ελαστικού. Με άλλα λόγια ο σκελετός ενός ράντιαλ ελαστικού αποτελείται από μερικές στρώσεις «λινών», που ακολουθούν τη διεύθυνση των (νοητών) ακτινών του ελαστικού ή έχουν ελάχιστη απόκλιση από αυτές. Επίσης, δύο ή περισσότερες ενισχυτικές ζώνες τοποθετούνται διαγώνια στην περιοχή πέλματος, για να προσθέσουν δύναμη και σταθερότητα. Παραλλαγές αυτής της κατασκευής ελαστικών χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα αυτοκίνητα (εικόνα 1.1).

Πλεονεκτήματα: Το σώμα των ακτινικών ινών εκτρέπεται ευκολότερα υπό φορτίο, δημιουργώντας έτσι λιγότερη θερμότητα, μειώνοντας την αντίσταση κύλισης και βελτιώνοντας την απόδοση σε μεγάλη ταχύτητα. Η αυξημένη ακαμψία στη ζώνη του πέλματος , περιορίζει τη φθορά και βελτιώνει το χειρισμό σε σχέση με τους προηγούμενους τύπους ελαστικών.

Μειονεκτήματα: Η πολύπλοκη κατασκευή αυξάνει τα υλικά και το κόστος κατασκευής.



Εικόνα 1.1: Τύποι ελαστικών

<u>1.3 ΔΟΜΗ RADIAL ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ</u>

Η δομή ενός Radial ελαστικού αποτελείται από :

A) Τη ζώνη, που αποτελείται από διαφορετικές στρώσεις (1&2) διαφόρων ινών. Βρίσκεται στην περιφέρεια του ελαστικού, σφίγγει κατά κάποιον τρόπο το ελαστικό (η ονομασία της έχει άμεση σχέση με την μορφή της) και είναι υπεύθυνη για την παραλληλόγραμμη μορφή της τομής του ελαστικού, που σε αντίθετη περίπτωση θα είχε κυκλική μορφή (σαν φουσκωμένη ομπρέλα) έχοντας ως αποτέλεσμα τη μείωση της επιφάνειας του ελαστικού που έρχεται σε επαφή με τον δρόμο.

Τα δύο βασικά πλεονεκτήματα των ακτινών ελαστικών, δηλαδή οι μειωμένες φθορές και η μικρότερη αντίσταση στην κύλιση, οφείλονται και τα δύο στην ύπαρξη της ζώνης.

Αν σε αυτά προσθέσουμε το μεγαλύτερο φορτίο που μπορούν να δεχθούν, την καλύτερη μεταφορά των δυνάμεων (κατά το διαμήκη και εγκάρσιο άξονα) και την πιο γρήγορη ανταπόκριση στις εντολές του οδηγού (στο στρίψιμο δηλαδή του τιμονιού), γίνεται κατανοητό γιατί επικράτησαν στην αγορά.

Β) Τα λινά απλώνονται ακτινωτά και δένονται γύρω γύρω από τη στεφάνη.

Γ) Η γόμα είναι το μαύρο υλικό που εμείς βλέπουμε κοιτώντας το ελαστικό και περιβάλλει τον σκελετό στηριζόμενη σ' αυτόν. Πρόκειται για διαφορετικές συνθέσεις με καουτσούκ, δηλαδή προσμίξεις ανάλογες με τις απαιτήσεις που έχουμε από το ελαστικό, αφού οι προσμίξεις επηρεάζουν τη συμπεριφορά της γόμας και κατ' επέκταση τη συμπεριφορά του ελαστικού.

Δ) Το πέλμα, είναι ένα σημαντικό ζωτικό στοιχείο, επειδή είναι το τμήμα του ελαστικού που έρχεται σε επαφή με το οδόστρωμα και από αυτό εξαρτάται, σε πολύ μεγάλο βαθμό, το κατά πόσον το ελαστικό διατηρεί την επαφή του με το δρόμο. Καλύτερη πρόσφυση επιτυγχάνεται όταν το πέλμα είναι τελείως επίπεδο και όσο το δυνατό φαρδύτερο. Αυτό όμως συμβαίνει μόνο στους αγώνες ταχύτητας και μόνο όταν δε βρέχει, γιατί ένα εντελώς λείο πέλμα εξασφαλίζει πολύ καλή πρόσφυση στο στεγνό, αλλά πολύ κακή στο βρεγμένο οδόστρωμα. Έτσι το πέλμα ενός σύγχρονου ελαστικού διαθέτει χαραγμένα αυλάκια που καταλαμβάνουν ένα ποσοστό της επιφάνειας του από 25% έως 40%.

Εικόνα 1.2 α) Δομή ακτινικού ελαστικού



Ειδικότερα ένα ακτινικό ελαστικό περιγράφεται ως εξής:

Η εσωτερική επένδυση Innerliner: είναι μια λεπτή, ειδικά διαμορφωμένη ένωση τοποθετημένη στην εσωτερική επιφάνεια των ελαστικών για βελτίωση της κατακράτησης του αέρα, μειώνοντας τη διάχυση του αέρα προς τα έξω μέσω του ελαστικού.

Body ply skim: είναι η επίστρωση από καουτσούκ που γεμίζει τα ενισχυτικά φύλλα κορδονιών. Η επίστρωση (skim) είναι η επικάλυψη στις στρώσεις των κορδόνιών-ινες, σε λεπτά φύλλα και συνδεδεμένη από άκρη σε άκρη σε ένα κύλινδρο.





Body plies – Το (Σώμα στρώσεων): αποτελείται από κορδόνια-ίνες και κρούστα από καουτσούκ. Περιτυλίγονται γύρω από τη δέσμη συρμάτων της στεφάνης, περνούν ακτινικά κατά μήκος του ελαστικού και περιτυλίγονται γύρω από τη δέσμη στεφάνης στην αντίθετη πλευρά του ελαστικού. Παρέχουν τη δύναμη να συγκρατούν την πίεση του αέρα και την αντοχή στην κρούση του πλευρικού τοιχώματος. Σε μικρά ελαστικά υπάρχει ένα σώμα στρώσεων, ενώ σε μεγαλύτερα μεγέθη χρησιμοποιούνται συνήθως δύο σώματα στρώσεων.

Bead bundles – (Δέσμη στεφάνης): Πρόκειται για ανεξάρτητα σύρματα επικαλυμμένα με ορείχαλκο, και με καουτσούκ και στη συνέχεια τυλίγονται σε στεφάνη καθορισμένης διαμέτρου και διαμόρφωσης πριν από τη συναρμολόγηση των ελαστικών. Οι δέσμες στεφανιών χρησιμεύουν για την αγκύρωση του φουσκωμένου ελαστικού στο χείλος της ζάντας τροχού.

Abrasion gum strip -(λωρίδα τριβής ελαστικού): Οι λωρίδες τριβής ελαστικού παρέχουν ένα στρώμα από καουτσούκ μεταξύ του σωματος στρώσεων και της στεφάνης του τροχού για ανθεκτικότητα έναντι φθοράς. Η αεροστεγής σφράγιση μεταξύ του ελαστικού και της ζάντας πρέπει να διατηρείται υπό όλες τις συνθήκες λειτουργίας. Αυτό το συστατικό είναι επίσης γνωστό ως προστατευτικό ελαστικού ή gum toe guard.

Bead filler- Το υλικό πλήρωσης (apex): εφαρμόζεται πάνω από τις δέσμες στεφάνης για να γεμίσει το κενό μεταξύ του εσωτερικού σώματος στρώσεων και του αναδιπλωμένου άκρου (πτυχή), του εξωτερικού σώματος στρώσεων. Η μεταβολή του ύψους της αναδύπλωσης (πτυχή) πανω στη στεφάνη επηρεάζει τα χαρακτηριστικά του ελαστικού και τη συμπεριφορά του χειρισμού.

Sidewall Tire -Το ελαστικό πλαϊνού τοιχώματος: χρησιμεύει για την προστασία του σώματος στρώσεων από την τριβή, την κρούση και την κόπωση. Η ελαστική ένωση, είναι διαμορφωμένη για να αντιστέκεται στη διάσπαση λόγω περιβαλλοντικών κινδύνων, όπως το όζον, το οξυγόνο, η υπεριώδης ακτινοβολία και η θερμότητα.

Side wall reinforcements – (Ενισχύσεις των πλαϊνών τοιχωμάτων): Ορισμένα ελαστικά διαθέτουν χαμηλές ενισχύσεις πλευρικών τοιχωμάτων για βελτίωση του

χειρισμού ή της σταθερότητας. Αυτά τα στοιχεία είναι γνωστά ως σπαστήρες, πτερύγια ή πλωτή ενίσχυση. Επίσης, πολλές κατασκευές (run- flat), διαθέτουν πλήρες παχύ ελαστικό πλευρικό τοίχωμα ή άλλες ενισχύσεις για τη στήριξη του φορτίου, όταν η πίεση πλήρωσης (φούσκωμα) είναι χαμηλή ή μηδενική.

Stabilizer plies (belts) - Ζώνες σταθεροποίησης : Δύο χαλύβδινες ζώνες εφαρμόζονται σε αντίθετες γωνίες η μία πάνω στην άλλη στην κορυφή του σώματος των στρώσεων, κάτω από την περιοχή του πέλματος. Περιορίζουν την επέκταση του σώματος στρώσεων , σταθεροποιούν την περιοχή πέλματος και παρέχουν αντοχή στην κρούση. Η μεταβολή των διαστάσεων του ιμάντα και κλίσεων που μπορεί να πάρει, επηρεάζει τα χαρακτηριστικά οδήγησης και χειρισμού του οχήματος. Έχουν χρησιμοποιηθεί επίσης κατασκευές εναλλακτικών ιμάντων με άλλα υλικά εκτός του χάλυβα, με τρεις ή περισσότερες ζώνες ή με υφασμάτινα υλικά.

Εικόνα 1.2 γ) Δομή ακτινικού ελαστικού



Stabilizer ply skim (belt skim)- Επίστρωση σταθεροποιητικού στρώματος (ιμάντα ζώνης): είναι η επίστρωση από καουτσούκ για τα ατσάλινα σύρματα που έχουν ορειχάκινη επίστρωση . Η κρούστα είναι απλωμένη ή εξωθημένη σε φύλλα πάνω στα χαλύβδινα κορδόνια, τα οποία κόβονται σε πλάτος υπό γωνία και στη συνέχεια συνδέονται σε συνεχή ρολά για τη συναρμολόγηση των ελαστικών. Η ζώνη κρούστας είναι κυρίως σχεδιασμένη για να αντιστέκεται στην κόπωση και σχίσιμο.

Belt wedges -(Βελτιωτές σφήνες): Μικρές λωρίδες επίστρωσης ή άλλες ανθεκτικές στην κόπωση ενώσεις, τοποθετούνται μεταξύ των χαλύβδινων ζωνών και κοντά στην άκρη τους σε όλη την περίμετρο του ελαστικού. Ο σκοπός είναι να μειωθεί η διατμητική τάση στην άκρη της ζώνης καθώς το ελαστικό κυλάει και εκτρέπεται.

Shoulder inserts – (Ενθετα ώμων): Τα ένθετα των ώμων είναι μικρές, μερικές φορές διαμορφωμένες λωρίδες από καουτσούκ, τοποθετημένες στο σώμα στρώσεων, κάτω από τα άκρα των ζωνών. Βοηθούν στη διατήρηση ενός ομαλού περιγράμματος ζώνης και την απομόνωση του σώματος των στρωμάτων από τις άκρες της ζώνης.

Tread-(Πέλμα): Το πέλμα πρέπει να παρέχει την απαραίτητη πρόσφυση για οδήγηση, φρενάρισμα και στροφή. Η σύνθεση πέλματος είναι ειδικά διαμορφωμένη για να παρέχει ισορροπία μεταξύ φθοράς, χειρισμού,πρόσφυσης, και αντίστασης κύλισης.

Ένα σχέδιο χυτεύεται στο πέλμα κατά τη διάρκεια βουλκανισμού ή σκλήρυνσης και έχει σχεδιαστεί για να παρέχει ομοιόμορφη φθορά, να απομακρύνει το νερό από το ίχνος του πέλματος και να ελαχιστοποιεί το θόρυβο σε μια ποικιλία οδικών επιφανειών.

Για την οδήγηση σε δύσκολες συνθήκες χειμώνα, συνιστώνται ελαστικά χιονιού με αυξημένο βάθος πέλματος και ειδικά διαμορφωμένες ενώσεις πέλματος. Εικόνα 1.2) δ) Δομή ακτινικού ελαστικού



Figure 11.1 Typical radial passenger tyre construction with a) tread, b) steel belts, c) carcass plies, d) inner liner, e) apex, f) bead, g) chafer, h) rim cushion, i) white sidewall, j) veneer coverstrip and k) black sidewall

Subtread -Η υποπελματική: Αν χρησιμοποιείται, είναι συνήθως μια χαμηλότερης υστέρησης ένωση, πιο ψυχρή κάτω από το πέλμα, για να βελτιώσει την αντίσταση κύλισης και τους στόχους των κατασκευαστών οχημάτων για εξοικονόμηση καυσίμου. Βελτιώνει επίσης την ποιότητα της άνεσης, του θορύβου και του χειρισμού.

Undertread- Το υπόστρωμα: είναι ένα λεπτό στρώμα καουτσούκ τοποθετημένο κάτω από το εξωθημένο πέλμα για να ενισχύσει την πρόσφυση του πέλματος στις ζώνες σταθεροποίησης κατά τη συναρμολόγηση ελαστικών και να καλύψει άκρα των ιμάντων.

Nylon cap plies/cap strips -Στρώματα κάλυψης από νάιλον / ταινίες κάλυψης: Τα ελαστικά μεγάλης ταχύτητας μπορεί να διαθέτουν ένα καλυπτικό στρώμα από νάιλον πλήρους πλάτους, που μερικές φορές ονομάζεται επικάλυψη. Είναι τυλιγμένο περιμετρικά στην κορυφή των στρωμάτων της σταθεροποιητικής ζώνης, για να περιορίσει περαιτέρω τη διαστολή από τις φυγόκεντρες δυνάμεις στις υψηλές ταχύτητες. Οι λωρίδες καλύμματος από νάυλον χρησιμοποιούνται σε ορισμένες κατασκευές αλλά καλύπτουν μόνο τις άκρες του ιμάντα.

Εικόνα 1.3: α) β) γ) Δομή ενός ακτινωτού ελαστικού



1.3.1 ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΠΕΛΜΑΤΟΣ

Στην 1.4 εμφανίζονται τα περισσότερα χαρακτηριστικά του πέλματος που χρησιμοποιούνται από τους μηχανικούς σχεδιασμού. Ο αριθμός των νευρώσεων, η απόσταση των αυλάκων το ποσοστό των κενών ,ο προσανατολισμός και το άνοιγμα των θυρίδων στα άκρα του πέλματος, επηρεάζει τον τρόπο απομάκρυνσης του νερού για να αποφευχθεί η υδρολίσθηση.

Εικόνα 1.4 Περιγραφή πέλματος



Ο αριθμός των τακουνιών-βήματος η σειρά τοποθέτησης τους, καθώς και η θέση και η μορφή των ενδιάμεσων αυλακώσεων μπορούν να επηρεάσουν την πρόσφυση, το θόρυβο, την ομοιόμορφη ή ανομοιόμορφη φθορά. Η εικόνα 1.5 παρουσιάζει μια διάταξη που χρησιμοποιεί διαφορετικά μήκη βήματος-τακουνιών γύρω από την περιφέρεια του ελαστικού, για να περιορίσει την παραγωγή θορύβου καθώς περιστρέφεται το ελαστικό.

Εικόνα 1.5 Παράδειγμα διάταξης πέλματος για αποφυγή θορύβου



Mold contour features – (Χαρακτηριστικά περιγράμματος καλουπιού)

Σε ένα καλούπι διαμόρφωσης ελαστικών το πλάτος διατομής και η εξωτερική διάμετρος έχουν προφανή επίδραση στις διαστάσεις του βουλκανισμένου ελαστικού. Ωστόσο, το προφίλ του καλουπιού, όπως βάθος του πέλματος, το κέντρο, η ακτίνα των πλευρών, μπορούν επίσης να επηρεάσουν σημαντικά την απόδοση των ελαστικών. Ευρέως διαφορετικά σχήματα αποτυπώματος μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά (όπως φαίνεται στο σχήμα 1.6), την οδήγηση και το χειρισμό του οχήματος, τη φθορά των ελαστικών και την πρόσφυση.



Εικόνα 1.6 Χαλύβδινα σύρματα και ακαμψία ελαστικού

Επιλογή κατασκευής

Το πάχος του σώματος στρώσεων, το στυλ της ίνας-κορδόνι, η EPD (Ends per Decimeter) και ο αριθμός των στρώσεων επηρεάζουν την ισχύ του σώματος και επιλέγονται με βάση τα κατασκευαστικά, μηχανικά και σχεδιαστικά κριτήρια. Ομοίως η απόδωση του ελαστικού και η αντοχή του ιμάντα επηρεάζονται από την κατασκευή των χαλύβδινων συρμάτινων ινών (στυλ) την EPD, τα πλάτη της ζώνης και η γωνία στεφάνης της ζώνης (εικόνα 1.6) επιλέγονται δε με βάση το μέγεθος και την χρήση του ελαστικού. Διαφορετικές γωνίες στεφάνης αλλάζουν την πλευρικά και διαμήκως ακαμψία της ζώνης, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει την ικανότητα στροφής και τη κίνηση. Τα πλάτη των μάντων μπορούν επίσης να ποικίλουν. Εάν απαιτείται υψηλή ταχύτητα, μπορεί να προστεθεί η προσθήκη καλύματος λωρίδων από νάιλον στις άκρες των ιμάντων περιορισμένου ή και πλήρους πλάτους. Οι περιοχές των αναδιπλώσεων και των πλευρικών τοιχωμάτων μπορούν επίσης να συμβάλλουν σε λεπτές βελτιώσεις της απόδοσης. Ο όγκος και το ύψος πλήρωσης(γεμίσματος) των αναδιπλώσεων , καθώς και η θέση του άκρου του πλευρικού τοιχώματος.

Εικόνα 1.7 Αναδιπλώσεις στα πλαινά άκρα του ελαστικού



1.4. ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ

1.4.1 ΕΞΕΛΙΞΗ ΥΦΑΝΣΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ

Η ύφανση των ελαστικων έχει αλλάξει λόγω συνεχής ζήτησης για καλύτερη απόδοση. Ο Πίνακας 1.1 παρέχει μια ιστορική περίληψη αυτής της εξέλιξης. Τα πρώτα πνευματικά ελαστικά που αναπτύχθηκαν στη δεκαετία του 1880 για ποδήλατα από τον J.B. Dunlop και εφαρμόστηκαν σε αυτοκίνητα στη δεκαετία του 1890 χρησιμοποιούσαν ακριβό ιρλανδικό λινάρι. Το βαμβάκι αντικατέστησε σύντομα το λινάρι και παρέμεινε το κυριότερο κλωστοϋφαντουργικό υλικό των ελαστικων μέχρι τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, αλλά σταδιακά σταμάτησε από τα μέσα της δεκαετίας του 1950. Το συνεγές νήμα από βισκόζη και γαλύβδινο κορδόνι (Γαλλία) εμφανίστηκαν στη δεκαετία του 1930. Το νάυλον έγινε γενικά διαθέσιμο για ελαστικά στα τέλη της δεκαετίας του 1940 και έχει καλύψει τις ανάγκες των ελαστικων των βαρέων φορτηγών ,γωματουργικών και αεροσκαφών. Το δε ρεγιόν κυριαργούσε στα ελαστικά επιβατικών, ιδιαίτερα για τα καινούργια αυτοκίνητα , λόγω των κακών χαρακτηριστικών οδήγησης του νάιλον και της μικρότερης διαστασιακής σταθερότητας του. Το κορδόνι από πολυεστέρα, εισήχθη για πρώτη φορά από την Goodyear στις αρχές της δεκαετίας του 1960, για να προσφέρει καλύτερη αντοχή από το ρεγιόν και καλύτερη διαστασιακή σταθερότητα από το νάιλον. Ο πολυεστέρας έχει περάσει από αρκετές τεχνικές βελτιώσεις για να ξεπεράσει τις αρχικές τεχνικές ελλείψεις και τώρα έχει γίνει το κυρίαρχο υλικό υφανσης για σκελετούς ακτινικών ελαστικών για επιβατικά και ελαφρά φορτηγά.

Επίσης απο τη δεκαετία του 1950, τα επιχαλκομέν σύρματα χάλυβα, κυριαρχούν στις ζώνες των ακτινικών ελαστικών. Οι ζώνες από ίνες γυαλιού που εισήχθησαν σε ελαστικά με λοξές ζώνες το 1967, μπορούν να δώσουν καλή απόδοση σε ακτινική ζώνη. Για διάφορους όμως λόγους, η ίνα γυαλιού δεν έγινε δεκτή από την αγορά και έχει καταργηθεί πλήρως. Οι ίνες αραμιδίου εισήχθησαν το 1974 από τη DuPont και έχουν δείξει αργή αλλά σταθερή ανάπτυξη στις ζώνες ακτινικώνελαστικών, αλλά το κόστος είναι υψηλό και κατά συνέπεια αποτρεπτικό.

Όλες οι υφάνσεις που χρησιμοποιούνται σήμερα βελτιώνονται συνεχώς μέσω τροποποιήσεων στον πολυμερισμό, το σχέδιο και τη ρύθμιση θερμότητας κατά τη διάρκεια της κατασκευής του κορδονιού [1].

Cord	Introduced	Comments
Irish flax	1888	- Staple fiber/no adhesive, expensive
Cotton (square woven)	1900	- Staple fiber/ no adhesive, lower cost
Cotton (cord)	1920	- Same as above, lighter weight
Steel cord (Europe)	1937	- Used in first radial tires, copper plated for adhesion
Rayon	1938	- Viscose continuous filament, RFL/NR adhesive
		cord dip required
Nylon (commercial)	1947	- Continuous filament drawn and heat set for
		tensile strength, RFL/VP-SBR adhesive employed
Steel cord (USA)	1955	- Brass plating for adhesion
Polyester	1962	- drawn and heat set for tensile strength, 2 step
		adhesion dip, isocyanate/RFL
Fiberglass	1967	- RFL adhesive on individual filaments
Aramid	1974	- Special RFL/VP-SBR adhesive
Rayon (polynosic)	1975	- High tenacity rayon
Polyester (2nd rev)	1982	- Modified lower shrinkage
Steel cord (open const)	1980s	- Higher rubber penetration adhesion/corrosion
		resistance
Polyester (3rd gen)	1995	- High modulus/lower shrinkage
Steel cord (3rd gen)	1990s	- High tensile steel. New drawing and twisting
		(e.g., BETRU□)
Pplyethylene naphthalate	1990-2000s	- Potential new tire fabric, not yet commercial

Πίνακας 1.1: Εξέλιξη της ύφανσης ελαστικού

1.4.2 ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΥΦΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ

Οι ινες (κορδόνια) και τα σύρματα της στεφάνης, είναι τα επικρατέστερα δομικά μέλη της σύνθεσης (ινες-ελαστικού). Παρέχουν δύναμη και σταθερότητα στο πλευρικό τοίχωμα και το πέλμα, όταν περιέχουν αέρα υπό πίεση.

Οι ιδιότητες των κορδονιών συνοψίζονται στα παρακάτω: α) Να διατηρούν ανθεκτικότητα ενάντια σε πιέσεις και κρούσεις , β) να υποστηρίζουν το φορτίο περιέχοντας το αέριο που φουσκώνει το ελαστικό γ) να παρέχουν ακαμψία στα ελαστικά για επιτάχυνση, στροφές, πέδηση, δ) να παρέχουν σταθερότητα διαστάσεων για ομοιομορφία, οδήγηση, χειρισμό.

Για να επιτευχθούν τα παραπάνω τα κορδόνια θα πρέπει πληρούν τις παρακάτω απαιτήσεις : α) Μεγάλο λόγος μήκους προς διάμετρο, β) ψηλό αξονικό προσανατολισμό για αξονική ακαμψία και αντοχή, γ) καλή πλευρική ευκαμψία (χαμηλή ακαμψία κάμψης), δ) δυνατότητα περιστροφής για να επιτραπεί στις ίνες να ασκούν αξονική αντοχή. Η ορολογία που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των κορδονιών των ελαστικών, προέρχεται από την κλωστοϋφαντουργία. Τα κορδόνια των ελαστικών κατασκευάζονται από νήματα τα οποία προέρχονται από ίνες. Οι ίνες παράγονται από έναν νηματοποιητή και ελαφρώς στριμμένες συγκεντρώνονται και τοποθετούνται σε δέσμες για περαιτέρω επεξεργασία.



Εικόνα 1.8: Σχοινί που απεικονίζει την σύνθεση του κορδονιού - ίνες / νήμα / κορδόνι (σχοινί)

Η παραπάνω εικόνα δείχνει την κατασκευή ενός κορδονιού, αλλά σε μεγαλύτερη κλίμακα. Οι ίνες είναι στριμμένες σε "Ζ" νήματα και τα νήματα είναι στριμμένα προς τα πίσω σε "S" για να σχηματίσουν ένα κορδόνι. Το μέγεθος μίας ίνας, νήματος ή κορδονιού ελαστικών μετράται με βάση το βάρος του ανά μονάδα μήκους - γραμμική πυκνότητα ή **denier** (denier είναι το βάρος σε γραμμάρια σε 9000 μέτρα) ή "**decitex**" (βάρος σε γραμμάρια 10.000 μέτρων). Τα κορδόνια από κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα αναγνωρίζονται από τα **denier** νήματα και την κατασκευή τους.

1.4.3. ΟΡΟΛΟΓΙΑ ΚΛΩΣΤΟΥΦΑΝΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ

- Fiber : υλικό με υψηλή αντοχή στην κατεύθυνση του άξονα ινών και με μήκος τουλάχιστον 100 φορές μεγαλύτερο από τη διάμετρο.
- Filament-(*iνες*):-το μικρότερο συνεχές στοιχείο ενός καλωδίου ελαστικού.
- Yarn/strand -(νήμα / κλωστή): ένα σύνολο ινών, συνήθως συγκεντρωμένο σε έναν άξονα-στήλη, στριμμένο ελαφρά (π.χ. 0,3 στροφές ανά ίντσα) και τυλιγμένο πάνω σε δέσμες για περαιτέρω επεξεργασία.
 Στρώματα απο στριμμένα νήματα συστρέφονται περαιτέρω πριν από τη
- συναρμολόγηση σε κορδόνια.
 Cord (Κορδόνι) : μια στριμμένη ή σχηματισμένη δομή αποτελούμενη από δύο ή περισσότερα νήματα.
- Warp (συστροφή) : ένα σύνολο από κορδόνια που εκτείνονται κατά μήκος του άξονα των ινών.
- Pick/filling (Επιλογή / πλήρωση): ένα νήμα χαμηλής αντοχής τοποθετημένο σε ορθή γωνία με τη συστροφή (1 έως 2 ανά ίντσα,) για να παρέχει σταθερότητα χειρισμού σε ένα φύλλο κορδονιών συστροφής. Αυτά έχουν πολύ χαμηλό εφελκυσμό και υψηλή επιμήκυνση για να αποφευχθεί η παραμόρφωση ενός φύλλου στρώσης, κατά τη διάρκεια της διαστολής του ελαστικού.
- Denier (Δέκτης) : η γραμμική πυκνότητα ενός υφαντού αντικειμένου (π.χ. ενός νήματος), που ορίζεται ως το βάρος σε γραμμάρια μήκους 9000 μέτρων. Έτσι, όσο μεγαλύτερο είναι το denier, τόσο πιο ισχυρό είναι το στοιχείο. Δηλαδή, ένα νήμα 2000 denier θα είναι διπλάσιο από το νήμα των 1000 ντενιέ και πιθανώς δύο φορές ισχυρότερο. Για παράδειγμα ένα κορδόνι 940/2 8x8 σχηματίζεται από 2-

940 νήματα decitex περιστραμμένα ξεχωριστά σε 8 στροφές ανά ίντσα και στη συνέχεια στριμμένα προς τα πίσω μαζί, με 8 στροφές ανά ίντσα, για να σχηματίσουν το κορδόνι. Έπίσης ένα κορδόνι 1650/3 10x10 θα περιλαμβάνει νήματα 3-1650 ντενιέ, στριμμένα χωριστά σε 10 στροφές ανά ίντσα και στριμμένα μαζί προς τα πίσω στις 10 στροφές ανά ίντσα. Για ένα δεδομένο υλικό, η χρήση υψηλότερων ντενιέ νήματος ή περισσότερων νημάτων ανά κορδόνι έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερη αντοχή στη θραύση του κορδονιού. Οι κατασκευές χαλύβδινων κορδονιών ορίζονται διαφορετικά, με βάση τη διάμετρο του νήματος και τη μέθοδο κατασκευής.

- Decitex : η γραμμική πυκνότητα σε μονάδες SI (εν μέρει), που ορίζεται ως το βάρος σε γραμμάρια μήκους 10.000 μέτρων.
- Twist: ο αριθμός στροφών 360 ° ανά μονάδα μήκους νήματος ή σχοινιού, π.χ. 10 περιστροφές ανά ίντσα ή 40 περιστροφές ανά 10 cm.
- Twist direction (Η κατεύθυνση περιστροφής): ονομάζεται "S" αν η σπείρα στρέφεται δεξιόστροφα από πάνω προς τα κάτω για ένα κάθετα κρατημένο σχοινί και "Z" για μια παρόμοια αντίθετη φορά του ρολογιού.
- Twist balance (<u>Ζυγοστάθμιση ισορροπίας</u>): εάν ένα σύνολο νημάτων και το προκύπτον κορδόνι έχουν την ίδια συστροφή, ονομάζεται ισορροπημένο κορδόνι. Lay. Είναι το μήκος του καλωδίου που απαιτείται για την ολοκλήρωση μίας περιστροφής 360°, π.χ., μια πλάκα 12,5 θα παρουσίαζε μία περιστροφή στα 12,5 mm. Lay είναι η μέτρηση που χρησιμοποιείται για τις κατασκευές από χαλύβδινο κορδόνι.
- Strength (<u>Avtoχή</u>): το φορτίο εφελκυσμού που απαιτείται για τη διάρρηξη ενός καλωδίου σε δεδομένη αναλογία επέκτασης, δηλ. το φορτίο θραύσης ενός συγκεκριμένου καλωδίου. Η αντοχή του καλωδίου ελαστικών αναφέρεται σε Newton ή pounds, αντί για MPa, λόγω της δυσκολίας προσδιορισμού της πραγματικής επιφάνειας εγκάρσιας τομής μιας δέσμης ινών. Η αντοχή σε εφελκυσμό των ινών αναφέρεται μερικές φορές ως Αντοχή εφελκυσμού (psi) = 12800 (ειδικό βάρος) (ανθεκτικότητα σε γραμμάρια ανά denier).
- Tenacity (ισχυρότητα): Οι αντοχές του καλωδίου ελαστικών αναφέρονται συχνά ως ανθεκτικότητα σε γραμμάρια ανά denier ή centinewtons ανά decitex. Αυτή η τιμή είναι ουσιαστικά ισοδύναμη του βάρος. Μπορεί να είναι χρήσιμη κατά τη σύγκριση των κορδονιών παρόμοιων ειδικών βαρών, αλλά θα πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή στους υπολογισμούς αντοχής ελαστικών όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν ίσοι όγκοι καλωδίου αντί για ίσο βάρος, για παράδειγμα, όταν συγκρίνεται το νάυλον με το χάλυβα σε ακτινικό σκελετό. Οταν αναφερόμαστε στην Tenacity "ανθεκτικότητα", η σύγκριση της δύναμης του καλωδίου δίνει λάθος εικόνα λόγω του υψηλού ειδικού βάρους του χάλυβα σε σχέση με εκείνο των οργανικών υφάνσεων. Αυτό κάνει τον χάλυβα να φαίνεται ότι έχει μικρότερη αντοχή. [2]

1.4.4. ΥΛΙΚΑ ΥΦΑΝΣΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ

Πέντε υλικά σήμερα αποτελούν την κύρια χρήση της υφαντουργίας ελαστικών: ρεγιόν, - νάιλον,-πολυεστέρας,-αραμίδιο και χάλυβας.

Nylon: είναι αλειφατικά πολυαμίδια δηλαδή συνθετικά πολυμερή μακριάς αλυσίδας που παράγονται με συνεχή πολυμερισμό (ίνες υφανσης ή ίνες μέσω τήξης). Στα κορδόνια

ελαστικών γρησιμοποιούνται δύο κατηγορίες: Nylon 6 (πολυκαπρολακτάμη) και Nylon 66 (προϊόν συμπύκνωσης αδιπικού οξέος / εξαμεθυλενοδιαμίνης). Και τα δύο υλικά δίνουν παρόμοιες ιδιότητες. Το Nylon 6 είναι φθηνότερο αλλά πιο ευαίσθητο στην υγρασία και υπόκειται σε απώλεια αντοχής σε εφελκυσμό, όταν υπάρχει υγρασία στις θερμοκρασίες σκλήρυνσης των ελαστικών, (παρ όλο που με επεξεργασία η αντοχή των νημάτων από το νάιλον έχει βελτιωθεί κατά 25-50%). Το νάιλον προτιμάται σε χρήσεις που απαιτούν αντοχή σκελετού, πιέσεις και αντοχή σε κρούση, υψηλή αντοχή και χαμηλή παραγωγή θερμότητας π.χ. σε ελαστικά για φορτηγά, σε εξοπλισμό εκτός δρόμου και αεροσκάφη. Σε αυτές τις εφαρμογές το νάιλον μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο σκελετό των λοξών στρωμάτων ελαστικών ή σε σκελετους ακτινωτών ελαστικών με ατσάλινες ή αραμιδικές ζώνες. Η πιο συνηθισμένη χρήση τους σε ακτινωτά ελαστικά επιβατών είναι ως κάλυμμα ή στρώμα επικάλυψης, ή σαν υλικό του άκρου ζώνης, με ορισμένες περιορισμένες εφαρμογές ως σώμα στρώσεων. Ο μικρός όγκος του και η γαμηλή θερμοκρασία μετάβασης σε γυαλί, το καθιστούν ακατάλληλο για υλικό ζώνης ή για εφαρμογές όπου η αισθητική, η οδήγηση και ο χειρισμός είναι σημαντικές δηλαδή στα ελαστικά επιβατικών.

- Πλεονεκτήματα: Μεγάλη αντίσταση στη θερμότητα και αντοχή.
- Μειονεκτήματα: Επιβάλεται έλεγχος-ρύθμιση της θερμοκρασίας κατά την ψύξη (flatspotting).
- **Polvester Πολυεστέρας** : είναι επίσης συνθετικά πολυμερή μεγάλης αλυσίδας * που παράγονται με συνεγή πολυμερισμό (ινες υφανσης ή ίνες μέσω τήξης). Ειδικότερα είναι το προϊόν πολυμερισμού συμπύκνωσης αιθυλενογλυκόλης και τερεφθαλικού οξέος. Μια αναθεωρημένη επεξεργασία του, μας δίνει πολυεστέρα με αυξημένο συντελεστή ελαστικότητας 50% και μειωμένη συρρίκνωση κατά 50%, φέρνοντάς το κοντά στη διαστασιακή σταθερότητα του ρεγιόν. Έχει γίνει σχετικά φθηνή λύση καθιστώντας την καλή επιλογή για ελαστικά επιβατικών και ελαφρών φορτηγών. Όμως ο πολυεστέρας πρέπει να χρησιμοποιείται με σχεδιασμένη προσοχή για την πρόληψη της φθοράς του κορδονιού κατά τη χρήση του σε συστήματα πρόσφυσης και σκελετούς ελαστικών από καουτσούκ. Το κορδόνι πολυεστέρα δεν συνιστάται για χρήση σε εφαρμογές υψηλού φορτίου / υψηλής ταχύτητας / υψηλής θερμοκρασίας, όπως σε φορτηγά, αεροσκάφη και αγωνιστικά ελαστικά, λόγω της ταγείας απώλειας ιδιοτήτων στις θερμοκρασίες των ελαστικών άνω των 120°C. Η πιο συνηθισμένη χρήση είναι σε ακτινικά σώματα στρώσεων με κάποιες περιορισμένες εφαρμογές σε στρώσεις ζωνών.
- Πλεονεκτήματα: Υψηλή αντοχή με χαμηλή συρρίκνωση, χαμηλή ρύθμιση θερμότητας, χαμηλό κόστος.
- Μειονεκτήματα: Επηρεάζεται από τη θερμοκρασία περισσότερο απο το νάιλον ή το ρεγιόν.
- **Rayon (αναγεννημένη κυτταρίνη):** είναι ένα σωμα στρώσεων με κορδόνια-ίνες ή ενισχυτική ταινία από κυτταρίνη που παράγεται με υγρή κλώση. Με την αναθεωρημένη θερμική επεξεργασία και τη βελτιωμένη πήξη η αντοχή των κορδονιών βελτιώθηκε κατά 300% σε σχέση με την πρώτη εφαρμογή του. Έτσι οι ιδιότητες χαμηλής συρρίκνωσης, υψηλής αντοχής και καλής πρόσφυσης του ρεγιόν, το καθιστούν μια εξαιρετική επιλογή για χρήση στο σκελετό όσο και στον ιμάντα σε ακτινωτά επιβατικά ελαστικά. Ωστόσο, το ρεγιόν έχει χάσει το μερίδιο αγοράς του από τον πολυεστέρα λόγο του υψηλού κόστους και των

περιβαλλοντικών προβλήματων στα εργοστάσια παραγωγής. Επίσης παλιότερα χρησιμοποιήθηκε σε ελαστικά φορτηγών αλλά τώρα έχει εκτοπιστεί από το νάιλον λόγω της μεγαλύτερης στερεότητας και αντοχής του τελευταίου, στην κρούση. Συχνά χρησιμοποιείται στην Ευρώπη και σε ορισμένα ελαστικά run-flat ως υλικό σώματος στρώσεων.

- Πλεονεκτήματα: Σταθερές διαστάσεις, αντιθερμικό, καλά χαρακτηριστικά χειρισμού.
- Μειονεκτήματα: Ακριβά, πιο ευαίσθητο στην υγρασία. περιβαλλοντικά ζητήματα κατασκευής.

Αραμίδιο: Το αραμίδιο είναι ένα πλήρως αρωματικό πολυαμίδιο, μια συνθετική, υψηλής ανθεκτικότητας οργανική ίνα που παράγεται με την κλώση διαλυτών. Τα πιο κοινά εμπορικά υλικά είναι (πολυ-φαινυλενο τερεφθαλαμίδιο), Kevlar ή Twaron. Τα κορδόνια από αραμίδια έχουν πολύ μεγάλη αντοχή (2 έως 3 φορές ισχυρότερη από πολυεστέρα και νάιλον), υψηλό συντελεστή ελαστικότητας και χαμηλή επιμήκυνση. Το σχετικά υψηλό κόστος έχει περιορίσει τη χρήση του ως υλικό ακτινικής ζώνης, χρησιμοποιώντας αντι αυτών χαλύβδινα κορδόνια. Χρησιμοποιείται ως ελαφριά εναλλακτική λύση στο χαλύβδινο κορδόνι όταν το βάρος διαδραματίζει σημαντικό ρόλο, όπως σε ζώνες των ακτινωτών ελαστικών ή στην επικάλυψη στρώσεων για τα υψηλών ταχυτήτων ελαστικά. Σε εφαρμογές σκελετών το αραμίδιο πρέπει να χρησιμοποιείται ως ενιαία στρώση. Σε μια κατασκευή πολλαπλών στρώσεων σκελετού, η χαμηλή επιμήκυνση του αραμιδίου θα εμποδίσει την εξωτερική στρώση να προσαρμοστεί στο μέσο όρο της καμπυλότητας. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα να συμπιέσει τις εσωτερικές στρώσεις. Αυτό μειώνει τη συμβολή των εσωτερικών στρώσεων στη συνολική αντοχή. Επί πλέον οι αστοχίες της εσωτερικής στρώσης δημιουργούνται λόγω της κακής δυναμικής αντοχής στην κόπωση του αραμιδίου κατά τη συμπίεση.

- Πλεονεκτήματα: Πολύ υψηλή αντοχή και ακαμψία. αντιθερμικό.
- Μειονεκτήματα: Κόστος; δύσκολο να κοπεί.
- * Τνες από χάλυβα (steel cord): είναι ενανθρακωμένο χαλύβδινο σύρμα επικαλυμμένο με ορείχαλκο που έχει επιμηκυνθεί, επενδυθεί, περιστραφεί και τυλιχθεί σε δέσμες πολλαπλών νημάτων. Το υψηλό μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα χρησιμοποιείται πολύ σε ακτινικές ζώνες και σε σκελετούς μονού στρώματος για μεγάλα ακτινικά ελαστικά.
- Πλεονεκτήματα: Η υψηλή αντοχή της ζώνης και η δυσκαμψία της, βελτιώνουν τη φθορά και το χειρισμό.
- Μειονεκτήματα: Απαιτεί ειδική επεξεργασία, πιο ευαίσθητο στην υγρασία.

Εναλλακτικές ίνες

<u>Ινες γυαλιού</u> : χρησιμοποιήθηκαν στη δεκαετία του 1960 με την ανάπτυξη ενός ελαστικού ενισχυμένης λοξής ενίσχυσης από τη Goodyear. Ωστόσο, αυτό το ελαστικό αντικαταστάθηκε σύντομα από το ακτινικό ελαστικό. Κάποιες προσπάθειες έγιναν για τη χρήση γυάλινων ινών στις ζώνες των ακτινωτών ελαστικών, αλλά γρήγορα ο χάλυβας τις αντικατέστησε σαν κύριο υλικό ζωνών.

Πολυβινυλαλκοόλη: Οι ίνες πολυβινυλαλκοόλης - PVA έχουν ιδιότητες παρόμοιες τόσο με ρεγιόν όσο και με τον εξελιγμένο πολυεστέρα, αλλά με υψηλότερη αντοχή από το ρεγιόν και χαμηλότερη συρρίκνωση από τον πολυεστέρα. Ύφανση από αυτό το προϊόν έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στο σκελετό και τις ζώνες των ακτινικών επιβατικών ελαστικών. Ένα σημαντικό μειονέκτημα ήταν η έλλειψη προμηθευτών υλικού.

Πολυαιθυλένιο ναφθαλικό (PEN): To - PEN είναι παρόμοιο με τον πρότυπο πολυεστέρα τερεφθαλικού πολυαιθυλενίου (PET), που είναι συμπολυμερές αιθυλενογλυκόλης και ναφθαλικού οξέος. Αυτό το νέο κλωστοϋφαντουργικό προϊόν έχει αναπτυχθεί από την Allied-Signal (Honeywell Fibers). Χρησιμοποιείται ως περιοριστική ζώνη επικάλυψης για ελαφρά φορτηγά και επιβατικά υψηλής ταχύτητας, αντικαθιστώντας επικαλύψεις από νάιλον.

Σύρμα στεφάνης (bead wire): είναι ανθρακικό σύρμα χάλυβα με επικάλυψη από χαλκό που έχει παραχθεί από εφελκισμό και επιμετάλωση. Τα νήματα είναι τυλιγμένα σε δύο στεφάνια, ένα σε κάθε πλευρά του ελαστικού, σε διάφορες διαμορφώσεις που χρησιμεύουν για την αγκύρωση του φουσκωμένου ελαστικού στη ζάντα. [3] [2] [4]

1.4.5 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΟΡΔΟΝΙΩΝ

Εικόνα 1.9 Παραγωγής κορδονιών



> Κλώση τήγματος

Στη διαδικασία κλώσης τήγματος διηθείται το τηγμένο πολυμερές και αντλείται διαμέσου μίας νηματοποιητικής μήτρας που περιέχει μεγάλο αριθμό πολύ λεπτών οπών. Χρησιμοποιείται μια αντλία μετατόπισης για να δώσει μια εξαιρετικά ακριβή και σταθερή ροή υλικού διαμέσου της μήτρας (νηματοποιητή). Το εξωθημένο παχύρευστο πολυμερές εφελκύεται σε περίπου 25 φορές το αρχικό του μήκος ενώ στερεοποιείται σε ρεύμα ψυχρού αέρα. Η στερεοποιημένη δέσμη μετά επεξεργάζεται σε ένα περιστροφικό

φινίρισμα για να λιπάνει τις ίνες και εφελκύεται σε ψυχρή κατάσταση πάνω σε περιστροφικούς κυλίνδρους. Η διαδικασία έλξης επιμηκύνει τις ίνες σε αρκετά μεγάλο μήκος, ενώ το πολυμερές είναι ακόμα πάνω από τη θερμοκρασία μετάπτωσης υάλου. Αυτή η διαδικασία αυξάνει την ισχύ και το μέτρο ελαστικότητας και μειώνει την θραύση επιμήκυνσης, αυξάνοντας την κρυσταλλικότητα του πολυμερούς και τον μοριακό προσανατολισμό. Η τελική δομή των εφελκυσμένων κρυσταλλικών θερμοπλαστικών πολυμερών περιέχει κρυσταλλικά ινίδια, πολλά ευθυγραμμισμένα πολυμερή και μη προσανατολισμένα μόρια.

Οι ρυθμοί τροφοδοσίας και οι ταχύτητες έλξης είναι απαραίτητοι για να εξασφαλιστεί η ομοιομορφία των νημάτων και ο αυστηρός έλεγχος της γραμμικής πυκνότητας (denier). Τέλος, οι δέσμες ινών συλλέγονται, ελαφρώς στριμμένες και αποθηκεύονται σε δέσμες προς μεταφορά για περαιτέρω επεξεργασία και κατασκευή κορδονιού. Σε σύγκριση με τα πρότυπα προϊόντα ύφανσης, τα τηγμένα πολυμερή κορδόνια των ελαστικών έχουν υψηλότερο μοριακό βάρος (τουλάχιστον 2Χ φορές) και μετά από έλξη έχουν 2 έως 4 φορές τις τιμές μέτρου εφελκυσμού, με θραύση επιμήκυνσης 10-20%. [5]



Εικόνα 1.10: Κλώση τήγματος

Περιδίνηση του διαλύματος

Τα Rayon και τα αραμίδια δεν έχουν καθορισμένη θερμοκρασία τήξης και πρέπει να διαλυθούν για να εξωθηθούν ως συνεχείς ίνες. Ένα συμπυκνωμένο διάλυμα ή πολτός αντλείται διαμέσου του νηματοποιητή σε ένα λουτρό πήξης μη διαλύτη (υγρή κλώση) ή ξηραίνεται στον αέρα για να εξατμιστεί ο διαλύτης (ξηρή κλώση). Οι ίνες ξηραίνονται στον αέρα υπό τάση και όχι εκτεταμένα, αφού η κρυσταλλικότητα και ο προσανατολισμός είναι ήδη ανεπτυγμένα. Εφαρμόζεται φινιρίσμα, όπως συμβαίνει με τα κλωσμένα υφάσματα, και οι δέσμες νημάτων είναι έτοιμες για μεταγενέστερη επεξεργασία. Τα αραμίδια εμφανίζονται με τις ιδιότητες υψηλής αντοχής τους, ανέπαφα. Οι αντοχές των Rayon έχουν αυξηθεί τρεις φορές με βελτιώσεις στην πήξη, τις τροποποιημένες διαδικασίες φινιρίσματος και τις θερμικές επεξεργασίες για να αλλάξουν το μέγεθος των κρυστάλλων. [5]



Εικόνα 1.11 Υγρή κλώση

Εικόνα 1.12 Ξηρή κλωση



Fig. Dry spinning

Συναρμολόγηση κορδονιού

Σε μια συμβατική παραγωγή κορδονιού, τα παραγώμενα νήματα (ελαφρά στριμμένα νήματα απο 0,2 έως 2 στροφές ανά ίντσα) ξετυλίγονται από τους κυλινδρους αποθήκευσης και περιστρέφονται σε καθορισμένο επίπεδο, 6 έως 12 στροφές ανά ίντσα (tpi), συνήθως στην κατεύθυνση "Ζ". Τα κορδόνια σχηματίζονται με συστροφή όταν δύο ή περισσότερα νήματα στριφογυρίζουν προς την κατεύθυνση "S" για να το σχηματίσουν.Τα κορδόνια ελαστικών είναι συνήθως ισορροπημένα με ίσα επίπεδα
περιστροφής των νημάτων και των κορδονιών. Η Εικόνα 1.13 δείχνει μια κατασκευή κορδονιού με στροφές "Ζ" και "S".

Τα κορδόνια ελαστικών μπορούν να κατασκευαστούν σε ένα ευρύ φάσμα μεγεθών και αντοχών. Οι παραγωγοί νήματος προσφέρουν συνήθως τυποποιημένα μεγέθη denier. Για παράδειγμα νάιλον προσφέρεται ως νήματα 840, 1260 και 1680 ντενιέ, από το ελαφρύτερο σε ισχυρότερο. Οι κατασκευές κορδονιών αναγνωρίζονται ως, για παράδειγμα, 840/2 ή 1680/3 με τα βαρύτερα κορδόνια να έχουν την υψηλότερη αντοχή.

Εικόνα 1.13: Παράδειγμα κατασκευής κορδονιού με περιστροφές "S" και "Z" συστροφές



> Υφανση

Μετά από συστροφή των νημάτων σε κορδόνια, 1000 έως 1500 κορδόνια υφαίνονται σε ένα συνεκτικό φύλλο χρησιμοποιώντας μια πολύ ελαφριά ύφανση μίας έως δύο υφάνσεις ανά ίντσα. Τα ρολά αυτού του υφάσματος (που είναι περίπου 1,5 έως 1,75 μέτρα πλάτος) μεταφέρονται για περαιτέρω εργασίες. Αυτό που πρέπει να προσεχθεί είναι η διατήρηση μιάς ομοιόμορφης απόστασης μεταξύ των τυλιγμένων κορδονιών κατά τη διάρκεια των μεταγενέστερων ενεργειών, όπως η μεταφορά, η εμβάπτιση με κόλλα και η θερμική επεξεργασία, επεξεργασία φινιρίσματος, η κατασκευή ελαστικών και η ανόπτυση. Η ομοιόμορφη κατανομή των κορδονιών μέσα στο ελαστικό είναι απαραίτητη για την ομοιόμορφη απόδοση των ελαστικών. Σε ελαστικά με λοξές στρώσεις λινών, η ύφανση γίνεται απο αδύναμο βαμβακερό νήμα που διασπάται εύκολα κατά τη διάρκεια της διαμόρφωσης των ελαστικών. Στα ακτινωτά ελαστικά η ύφανση γίνεται από εξαιρετικά εκτάσιμες ίνες (αδιάβροχο νάιλον ή πολυεστέρα) μέσα σε ένα περίβλημα από βαμβάκι. Ο πυρήνας εξασφαλίζει ομοιόμορφη κατανομή του κορδονιού μέσα στο ελαστικό ειναι στο ελαστικό ενώ το περίβλημα κρατά σταθερές τις απόστασεις μεταξύ των κορδονιών κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης των ινών και της διαμόρφωσης του υφάσματος από τους κυλίνδρους.[5] Εικόνα 1.14 Ρολό ύφανσης κορδονιών



1.4.6 ΧΑΛΥΒΔΙΝΟ ΚΟΡΔΟΝΙ

Το χαλύβδινο κορδόνι υιοθετήθηκε στην Ευρώπη με την εμφάνιση του ακτινικού ελαστικού στη δεκαετία του 1940 και του 1950. Το χαλύβδινο κορδόνι που κατασκευάστηκε με καλωδίωση λεπτών χαλύβδινων νημάτων, πληροί τις απαιτήσεις για ένα σκληρό, υψηλού συντελεστή ελαστικότητας/ υψηλής ζώνης αντοχής υλικό, με αποδεκτό κόστος, δίνοντας υψηλή αντοχή και δυσκαμψία συμπιέσεως με αποδεκτή ακαμψία σε κάμψη, καλή αντοχή στην κόπωση τριβής και καλή πρόσφυση σε καουτσούκ. Ο σκληρότερος χαλύβδινος ιμάντας παρέχει στο ακτινικό ελαστικό ταχύτερη απόκριση στο χειρισμό και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του πέλματος, σε σύγκριση με τα ελαστικά πλάγιας- λοξής κατεύθυνσης ύφανσης.

Ονοματολογία χαλύβδινου κορδονιού

Οι όροι που χρησιμοποιούνται για το χαλύβδινο κορδόνι είναι παρόμοιοι με αυτούς που ισχύουν για την κλωστοϋφαντουργία αλλά με σημαντικές διαφορές:



Εικόνα. 1.15: Στοιχεία χαλύβδινου κορδονιού - ίνες / νήματα / κορδόνι / περιτύλιγμα

Ίνες : το βασικό στοιχείο ενός χαλύβδινου καλωδίου είναι ένα απλό λεπτό μεταλλικό σύρμα, τυπικά 0,15 έως 0,38 mm σε διάμετρο.

Νήματα : δύο ή περισσότερα νημάτια που συνδυάζονται μαζί.

Κορδόνι : κλώνος όταν χρησιμοποιείται ως τελικό προϊόν ή, συνηθέστερα, αποτέλεσμα καλωδίωσης νημάτων ή ινών και νημάτων.

Περιτύλιξη (**Transfil**) : ένα απλό νήμα συνήθως 0,15 mm σε διάμετρο περιτυλιγμένο γύρω από ένα πακέτο κορδονιού, για να διατηρηθεί η συμπαγές. [6]

Η κατασκευή των χαλύβδινων ινών

Οι ίνες παράγονται με την εξώθηση ράβδων χάλυβα υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, μέσα από μήτρες καρβίδιου του βολφραμίου. Επί του παρόντος, παράγονται τέσσερις τύποι ινών από χάλυβα, ανάλογα με την περιεκτικότητα σε άνθρακα και την αντοχή εφελκυσμού. Στη συνέχεια το σύρμα υποβάλλεται σε θερμική επεξεργασία "ωστενιτικό" για να μεγιστοποιηθεί η αντοχή εφελκυσμού, ανακουφίζοντας τα εσωτερικά στελέχη και τροποποιώντας τη δομή του καρβιδίου του σιδήρου. Σε δεύτερο στάδιο γίνεται ηλεκτρολυτική επικαλυψη, αρχικά με χαλκό και στη συνέχεια με ψευδάργυρο και υποβάλλεται σε θερμική κατεργασία, για να προκαλέσει μεταλλική εσωτερική σύντηξη, αποδίδοντας μια ορειχάλκινη επικάλυψη που περιέχει 63/70 Cu και 37/30 Zn.

Κατασκευή χαλύβδινων κορδονιών

Κυριολεκτικά εκατοντάδες κατασκευές από χαλύβδινο κορδόνι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε ελαστικά. Ωστόσο, οι τυποποιημένες κατασκευές συνήθως κατασκευάζονται για να καλύπτουν μια σειρά εφαρμογών. Ο τύπος χάλυβα, η διάμετρος της ίνας και ο αριθμός των ινών θα καθορίσουν την αντοχή, τη δυσκαμψία και την αντίσταση στην κόπωση. Οι χάλυβες υψηλής αντοχής μπορεί να είναι πιο δαπανηροί αλλά να έχουν χαμηλότερο κόστος ελαστικών επειδή απαιτούνται λιγότερα υλικά.

Χαρακτηρισμός χαλύβδινων κορδονιών

Τα χαλύβδινα κορδόνια αναγνωρίζονται από τον αριθμό και τη διάμετρο των ινών σε κάθε κλώνο-νήμα, τον αριθμό νημάτων και τον τρόπο με τον οποίο τα νήματα βρίσκονται γύρω από έναν κεντρικό άξονα. Ένα κορδόνι ελαστικών ορίζεται από τη δομή του, το μήκος και την κατεύθυνση της επίστρωσης και τον τύπο του προϊόντος. Κατά τον ορισμό της δομής, ο βασικός κανόνας είναι ότι η περιγραφή ακολουθεί την σειρά κατασκευής, ξεκινώντας με τον εσωτερικότερο κλώνο. Μια πλήρης περιγραφή του κορδονιού δίνεται από τον τύπο:

Nήμα 1 {(NxF) xD} + Nήμα 2 {(NxF) xD} + Nήμα 3 {(NxF) xD} +,

όπου Ν = αριθμός νημάτων

F = αριθμός ινών

D = διάμετρος ινών (mm)

Μια απλοποιημένη μορφή είναι όταν N ή F = 1, \Rightarrow τότε το 1 δεν δηλώνεται και αν το D είναι το ίδιο για αρκετούς κλώνους, δηλώνεται **μόνο** στο τέλος της ακολουθίας. Το περιτύλιγμα αναφέρεται πάντοτε ξεχωριστά. Παραδείγματα κατασκευών μερικών συνηθισμένων χρησιμοποιούμενων κορδονιών απεικονίζονται κατωτέρω και στην εικόνα 1.15.

(1X3) X0.22 + (1X9) X0.22 + (1X15) X0.22 + (1X1) X0.15

 $\acute{\eta} 3 + 9 + 15 X0 \ .22 + 0.15$

Μήκος και κατεύθυνση στρώματος :Τόσο το μήκος όσο και η κατεύθυνση ακολουθούν την σειρά κατασκευής.

Εικόνα 1.16: Διατομές τυπικών χαλύβδινων σχοινιών



Για παράδειγμα: $3 + 9 + 15X0.22 + 0.15 \frac{5}{10} \frac{16}{3.5}$ SSZS

5S: μήκος και κατεύθυνση του νήματος-κλώνου 3x0.22
10S: μήκος και κατεύθυνση του νήματος-κλώνου 9x0.22
16Z: μήκος και κατεύθυνση του νήματος-κλώνου 15z0.22
3.5S μήκος και κατεύθυνση του περιτυλίγματος. [7]

Τύποι προιόντος

Διάφοροι τύποι προϊόντων κορδονιού είναι διαθέσιμοι με βάση τις παραλλαγές στις διαδικασίες κατασκευής και περιστροφής.

Κανονικό κορδόνι: τυποποιημένη παραγωγή κορδονιού στην οποία η κατεύθυνση της τοποθέτησης των νημάτων είναι αντίθετη από την κατεύθυνση τοποθέτησης κατά το κλείσιμο του κορδονιού. Αυτό το προϊόν είναι εύκολο να παραχθεί, να είναι οικονομικά αποδοτικό και να υφίσταται καλή επεξεργασία στο εργοστάσιο ελαστικών.

Το κορδόνι ευθυγράμμισης (LL) : κορδόνι στο οποίο η κατεύθυνση τοποθέτησης των νημάτων είναι ίδια με την κατεύθυνση της τοποθέτησης του κορδονιού. Το κορδόνι υψηλής επιμήκυνσης (HE) είναι ένα κορδόνι στο οποίο τα νήματα συνδέονται χαλαρά και κινούνται μεταξύ τους. Αυτό του επιτρέπει να τεντωθεί ουσιαστικά και παρέχει χρήσιμη προστασία κοπής όταν χρησιμοποιείται στον επάνω ιμάντα των ακτινικών ελαστικών φορτηγών και αντοχή στην κρούση στη ζώνη διείσδυσης των χαλικιώνπετρωμάτων των ελαστικών.

Ανοιχτό κορδόνι (OC): Ένα κορδόνι στο οποίο οι ίνες συνδέονται χαλαρά και κινούνται μεταξύ τους. Αυτό επιτρέπει στο καουτσούκ να διεισδύσει μέσα στο κορδόνι για να μεγιστοποιηθεί η πρόσφυση στα νήματα και να αποφευχθεί η απορρόφηση υγρασίας κατά μήκος του κορδονιού, που θα μπορούσε να οδηγήσει σε διάβρωση του χάλυβα. Αυτό το κορδόνι είναι δύσκολο να επεξεργαστεί με τον τυπικό εξοπλισμό κυλινδρισμού, καθώς η υπερβολική τάση κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας μπορεί να κλείσει το κορδόνι με αποτέλεσμα το σχηματισμό κενών κατά μήκος του κορδονιού. Το ανοικτό

κορδόνι έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας για διάφορες τεχνικές παραγωγής και σχέδια κορδονιών.

<u>Τα συμπαγή κορδόνια (CC) – κορδόνια</u>: παράγονται σε μία ενιαία συμπαγή δέσμη στην οποία οι ίνες έχουν κυρίως γραμμική επαφή μεταξύ τους. Αυτή η κατασκευή είναι χρήσιμη σε εφαρμογές όπως για τα σκελετους των ακτινωτών ελαστικών βαρέως τύπου, όπου μπορεί να εμφανισθεί σοβαρή κόπωση τριβής στα σημεία διασταύρωσης σε ένα πρότυπο κορδόνι. [8]

Συρμα πλαινής αναδίπλωσης στη ζάντα του ελαστικού

Το χαλύβδινο σύρμα δε θεωρείται κορδόνι επειδή δεν κατασκευάζεται από στριμμένες ίνες. Όσον αφορά την ονοματολογία του χαλύβδινου κορδονιού, ένα πλαινο σύρμα αναδίπλωσης θα μπορούσε να θεωρείται μία ίνα. Τα πλαινά αναδίπλωσης των ελαστικών είναι κατασκευασμένα από απλά χαλύβδινα σύρματα μεγαλύτερης διαμέτρου.

Η προσκόλληση του χαλύβδινου κορδονιού

Για τη μέγιστη μακροχρόνια ανθεκτικότητα, το χαλύβδινο σύρμα που χρησιμοποιείται στα ακτινωτά ελαστικά, πρέπει να έχει υψηλό επίπεδο πρόσφυσης μεταξύ ελαστικού και ορείχαλκου και υψηλό βαθμό αντοχής στη διάβρωση που προκαλείται από το νερό που εισέρχεται στο ελαστικό εισχωρώντας στη ζώνη των κορδονιών. Η κακή απόδοση σε κάθε περιοχή μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της διάρκειας ζωής των ελαστικών. Έτσι, η πρόληψη της απώλειας πρόσφυσης-συγκόλησης σε ακτινικά ελαστικά με ατσάλινη ζώνη, είναι πρωταρχικής σημασίας.

1.4.7. ΥΛΙΚΑ ΕΝΟΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ

Πέρα από τις ορατές ενώσεις του πέλματος και του πλευρικού τοιχώματος, υπάρχουν περισσότερες από δώδεκα ειδικά διαμορφωμένες ενώσεις που χρησιμοποιούνται στο εσωτερικό του ελαστικού.

Τα πολυμερή (polymers) είναι η ραχοκοκαλιά των ενώσεων καουτσούκ. Αποτελούνται από φυσικό ή συνθετικό καουτσούκ.

Συμπληρωματικά (fillers): ενισχύουν τις ελαστικές ενώσεις. Το πιο συνηθισμένο υλικό πληρώσεως είναι η αιθάλη, αν και χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά, όπως το διοξείδιο του πυριτίου, για να δώσουν στις ενώσεις μοναδικές ιδιότητες.

Μαλακτικά (softeners) : Τα πετρελαϊκά έλαια, η πίσσα πεύκου, οι ρητίνες και κερί είναι όλα μαλακτικά που χρησιμοποιούνται σε ενώσεις κυρίως ως βοηθητικά μέσα επεξεργασίας για να βελτιώσουν την πρόσφυση ή την κολλητικότητα των μη βουλκανισμένων ενώσεων.

Αντιδιαβρωτικά (anditegradents) : Κεριά, αντιοξειδωτικά και αντιοζονικά προστίθενται σε ενώσεις καουτσούκ για να προστατεύσουν τη φθορά των ελαστικών από όζον, οξυγόνο και θερμότητα.

Βελτιωτικά-σκληρυντικά (curatives) : Κατά το βουλκανισμό ή τη σκλήρυνση οι αλυσίδες του πολυμερούς συνδέονται, μετατρέποντας τις ιξώδεις ενώσεις σε ισχυρά ελαστικά υλικά. Το θείο μαζί με τους επιταχυντές και τους ενεργοποιητές συμβάλλουν στην επίτευξη των επιθυμητών ιδιοτήτων.

Η ισορροπία των υλικών σχεδιασμού

Λαμβάνοντας υπ όψιν την πληθώρα των πολυμερών, ενισχυτικών προσκόλλησης, μαλακτικών, αντιδιαβρωτικών και σκληρυντικών μέσων, καθώς και ειδικών υλικών όπως χρωστικές ουσίες, η ποικιλία των διαθέσιμων ενώσεων φαίνεται ατελείωτη.

Ένα τυπικό ελαστικό αυτοκινήτου χρησιμοποιεί περίπου 60 πρώτες ύλες. Ωστόσο, η μίξη των υλικών για προσαρμογή μιας από τις ιδιότητες επηρεάζει συχνά τα όρια επιδόσεων. Το καλύτερο μίγμα πέλματος για έλξη και χειρισμό σε στεγνό δρόμο ενδέχεται να μην έχει καλή πρόσφυση / έλξη σε χιόνι, αντοχή σε θραύση / σχισίματα ή οικονομία καυσίμου. Έτσι, οι ενώσεις πρέπει να είναι «κατασκευασμένες» ή «ισορροπημένες» για να πληρούν τα κριτήρια απόδοσης τόσο για τον κατασκευαστή του οχήματος αρχικού εξοπλισμού όσο και για τον πελάτη μετά την αγορά. Επιπροσθετα της πολυπλοκότητας, η επιλεγείσα ένωση πρέπει να είναι ανταγωνιστική από άποψη κόστους και να μπορεί να μεταποιηθεί σε εργοστάσια παραγωγής.



Εικόνα 1.17 υλικά κατασκευής κορδονιών

Εικόνα 1.18 πλέγμα κορδονιών



Εικόνα 1.19 παραγωγή πλεγμάτων και νημάτων



Εικόνα 1.20 συνθεση νημάτων και ελαστικών



Εικόνα 1.21 Προετοιμασία χαλύβδινων πλεγμάτων



1.5 BIOMHXANIKA ΠΡΟΤΥΠΑ

Sizing/dimensions (Μεγέθη / διαστάσεις)

Οι κατασκευαστές ελαστικών συμμετέχουν οικειοθελώς σε μια οργάνωση γνωστή ως TRA, The Tire and Rim Association, Inc. Αυτή καθιερώνει και εκδίδει τεχνικά πρότυπα για ελαστικά, ζάντες και συναφή εξαρτήματα (σαμπρέλες, βαλβίδες κλπ.). Η συμμετοχή και η τήρηση αυτών των προτύπων, εξασφαλίζει την εναλλαξιμότητα των εξαρτημάτων μεταξύ διαφορετικών κατασκευαστών ελαστικών.

Η ονοματολογία διαστάσεων περιγράφεται ως εξής (βλ. Σχήμα 1.22). Για ένα ελαστικό **Ρ 145 / 70R12**, το "Ρ" δηλώνει ότι πρόκειται για ένα "επιβατικό" αυτοκίνητο ("Τ", προσωρινό, "LT", ελαφρύ φορτηγό). (Σημείωση:τα P,T,LT εφαρμόζονται συνήθως από την αμερικανική αγορά ελαστικών).

Το "145" είναι το ονομαστικό πλάτος διατομής του φουσκωμένου, μη φορτωμένου ελαστικού σε χιλιοστά. Το "70" είναι ο λόγος διαστάσεων ή "σειρά". Δίνει το ύψος της διατομής του ελαστικού ως ποσοστό % του πλάτους της διατομής. Τα ελαστικά με μικρότερο λόγο διαστάσεων, π.χ. ελαστικά 45, 50 και 55, χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές υψηλής απόδοσης, αλλά γίνονται πιο δημοφιλή σε συνδυασμό με μεγάλες διαμέτρους ζάντας για βελτιώσεις στυλ σε μεγαλύτερα οχήματα.

Το "R" προσδιορίζει την ακτινική κατασκευή ("D" για διαγώνια ελαστικά ή λοξά ελαστικά, "B" για κατασκευή με μετωπική κλίση). "12" είναι η διάμετρος της ζάντας σε ίντσες. Στις ΗΠΑ χρησιμοποιουνται και άλλα συστήματα χαρακτηρισμού του μεγέθους που δε θα αναφερθούν λόγω της επικράτησης της "P-metric διαστασιολόγισης".

Load capacity – (δυνατότητα φορτίου)

Οι πίνακες δείκτη φορτίου ελαστικών και η ικανότητα φόρτωσης έχουν καθοριστεί από την TRA. Σκοπός τους είναι να διατηρήσουν μια λογική βάση για την επιλογή του μεγέθους των ελαστικών, του φορτίου και του φουσκώματος. Αλλοι διεθνείς οργανισμοί είναι ο ETRTO (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Τεχνικών Ελαστικών & Ζαντών) και ο JATMA (Ιαπωνικός Σύνδεσμος Παραγωγής Ελαστικών Αυτοκινήτων).

Load intex and speed ratings- (Ταξινομήσεις δείκτη φορτίου και ταχύτητας)

Περιγραφή Λειτουργίας

Τα περισσότερα ελαστικά έχουν συνήθως μια περιγραφή λειτουργίας που προστίθεται ακολουθώντας το μέγεθος, π.χ. **P145 / 70R12 69 S**. Το "69" αναφέρεται σε δείκτη φορτίου που σχετίζεται με την ικανότητα φόρτωσης φορτίου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για λόγους εναλλαξιμότητας. Το "S" αναφέρεται στην σχετική ταχύτητα του ελαστικού, έναν κώδικα που ξεκίνησε στην Ευρώπη και υιοθετήθηκε από την TRA. Εικόνα 1.22: Ονοματολογία μεγέθους



Κανονισμοί κυβερνησης ΗΠΑ: DOT 109/110/139

Από το 1968, το Υπουργείο Μεταφορών της κυβέρνησης των ΗΠΑ (DOT) διέθετε κανονισμούς για τα ελαστικά επιβατών, συμπεριλαμβανομένων των δοκιμών και της κατηγοριοποίησης, DOT 109, καθώς και για την επιλογή των ελαστικών για τους κατασκευαστές οχημάτων, DOT 110.

Η DOT 109 καλύπτει εσωτερικές-εργαστηριακές δοκιμαστικές απαιτήσεις, καθώς και πρότυπα για την επισήμανση και τον αύξοντα αριθμό των ελαστικών. Οι εσωτερικές δοκιμές περιλαμβάνουν τη δοκιμή σε κυλίνδρους για υψηλή ταχύτητα και αντοχή καθώς και οδική ασφάλεια (έμβολο) και δοκιμές αναδίπλωσης-ανατροπής (εξαγωγής από τη ζάντα).

Ομοιόμορφη βαθμονόμιση ποιότητας ελαστικών (UTQG) εφαρμόστηκε και περιλαμβάνει φθορές πέλματος, κλίμακα έλξης και θερμοκρασίας που εφαρμόζονται σε όλα τα ελαστικά επιβατών, με εξαίρεση τα ελαστικά μεγάλης πρόσφυσης (δηλαδή χειμερινά/ χιόνι) και τα προσωρινά ανταλλακτικά (ρεζέρβες). Όλες οι διαβαθμίσεις καθορίζονται από τους κατασκευαστές ελαστικών και εμφανίζονται (χυτεύονται) στο πλευρικό τοίχωμα του ελαστικού, καθώς και σε ετικέτες ελαστικών σε καταστήματα λιανικής πώλησης.

Ο βαθμός φθοράς πέλματος βασίζεται σε πραγματικά αποτελέσματα δοκιμών φθοράς. Τα ελαστικά τρέχουν για περίπου 12000 km σε αυτοκινητόδρομο δοκιμής. Ο δε βαθμός φθοράς καθορίζεται συγκρίνοντας την ταχύτητα φθοράς του υποψήφιου ελαστικού με εκείνη ενός πρότυπου βιομηχανικού ελαστικού.

Ο βαθμός πρόσφυσης βασίζεται στα αποτελέσματα πέδησης ενός μπλοκαρισμένου τροχού σε βρεγμένα ασφάλτινα και υγρά σκυροδέματα, επίσης σε αυτοκινητόδρομο δοκιμής. Και πάλι, τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τα αποτελέσματα ελέγχου ενός πρότυπου βιομηχανικού ελαστικού.

Οι βαθμοί θερμοκρασίας βασίζονται στις δυνατότητες ταχύτητας από εσωτερικές δοκιμές σε κυλίνδρους παρόμοιες με εκείνες που περιγράφονται στις DOT 109 και 139. [1]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΚΑΟΥΤΣΟΥΚ

2.1. ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΙΞΩΔΟΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

2.1.1 ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΕΣ ΚΑΙ ΥΑΛΩΔΕΙΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΟΥΤΣΟΥΚ

Τα ελαστικά υλικά αποτελούνται από πολυμερή μόρια τύπου μακριάς αλυσίδας. Το αρχικό ελαστομερές υλικό (ακατέργαστο καουτσούκ) είναι βασικά ένα υγρό υψηλού ιξώδους και παρουσιάζει ελαστικότητα επειδή τα μακρομόρια με το να είναι εμπλεγμένα και αλληλένδετα συγκρατούνται μεταξύ τους, τουλάχιστον προσωρινά,. Η βασική αντίδραση στην επεξεργασία καουτσούκ είναι η ένωση μεγάλων μορίων με μερικούς χημικούς δεσμούς σε εγκάρσιες συνδέσεις για να σχηματίσουν ένα χαλαρό τρισδιάστατο μόνιμο μοριακό δίκτυο. Κατόπιν αυτό το σχήμα σταθεροποιείται και το υλικό μετασχηματίζεται από υγρό υψηλού ιξώδους σε ελαστικό στερεό.

Αυτή η αντίδραση συνδέσεως ονομάζεται συχνά "σκλήρυνση", επειδή το υλικό δεν είναι πλέον ένα παχύρευστο κολλώδες υγρό ή "βουλκανισμός" επειδή συνήθως εκτελείται με αντιδραστήρια που εισάγουν διασυνδέσεις θείου μεταξύ των μορίων.



Η καμπύλη σκλήρυνσης για μια αντιπροσωπευτική πρακτική ένωση καουτσούκ (ένωση C στον πίνακα 2.1), φαίνεται στην εικόνα 2.2. Ένα μίγμα ελαστομερούς, με πληρωτικά σκληρυντικά και προστατευτικά παράγωγα τοποθετείται σε ένα καλούπι ροομέτρου ταλάντωσης (ODR) /(MDR). Σε αυτό το θάλαμο δοκιμής το λεπτό στρώμα του ελαστικού τοποθετείται μεταξύ ενός θερμαινόμενου σταθερού τοιχώματος και μιάς άκαμπτης κυλινδρικής μήτρας. Η μήτρα εκτελεί περιστροφικές ταλαντώσεις μικρού πλάτους και χαμηλής συχνότητας, υποβάλλοντας το στρώμα από καουτσούκ σε ταλαντούμενη καταπόνηση διάτμησης. Καθώς οι ενώσεις καουτσούκ γίνονται όλο και περισσότερο διασταυρωμένες , μεταβάλλονται από ένα ιξώδες υγρό σε ένα ελαστικό στερεό. Η ροπή που απαιτείται για τη διατήρηση της κίνησης καταγράφεται συνεχώς και έτσι αυτό το πλάτος της αυξανόμενης ροπής αντανακλά την αύξηση της στρεπτικής ακαμψίας του δείγματος. Ένα πρακτικό μέτρο του χρόνου μιας χαρακτηριστικής σκλήρυνσης είναι ο χρόνος κατά τον οποίο η ροπή στρέψεως φτάνει το 90% της μέγιστης τιμής του και σημειώνεται ως t₉₀.

Εικόνα 2.2: Καμπύλη σκλήρηνσης για την ένωση C στους 160 ° C



Στο παράδειγμα του παρακάτω πίνακα που αφορά την ελαστικότητα για ένα μείγμα καουτσούκ με πληρωτικά υλικά βουλκανισμού, το t₉₀ είναι περίπου 10΄ στους 160 ° C. Προτού αναφερθούμε στη συμπεριφορά των ενώσεων με μίγματα (βλ. Πίνακα 2.1) που περιέχουν μεγάλες ποσότητες σωματιδίων (υλικό πλήρωσης), πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν μας ότι η παρουσία πληρωτικού μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τον ρυθμό της σκληρυνσης επιδρώντας την διασταύρωση των χημικών ενώσεων. Για παράδειγμα, ο μαύρος άνθρακας τείνει να αυξάνει τον ρυθμό σκλήρυνσης κατά ένα συντελεστή έως 3 και μειώνει αντίστοιχα το t₉₀.

	А	В	Γ	
	Πέλμα	Πλευρικό	Εξαρτήματα	
	επιβατικού	τοίχωμα	χαλύβδινη ς	
	ελαστικού		ζωνής	
Ελαστομερή				
Φυσικό καουτσούκ - 50 100	-	50	100	
Στυρένιο-βουταδιένιο- συμπολυμερές	75			
(25/75)				
Cis-πολυβουταδιένιο	25	50		
<u>Συμπληρώματα</u>				
Λεπτή αιθάλη (π.χ. Ν220)	75			
Μέση αιθάλη (π.χ. Ν330)			60	
Μαύρος άνθρακας (π.χ. Ν660)		50		
<u>Παράγοντες βουλκανισμού</u>				
Οξείδιο ψευδαργύρου	3	3	10	
Στεατικό οξύ	3	1	1,2	
Θείο	1,55	2	5,5	
Επιταχυντής βουλκανισμού (τύπου	1,9	1	0,5	
σουλφαναμιδίου				
Δευτερεύον επιταχυντή (γουανιδίνη)	0,25			
Επεξεργασία βοήθειας				
Λάδι επεξεργασίας	10	10		
Προστατευτικά πρόσθετα				
Αντιοξειδωτικό / αντιζυγωτικό	1,5	3,5	1	
<u>Ρητίνη και ενισχυτής πρόσφυσης</u>				
Στοιχεία ρητίνης			8	
Προώθηση προσκόλλησης (π.χ. ναφθενικό			2	
κοβάλτιο)				
Βουλκανίζεται για 10-15 λεπτά σε καλούπι				
ελαστικών σε θερμοκρασία 170-175 ° C	ελαστικών σε θερμοκρασία 170-175 ° C			

Πίνακας 2.1: Μερικά αντιπροσωπευτικά μείγματα ελαστικών (οι ποσότητες δίνονται σε μέρη βάρους ανά 100 μέρη ελαστομερούς).

Τα μοριακά τμήματα του ακατέργαστου καουτσούκ και οι μοριακοί κλώνοι μεταξύ των εγκάρσιων συνδέσεων στο σκληρυμένο καουτσούκ σε κανονικές θερμοκρασίες είναι σε ταχεία θερμική κίνηση. Στην παραμόρφωση του μοριακού δικτύου, οι κλώνοι παίρνουν νέες ενδιάμεσες θέσεις που είναι λιγότερο πιθανές από τις αρχικές τους. Οι αλλαγές στους ενεργειακούς δεσμούς ή οι ενέργειες διαμόρφωσης είναι σχετικά μικρές - μόνο η εντροπία του δικτύου μειώνεται. Έτσι, το καουτσούκ σαν ένα εντροπικό ελατήριο - επιστρέφει στην αδιαμόρφωτη κατάσταση μόνο επειδή αυτό είναι το πιο πιθανό.

Εικόνα 2.3 παραμόρφωση ελαστικών – μοριακες αλυσίδες



Όμως, η ακαμψία του ελαστικού αυξάνεται με τη θερμοκρασία Τ επειδή η συνεισφορά ΔS της εντροπίας στην ελεύθερη ενέργεια παραμόρφωσης δίνεται από το : - ΤΔS. Αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα του καουτσούκ είναι αντίθετο με τη συμπεριφορά των ελαστικών κρυσταλλικών υλικών, όπως τα μέταλλα, όπου η ακαμψία μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, όπου στα παραμορφωμένα μέταλλα, τα άτομα εξαναγκάζονται από μια κανονική κατάσταση σε μια πιο τυχαία διάταξη, με χαμηλότερους ενεργιακούς δεσμούς και υψηλότερη εντροπία.

Ένας κατά προσέγγιση στατιστικός υπολογισμός που δίνει το μέτρο ελαστικότητας εφελκυσμού Ε (συντελεστής Young) για ένα χωρίς πληρωτικά βουλκανισμένο καουτσούκ υπό μικρές εφελκυστικές καταστάσεις είναι

E = 3 N k T

(2.1)

όπου Ν είναι ο αριθμός των μοριακών κλώνων που αποτελούν το δίκτυο, k είναι η σταθερά Boltzmann και Τ είναι η απόλυτη θερμοκρασία.

Μετρήσεις τάσης - παραμόρφωσης

Σχέση τάσης-παραμόρφωσης τριών τύπων πλαστικών.

Πηγή: R. L. E. Brown.



Η τιμή για το N είναι περίπου 1.5x1026 / m³. Οπότε η τιμή του Ε είναι περίπου 2 MPa, δηλ., περίπου τέσσερις τάξεις μεγέθους μικρότερη από ότι για τα μέταλλα, γεγονός που αντανακλά την ευκολία με την οποία μπορούν να αναδιαμορφωθούν τα σχήματα των μακρών εύκαμπτων μορίων.

Ένα άλλο σημαντικό φυσικό χαρακτηριστικό ενός ελαστικού στερεού είναι το μέσο μήκος των μοριακών κλώνων που περιλαμβάνει το δίκτυο, που γενικά δηλώνεται από το μοριακό βάρος Mc. Τα πρωτότυπα μόρια έχουν μοριακά βάρη εύρους από 100.000 έως 500.000, γιατί υλικά πολύ μεγαλύτερου μοριακού βάρους από αυτό είναι δύσκολο να εξωθηθούν και να διαμορφωθούν. Μετά την διασταύρωση, το μοριακό βάρος Mc των κλώνων του δικτύου κυμαίνεται από περίπου 5.000 έως 20.000 μονάδες μοριακού βάρους. Αν και ο αριθμός αυτός μπορεί, κατ 'αρχήν, να ποικίλει με την εισαγωγή περισσότερων ή λιγότερων εγκάρσιων δεσμών, στην πράξη, εάν το Mc είναι μικρό τότε το υλικό είναι άκαμπτο και εύθραυστο και αν το Mc είναι μεγάλο μερικά από τα αρχικά μακρά μόρια δεν συνδέονται εντελώς στο δίκτυο, και συμβάλλουν ελάχιστα ή καθόλου στην ακαμψία και τη δύναμη. Το πρακτικό εύρος των διασταυρούμενων σύνδεσεων και επομένως του μέτρου ελαστικότητας Ε είναι από περίπου 1 MPa έως περίπου 3 MPa, δηλ έχουν ένα εύρος μεγαλύτερο από το οποιοδήποτε άλλο δομικό στερεό. Με την προσθήκη πληρωτικών σωματιδίων, το μέτρο Ε μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο χωρίς σημαντική απώλεια αντοχής, (οπλισμός) κέρδος σε δύναμη.

Αλλά γιατί είναι σχετικά λίγα τα πολυμερή ελαστικά;

Υπάρχουν δύο βασικοί λόγοι για τους οποίους ένα πολυμερές στερεό ενδέχεται να μην παρουσιάζει ελαστική συμπεριφορά.

 Όταν τα μακρά μόρια είναι πολύ τακτικά και μπορούν να συσσωρεύονται, τείνουν να οργανώνονται με τέτοιο τρόπο κάτω από τις αδύναμες ελκυστικές δυνάμεις van der Waals που υπάρχουν σε όλα τα υλικά – με αποτέλεσμα αυτά να πάρουν κρυσταλλική δομή. Για παράδειγμα το εμπορικό πλαστικό - πολυαιθυλένιο - είναι έως 60% κρυσταλλικό σε θερμοκρασία δωματίου και παρουσιάζει μικρή ελαστικότητα και συμπεριφέρεται ως ένα τυπικό κρυσταλλικό στερεό. Ετσι αρχικά είναι σχετικά άκαμπτο, όταν όμως το υλικό παραμορφωθεί κατά μερικά εκατοστά, οι κρυσταλλίτες αρχίζουν να αποχωρούν και η παραμόρφωση γίνεται τότε όλκιμη και πλαστική, αντί για ελαστική.

2. Ο άλλος λόγος για τον οποίο τα πολυμερή υλικά μπορεί να αποτύχουν να δείξουν ελαστική συμπεριφορά είναι διότι τα επαναλαμβανόμενα μόρια είναι σχετικά βαριά και ογκώδη, έτσι η θερμική ενέργεια σε κανονικές θερμοκρασίες δεν φτάνει για να κινηθούν ελεύθερα τα μοριακά τμήματα. Τα πολυμερή σε αυτή την κατάσταση ονομάζονται υαλώδη στερεά. Τυπικά παραδείγματα είναι το πολυστυρένιο και το πολυμεθυλομεθακρυλικό που είναι γυάλινα σε θερμοκρασίες κάτω από τους 100 ° C περίπου.

Γενικότερα με την αύξηση της θερμοκρασίας, οι κρύσταλλοι τήκονται και τα ακίνητα μόρια αποκτούν περισσότερη ενέργεια, έτσι ώστε τόσο τα κρυσταλλικά όσο και τα υαλώδη πολυμερή να καθίστανται ελαστικά σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, για παράδειγμα πάνω από 150°C για πολυαιθυλένιο και άνω των 100°C για πολυστυρόλιο και πολυμεθυλομεθακρυλικό εστέρα.

Πρέπει όμως να λάβουμε υπ όψιν μας ότι όλα τα πολυμερή ελαστικά μετατρέπονται σε υαλώδη στερεά σε μια χαρακτηριστικά χαμηλή θερμοκρασία, ακόμη και αν δεν κρυσταλλώνονται αυτόματα καθώς ψύχονται. Η θερμοκρασία μετάβασης (θερμοκρασία γυαλιού, Tg) είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά ενός πολυμερούς και, όπως θα δούμε αργότερα, ελέγχει τη μηχανική του συμπεριφορά σε θερμοκρασίες πολύ διαφορετικές από την θερμοκρασία γυαλιού. Τιμές Tg για ορισμένα πολυμερή ελαστικά δίνονται στον Πίνακα 2.2. [9]

Ελαστομερές	Tg	
Πολυδιμεθυλοσιλοξάνιο (ελαστικό σιλικόνης)		
Cis-1,4-πολυβουταδιένιο		
Cis-1,4 πολυισοπρένιο (φυσικό ελαστικό)		
Πολυ (ισοβουτυλένιο-συν-ισοπρένιο) (βουτυλικό ελαστικό)		
Πολυ (στυρόλιο- συν-βουταδιένιο) 25/75 EPR)		
Πολύ (αιθυλένιο-συν- 56/44 ERP)	-55	
Συν συν 5% συμπολυμερές διενίου, (EPDM)		
Πολυχλωροπρένιο (Νεοπρένιο)		
Πολυ (βουτυδιένιο-συν-ακρυλονιτρίλιο) 85/15 έως 65/35		
(ελαστικό νιτριλίου)		
Πολυ (στυρόλιο-συν-βουταδιένιο) 50/50 (SBR υψηλού στυρενίου)		

Πίνακας 2.2: Θερμοκρασίες γυαλιού Tg (°C) για μερικά κοινά ελαστομερή.

2.1.2 ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

Το ελαστικό μέτρο μιας ελαστικής ένωσης χαρακτηρίζεται συχνά από την αντίσταση του υλικού στην ακμή μιας αμβλείας εγκοπής . Η ποσότητα της εσοχής που δημιουργείται καταγράφεται σε μη γραμμική κλίμακα, από 0 έως 100, διεθνής βαθμός σκληρότητας καουτσούκ (IRHD), που αντιστοιχεί σε τιμές μέτρου Ε που κυμαίνονται από μηδέν έως άπειρο. Οι τιμές των IRHD και Ε που καλύπτουν το πρακτικό εύρος του συντελεστή ελαστικού δίδονται στον Πίνακα 2.3.

IRHD	E(MPa)
30	1
35	1.2
40	1.5
45	1.9
50	2.3
55	2.9
60	3.6
65	4.5
70	5.5
75	7.8
80	9.5
85	15

Πίνακας 2.3: Σχέση μεταξύ διεθνών βαθμών σκληρότητας καουτσούκ (IRHD) και μέτρου ελαστικότητας (Young)

Εκτός αυτού του εύρους, τα υλικά είναι είτε εξαιρετικά μαλακά και αδύνατα, είτε σκληρά και σχετικά δύσκαμπτα. Το ελαστικό συχνά μπορεί να αντιμετωπιστεί ως σχεδόν ασυμπίεστος ογκος και το μέτρο συμπίεσης του όγκου είναι αρκετά υψηλό, (περίπου 2 GPa), συγκρίσιμο με εκείνο των υγρών όπως το νερό, και πολύ υψηλότερο από το μέτρο εφελκυσμού Ε, (περίπου 2 έως 5 MPa). Συνεπώς, ο ελαστικός συντελεστής διάτμησης G είναι περίπου ίσο με το Ε / 3, και ο λόγος Poisson είναι κοντά στο μισό, περίπου 0,499. [10] [Ορισμοί των διαφόρων ελαστικών συντελεστών παρουσιάζονται στην εικόνα 2.4.]

Εικόνα 2.4: Ελαστικοί συντελεστές (moduli) για μικρά στελέχη



Πρέπει να λάβουμε υπ΄όψιν μας ότι όταν ένα συμπαγές ελαστικό μπλοκ συμπιέζεται περιμετρικά, ο όγκος του δεν μειώνεται σημαντικά εκτός αν οι πιέσεις είναι εξαιρετικά υψηλές. Λόγω του περιορισμού της πλευρικής επέκτασης, το **αποτελεσματικό μέτρο** συμπίεσης **E**_e μπορεί να είναι αρκετά υψηλό. Αν όμως, το μπλοκ συμπιέζεται κατακόρυφα και επεκτείνεται πλευρικά - ο όγκος παραμένει ουσιαστικά αμετάβλητος. Η συμπίεση ενός μπλοκ που συνδέεται μεταξύ δύο πλακών φαίνεται στην εικόνα 2.5.

Εικόνα 2.5: Συμπίεση ενός συνδεδεμένου μπλοκ καουτσούκ



 $Effective \ compression \ modulus \ E_e \ vs \ ratio \ of \ radius \ a \ to \ thickness \ h \ for \ a \ bonded \ rubber \ block. \ Curves \ given \ for \ different \ values \ of \ Poisson's \ ratio.$

Τα μόρια του ελαστικού κινούνται ελεύθερα επειδή οι διαμοριακές δυνάμεις είναι χαμηλές. Η αύξηση του όγκου κατά τη θέρμανση είναι αντίστοιχα υψηλή, παρόμοια με αυτή των απλών υγρών. Ο γραμμικός συντελεστής θερμικής διαστολής α για τις καθαρές ενώσεις καουτσούκ κυμαίνεται από περίπου 1,5 έως 2 x 10-4 /° C. Λόγω των χαμηλών συντελεστών θερμικής διαστολής των σωματιδίων πλήρωσης, οι τιμές α για ενισχυμένες ενώσεις είναι χαμηλότερες, 1,2 έως 1,5 x 10-4 /° C, αλλά πολύ υψηλότερες (περίπου 50 φορές μεγαλύτερες) από ό, τι για τα μέταλλα. Έτσι, όταν μια κατασκευή από καουτσούκ αφαιρείται από το μεταλλικό καλούπι στο οποίο έχει διαμορφωθεί και τα μόρια του έχουν συνδεθεί εγκάρσια σε υψηλή θερμοκρασία (τυπικά περίπου 160 ° C) όταν στη συνέχεια θα αφεθεί να ψυχθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, θα συρρικνωθεί γραμμικά σε διαστάσεις κατά περίπου 2%. [9]

Εικόνα 2.6 καλούπι ελαστικού



2.1.3 ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΜΕΓΑΛΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ

Επειδή το ελαστικό είναι εξαιρετικά εκτάσιμο, η θεωρία ελαστικότητας μικρής τάσης με τη χρήση των μέτρων Ε και G είναι ανεπαρκής για να περιγράψει την απόκριση σε

μεγάλες καταπονήσεις. Αντ 'αυτού, χρησιμοποιούμε τη μηχανική ενέργεια W που αποθηκεύεται στον όγκο της μονάδας από μια παραμόρφωση. Μια απλή σχέση για το W για ένα αρχικά ισότροπο, μη συμπιεστό ελαστικό στερεό είναι: $W = (E / 6) J_1$ (2.2) όπου J_1 περιγράφει την παραμόρφωση από την άποψη των σχέσεων έκτασης λ_1 , λ_2 , λ_3 στις κύριες κατευθύνσεις, εικόνα 2.7:





 $J_1 = (\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 - 3)$

(2.3)

(Σημ: $\lambda_1 = 1 + e_1 \kappa \lambda \pi$., όπου e_1 είναι η παραμόρφωση προς την κατεύθυνση 1). Επειδή το ελαστικό είναι ουσιαστικά ασυμπίεστο, το γινόμενο $\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 = 1$. Η εξίσωση 2.2 ονομάζεται συστατικός νόμος του νεο-Hookean επειδή μειώνει την Hookean (γραμμική) ελαστικότητα στην εικόνα 2.4, (την περιορίζει σε περιπτώσεις μικρών παραμορφώσεων) και δίνει εύλογα ακριβείς προβλέψεις σε σχετικά μεγάλες παραμορφώσεις.[10]

Απλουστεύοντας με την υπόθεση ότι οι παραμορφώσεις δεν συνοδεύονται από καμία αλλαγή στον όγκο, οι σχέσεις τάσης-παραμόρφωσης μπορούν να εξαχθουν από την W θεωρώντας ότι μια υποθετική αλλαγή επέκτασης δλ₁ προκαλεί μια αντίστοιχη αλλαγή δW σε W (εικόνα 2.8).

Εικόνα 2.8: Σχέσεις μεταξύ ενέργειας παραμόρφωσης W και τάσεων t

$$f_{i} \leftarrow \lambda_{2} \lambda_{3}$$

$$f_{i} = t_{i} \lambda_{2} \lambda_{3} = t_{i} / \lambda_{i}$$

$$\frac{dW = f_{i} d\lambda_{i}, etc.}{dW = f_{i} d\lambda_{i}, etc.}$$

$$\vdots \quad t_{i} = \lambda_{i} (\partial W / \partial \lambda_{i}) + p$$

$$t_{2} = \lambda_{2} (\partial W / \partial \lambda_{2}) + p$$

$$t_{3} = \lambda_{3} (\partial W / \partial \lambda_{3}) + p$$

$$\delta W = (\lambda_{2} \lambda_{3}) t_{1} \delta \lambda_{1}$$
(2.4)

Eπομένως, $\mathbf{t}_1 = \lambda_1 \left(\mathbf{dW} / \mathbf{d\lambda}_1 \right) + \mathbf{P}$ (2.5)

Όπου P είναι μια απροσδιόριστη πίεση που πρέπει να συμπεριληφθεί για ασυμπίεστα υλικά. Η κατάλληλη τιμή προσδιορισμού του P καθορίζεται με την καθιέρωση μιας βάσης καταπονήσεων σε οποιαδήποτε συγκεκριμένη περίπτωση.

Η τάση t₁ είναι η δύναμη που δρα στην κατεύθυνση 1 στη διατομή μιας περιοχής, όπου η περιοχή μετριέται σε παραμορφωμένη κατάσταση. Δυστυχώς, έχει γίνει κοινή πρακτική στη βιομηχανία ελαστικών να χρησιμοποιεί τη λέξη τάση για να δηλώσει τη δύναμη σ που επενεργεί σε διατομή μιας μη παραμορφωμένης περιοχής επειδή αυτή είναι μια πιο εύκολα μετρήσιμη ποσότητα. Για να γίνει διάκριση μεταξύ των δύο χρήσεων, το σ μερικές φορές ονομάζεται μηχανικό στρες. Για ένα ασυμπίεστο υλικό, όπως και τα περισσότερα ελαστικά στερεά, η επιβολή ενός λόγου τάνυσης λ οδηγεί σε συστολή της διατομής με συντελεστή 1/λ και έτσι υπάρχει μια απλή σχέση μεταξύ των δύο μέτρων τάσης (βλ. Εικόνα 2.8)

 $\sigma = t/\lambda$

(2.6)

Στην τεχνολογία ελαστικών, ο όρος "modulus " χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει τη δύναμη εφελκυσμού ανά μονάδα μη παραμορφωμένης περιοχής εγκάρσιας διατομής σε καθορισμένη τάση εφελκυσμού. Για παράδειγμα, το M100 δηλώνει την **τάση σ** όταν e = 100%. Οι τιμές των M100, M200, M300 κ.λπ. που αναφέρονται συχνά επίσης - δίνουν μια ένδειξη του σχήματος της καμπύλης τάσης-επιμήκηνσης, βλ. Εικόνα 2.9.



Εικόνα 2.9: Πειραματική σχέση μεταξύ τάσης εφελκυσμού και επιμήκυνσης %

Η σχέση τάσης-παραμόρφωσης σε απλή διαστολή λαμβάνεται από την Εξίσωση 2.5 ως: t = (E / 3) (λ_1^2 - 1/ λ_1) (2.7)

Αυτό είναι το ισοδύναμο μεγάλης παραμόρφωσης του αποτελέσματος: t = Ee, εφαρμόσιμο σε μικρές παραμορφώσεις. Οι πειραματικές σχέσεις τασης-παραμόρφωσης για ενώσεις μαλακού καουτσούκ ακολουθούν την εξίσωση 2.7 έως τις μέτρια μεγάλες προεκτάσεις, περίπου 300%.



Οι σχέσεις τάσης-παραμόρφωσης για το ελαστικό είναι συνήθως μη γραμμικές, εικόνα 2,9-2,10. Η εξίσωση 2.7, για παράδειγμα, προβλέπει ότι η σχέση εφελκυστικής τάσηςπαραμόφωσης, μετά την αναμενόμενη γραμμική περιοχή σε μικρές τάσεις, θα είναι κοίλη σε σχέση με τον άξονα παραμόρφωσης. Σε υψηλότερες τάσεις εμφανίζεται έντονη δυσκαμψία καθώς οι μοριακοί κλώνοι πλησιάζουν την πλήρως τεντωμένη κατάσταση, σχήμα 2.10. Όμως αυτή η μη-γραμμικότητα δεν σημαίνει εσωτερική υποχώρηση ή θραύση. Αντίθετα από την εξέταση της ελαστικής συμπεριφοράς ενός δικτύου μακρών μοριακών αλυσίδων προκύπτει ότι καθένα από αυτά, είναι γραμμικά ελαστικό σε ένα ευρύ φάσμα επιμήκυνσης, αλλά επειδή είναι τυχαία τοποθετημένο στο χώρο, το συνδυαστικό τους αποτέλεσμα είναι συνήθως μη γραμμικό.

Υπάρχει δηλαδή μια μεγάλη εξαίρεση από τον γενικό μη γραμμικό χαρακτήρα της ελαστικότητας του ελαστικού. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση 2.5, η υπολογιζόμενη σχέση τάσης-παραμόφωσης σε απλή διάτμηση είναι γραμμική και οι ενώσεις καουτσούκ ευρίσκονται περίπου γραμμικές σε διατμητική έως μέτρια μεγάλη τάση, 100% ή περισσότερο, με κλίση (συντελεστής ελαστικότητας διάτμησης G) G = E / 3.

Έχουν προταθεί πολλοί σύνθετοι νόμοι για να μοντελοποιηθεί η ελαστική συμπεριφορά του καουτσούκ με μεγαλύτερη ακρίβεια από την απλή μορφή neo-Hookean για το W που δίνεται στην Εξίσωση 2.2, για παράδειγμα λαμβάνοντας υπόψη την δυσκαμψία που παρατηρείται στις υψηλές τάσεις, εικόνες 2.7 και 2.10. Αυτή η δυνατότητα δεν προβλέπεται από την Εξίσωση 2.2. Μπορεί να διαμορφωθεί με την εισαγωγή μιας μέγιστης πιθανής τιμής **Jm** για τον όρο παραμόρφωσης J1. Έτσι μια τροποποιημένη εκδοχή της Εξίσωσης 2.2 είναι η λογαριθμική μορφή:

 $W = -(EJm / 6) \ln (1 - J_1 / J_m)$

(2.8)

όπου η εξίσωση 2.2 δίνει μικρές τιμές όταν οι παραμορφώσεις είναι μικρές σε σύγκριση με το Jm,αλλά δίνει αυξητικά μεγάλες τιμές για το W όταν η παραμόρφωση πλησιάζει τη μέγιστη δυνατή τιμή του Jm.

Ωστόσο, οι ενώσεις καουτσούκ που χρησιμοποιούνται σήμερα στα ελαστικά είναι αρκετά ανελαστικές, όπως περιγράφεται παρακάτω, και η προσπάθεια να περιγραφούν οι ελαστικές τους ιδιότητες με μεγάλη ακρίβεια είναι πιθανώς χωρίς λόγο. Ειδικά όταν εξ αιτίας της πολυπλοκότητας που προκύπτει πρέπει να γίνουν συμβιβασμοί για την ικανοποίηση μεγάλων αλλά συχνά αντικρουόμενων απαιτήσεων: ακαμψία, αντοχή, ανθεκτικότητα, καλή πρόσφυση, αντίσταση στη φθορά, σκληρότητα κλπ.[9] [10]

2.1.4 ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΚΑΟΥΤΣΟΥΚ (ΥΠΟ ΠΛΗΡΩΣΗ)

Συνηθίζεται η ενσωμάτωση πληρωτικά στερεών σωματιδίων κατά 30% ή περισσότερο κατά βάρος, όπως η αιθάλη ή πυριτική σκόνη, σε ενώσεις για όλα τα συστατικά των ελαστικών, τα πέλματα, τα πλευρικά τοιχώματα κλπ. Αυτές οι ενώσεις είναι σημαντικά πιο δύσκαμπτες, με συντελεστή 3 ή περισσότερο, από την αντίστοιχη μη σύνθετη ένωση και είναι ισχυρότερες και πολύ πιο ανθεκτικές στην τριβή. Αλλά οι πολύ σύνθετες ενώσεις καουτσούκ είναι σημαντικά ανελαστικές, με τον παρακάτω χαρακτηριστικό τρόπο. Μαλακώνουν με την επιμηκυνση όλο και περισσότερο, όσο μεγαλύτερη είναι η προένταση, όπως φαίνεται σχηματικά στην εικόνα 2.11. Έτσι η αρχική σχέση τάσης-παραμόρφωσης δεν αναπαράγεται εκτός αν το δείγμα αφεθεί να επανέλθει με ανάπαυση για μερικούς μήνες ή ανόπτηση με θέρμανση για περίπου μία ώρα σε θερμοκρασίες 100°C ή και ψηλότερες.



Εικόνα 2.11: Τάση-μαλάκυνση του γεμισμένου-σύνθετου καουτσούκ (Effect Mullins)

Αυτή η μεγάλη επίδραση της τάσης στη συμπεριφορά τάσης-παραμόρφωσης ονομάζεται φαινόμενο "Mullins". Φαίνεται ότι οφείλεται στην ολίσθηση των μορίων του καουτσούκ πάνω από τα όρια ενέργειας στην επιφάνεια των σωματιδίων του πληρωτικού υλικού ή στην αποκόλυση από την επιφάνεια πλήρωσης. Αυτό καθιστά εξαιρετικά δύσκολη τη μοντελοποίηση του υπολογισμού της συμπεριφοράς τάσης-παραμόρφωσης των ενώσεων του πέλματος.

Για παράδειγμα, γνωρίζουμε πολύ λίγα για την επίδραση των προ-εντάσεων ή των σύνθετων παραμορφώσεων, όπως επίσης για τον ρυθμό ανάκαμψης από την προηγούμενη καταπόνηση.

Παρόμοια όμως επίδραση παρατηρείται όταν επιβάλλονται μικρές παραμορφώσεις για παράδειγμα, από 0,1% έως 10%. Τέτοιες μετρήσεις διεξάγονται συνήθως δυναμικά, επιβάλλοντας μια μικρή ταλαντωτική τάση εφελκυσμού ή διατμήσεως σε μία βολική συχνότητα σε κλίμακα από 0,1 έως 100 HZ και καταγράφοντας τα αποτελέσματα με την μορφή του μέτρου αποτελεσματικού δυναμικού Ε΄ ή G', λόγος μέγιστης τάσης στην μέγιστη παραμόρφωση. Οι τιμές Ε' ή G' βρέθηκε να μειώνονται σε αυτό το εύρος δυναμικού πλάτους, συχνά στο 1/3 ή λιγότερο της αρχικής τιμής, εικόνα 2.12. Και πάλι, αν και η μερική ανάκτηση γίνεται σχεδόν αμέσως μετά την επιστροφή σε μικρά πλάτη παραμόρφωσης κατά 30% έως 50%, η πλήρης ανάκτηση απαιτεί μήνες ανάπαυσης εκτός αν το δείγμα θερμανθεί για να επιταχύνει την ανάκτηση.

Αυτό το φαινόμενο της μικρής-τασης μαλάκωσης ονομάζεται συχνά φαινόμενο Payne. Φαίνεται ότι οφείλεται στην διάσπαση των συσσωματωμάτων της αλυσίδας ή των

σωματίδιων πλήρωσης εντός της ελαστικής μήτρας. Επειδή το αποτέλεσμα είναι τόσο μεγάλο, οι πολύ γεμάτες ενώσεις σπάνια χρησιμοποιούνται σαν ελαστικά ελατήρια επειδή το σχετικό "μέτρο" για υπολογισμούς της συχνότητας ελατηρίου και της συχνότητας συντονισμού δεν είναι καλά καθορισμένο. Και πάλι, είναι δύσκολο να ληφθεί υπόψη το φαινόμενο "Payne" στη μοντελοποίηση της απόκρισης τάσης-παραμόρφωσης στα ελαστικά με συστατικά για τα πέλματα και τα πλευρικά τοιχώματα τους.



Εικόνα 2.12: Τάση -μαλάκωμα του γεμισμένου καουτσούκ σε μικρές πιέσεις (Effect Payne)

Συνοψίζοντας οι τυπικές γεμιστικές ενώσεις του καουτσούκ παρουσιάζουν δύο αρνητικά χαρακτηριστικά: α. το φαινόμενο ''Payne'', ένα αξιοσημείωτο μαλάκωμα που ξεκινά με εύρη έντασης μόνο 0,1% ή λιγότερο, που αποδίδεται στην διάσπαση αδύναμων δεσμών μεταξύ των σωματιδίων και β. του μαλακώματος "Mullins" ένα επιπλέον μαλάκωμα σε υψηλότερες καταπονήσεις, μέχρι την τάση θραύσης, που αποδίδεται στην προοδευτική ρήξη των δεσμών μεταξύ των μορίων καουτσούκ και σωματιδίων πλήρωσης. Επειδή αυτές οι δύο διαδικασίες επικαλύπτονται σε σημαντικό βαθμό, δεν μπορούν να διαχωριστούν εύκολα αλλά, φαίνεται να είναι άμεση συνέπεια της υψηλής ακαμψίας των πληρωτικών μικρού μεγέθους σωματιδίων και των εξαιρετικά διαδραστικών επιφανειών όταν ενσωματώνονται στο ελαστικό.

Συμπερασματικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι, οι γεμισμένες ελαστικές ενώσεις δεν είναι ελαστικές, δηλαδή δεν ακολουθούν την αναστρέψιμη σχέση τάση - παραμόρφωση και δεν μπορούν να περιγραφούν με επιτυχία από οποιοδήποτε ελαστικό νόμο που σχετίζεται με τις τασεις-παραμορφώσεις. Έτσι ο σχεδιαστής ελαστικών πρέπει να δέχεται αρκετά αντιπροσωπευτικές παραστάσεις των ελαστικών ιδιοτήτων των σημερινών ελαστικών ενώσεων, γνωρίζοντας ότι υπόκεινται σε σύνθετες παραμορφώσεις. Γενικά οι παραμορφώσεις έχουν μεγάλες και δυστυχώς ασαφείς επιδράσεις από τις αντίστοιχες τάσεις. [9]

2.1.5 VISCO -ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

Με επαναλαμβανόμενες ταλαντώσεις διατμητικής παραμόρφωσης, η σχέση τάσηςπαραμόρφωσης γίνεται έλλειπτική, εικόνα 2.13, με την προϋπόθεση η παραμόρφωση να είναι μικρή. Και ισχύει ότι $U_d = \pi G^{\prime\prime} \gamma_m^2$

(2.9)

Η περιοχή της έλλειψης αντιπροσωπεύει την **ενέργεια** Ud που διαχέεται σε μονάδα όγκου ανά κύκλο.

όπου γ
m είναι το πλάτος της διατμητικής παραμόρφωσης

G΄΄ ονομάζεται ο δυναμικός συντελεστής απώλειας διάτμησης

Η κλίση της γραμμής που ενώνει τα σημεία όπου οι εφαπτόμενες της έλλειψης είναι κατακόρυφες αντιπροσωπεύει ένα G''' δυναμικό συντελεστή διάτμησης (MPa).

Για μια ταλαντωτική εφελκυστική παραμόρφωση, οι αντίστοιχοι συντελεστές ονομάζονται Ε΄ και Ε΄΄

Η αναλογία G''/G' (ή E''/E') είναι η εφαπτομένη της γωνίας δ, της γωνίας φάσης με την οποία η παραμόρφωση υστερεί της εφαρμοζόμενης τάσης. Όταν οι άξονες έλλειψης βρίσκονται στις οριζόντιες και κατακόρυφες κατευθύνσεις,έχουμε το δ είναι 90° (tan δ είναι απείρως μεγάλο) και ο ρυθμός παραμόρφωσης φτάνει τη μέγιστη τιμή του όταν η εφαρμοζόμενη τάση είναι μέγιστη, (ελαστικό υγρό). Και από την άλλη πλευρά, όταν η έλλειψη εκφυλίζεται σε ευθεία γραμμή, το tan δ= 0 και το υλικό είναι ένα τέλειο ελαστικό στερεό. Οι τιμές του tan δ για τις ενώσεις καουτσούκ σε θερμοκρασία δωματίου κυμαίνονται από περίπου 0,03 για ένα εξαιρετικά "ελαστικό" υλικό με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας σε περίπου 0,2 για μια τυπική ένωση πέλματος με σχετικά υψηλή απορρόφηση.

Εικόνα 2.13: Ταλαντευτική παραμόρφωση: δυναμικά αποτελέσματα



Η αναπήδηση ανθεκτικότητας R είναι ένα αντίστροφο μέτρο της κατανάλωσης ενέργειας. Η R μπορεί να προσδιοριστεί με πτώση μιας άκαμπτης σφαίρας πάνω σε ένα ελαστικό μπλοκ και με μέτρηση της ανάκαμψης ή πτώση μίας λαστιχένιας σφαίρας σε μια άκαμπτη πλάκα. Και στις δύο περιπτώσεις η κλασματική ποσότητα ενέργειας που επιστρέφεται μετά την πρόσκρουση είναι:

$$\mathbf{R}=\mathbf{h}_2/\mathbf{h}_1,$$

(2.10)

όπου h1 είναι το ύψος πτώσης και h2 είναι το ύψος αναπήδησης. Αν η κρούση θεωρηθεί ως ένας μισός κύκλος μίας σταθερής ταλάντωσης, τότε

 $\ln R = -\pi \tan \delta$

Η εξίσωση 2.11 βασίζεται σε σχετικά σοβαρές παραδοχές, οπότε πρέπει να θεωρηθεί ως μια πρόχειρη προσέγγιση. [9]

2.1.6 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ

Η ενέργεια που διασκορπίζεται από τις διεργασίες απώλειας μέσα σε μια ένωση καουτσούκ μετατρέπεται άμεσα σε θερμότητα. Κάτω από μια σταθερή ταλάντωση η ποσότητα θερμότητας που παράγεται ανά δευτερόλεπτο σε μονάδα όγκου δίνεται από το f Ua, όπου f είναι η συχνότητα ταλάντωσης. Η θερμότητα χάνεται μέσω αγωγής μέσω του ελαστικού σε επιφάνειες που έρχονται σε επαφή ή στον αέρα.

Ετσι για παράδειγμα ένα λεπτό ελαστικό μπλοκ, πάχους Η, υποβάλλεται σε παλινδρομική διατμητική παραμόρφωση (μεταξύ δύο πολύ αγώγιμων επιφανειών που λειτουργούν ως διαχύτες θερμότητας έτσι ώστε οι σύνδεσμοι συγκράτησης του δοκιμίου να διατηρούνται σε σταθερή θερμοκρασία T_o). Έτσι σε σταθερή κατάσταση, η μέγιστη θερμοκρασία που επιτυγχάνεται στο κέντρο του μπλοκ θα είναι

 $Tm = To + f U_d H^2 / 8K$

(2.12)

όπου Κ είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του καουτσούκ.

Είναι σαφές ότι η θερμική αγωγιμότητα παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας. Δυστυχώς όλα τα ελαστομερή είναι κακοί αγωγοί θερμότητας, με τιμές Κ περίπου 0,2-0,3 W / m °C. Ακόμα και όταν προστίθενται καλοί αγωγοί - για παράδειγμα μεταλλικές σκόνες στη συσταση του καουτσούκ, το K δεν αυξάνεται σημαντικά επειδή τα σωματίδια μετάλλων περιβάλλονται από ένα στρώμα από καουτσούκ και δεν σχηματίζουν συνεχείς διαδρομές για τη διοχέτευση θερμότητας.

Το ποσό της θερμότητας που παράγεται ανά κύκλο εξαρτάται έντονα από το πλάτος παραμόρφωσης γ_{max} της διάτμησης ή e_{max} της τάσης / συμπίεσης.

Έτσι, κάτω από ταλαντώσεις με σταθερό φορτίο, μια πιο άκαμπτη ένωση θα έχει λιγότερη παραγωγή θερμότητας και μικρότερη αύξηση της θερμοκρασίας άν η ελαστικότητα ή το tan δ της είναι αμετάβλητες. Δηλαδή το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να υπερισχύει της διαφοράς στις ιδιότητες απώλειας θερμοκρασίας μεταξύ μιας σκληρότερης και μιας μαλακότερης ένωσης. Από την άλλη πλευρά, κάτω από ένα εύρος σταθερής παραμόρφωσης, το υλικό με χαμηλότερο συντελεστή απώλειας θα παράγει λιγότερη θερμότητα.

Τα στερεά ελαστικά είναι ένα παράδειγμα μιας εφαρμογής στην οποία το επίπεδο φορτίου είναι σταθερό. Ενώ αντίθετα σε έναν ελαστικό ιμάντα, το πλάτος της παραμόρφωσης (κάμψη) καθορίζεται από την εφαρμογή-τοποθέτηση. Επομένως, οι ενώσεις των ελαστικών για τις δύο αυτές χρήσεις επιλέγονται για διάφορους λόγους. Σε κάθε περίπτωση, είναι επιθυμητό να υπάρχουν ενώσεις που παράγουν ένα ελάχιστο της θερμότητας κατά τη χρήση, επειδή η αντοχή, η ανθεκτικότητα και η αντοχή στην τριβή των ενώσεων καουτσούκ μειώνονται καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται.

Επειδή οι δυναμικές ιδιότητες των G', G'΄ και tan δ εξαρτώνται έντονα από τις μεταβλητές α) συχνότητας φόρτισης και β) θερμοκρασίας στις οποίες πρόκειται να χρησιμοποιηθεί το καουτσούκ οι τιμές τους πρέπει να είναι γνωστές . Η εξάρτηση από τη συχνότητα φαίνεται σχηματικά στην εικόνα 2.14. Σε χαμηλές συχνότητες ο δυναμικός συντελεστής είναι χαμηλός και μάλλον σταθερός, αλλά καθώς αυξάνεται η συχνότητα, η ένωση γίνεται όλο και πιο άκαμπτη μέχρις ότου στις υψηλές συχνότητες γίνει σκληρή και γυάλινη. Αυτή η μετάβαση, αντικατοπτρίζει τη μεταβολή από την απλή απόκριση μοριακών τμημάτων όταν οι τάσεις εφαρμόζονται σε χαμηλή συχνότητα, στην πλήρη ανικανότητά τους να κινούνται υπό τάσεις υψηλής συχνότητας. Δηλαδή η μετάβαση

επικεντρώνεται στη συχνότητα ταλάντωσης της ίδιας τάξης μεγέθους με τη φυσική συχνότητα κίνησης των μοριακών κλώνων ως αποτέλεσμα της θερμικής ανακίνησης. Εικόνα 2.14: Δυναμικές ιδιότητες έναντι συχνότητας και θερμοκρασίας



Το μέτρο απώλειας G'' αυξάνεται με συχνότητα σε ακόμη πιο έντονο βαθμό από το G' και συχνα γίνεται μεγαλύτερο από το G' στο μεταβατικό εύρος συχνοτήτων, επειδή το G' είναι ένα άμεσο μέτρο του ιξώδους αντίστασης στην τμηματική κίνηση. Ωστόσο ,σε πολύ ψηλές συχνότητες, τα τμήματα δεν μπορούν να ανταποκριθούν στις γρήγορες εναλλασσόμενες εφαρμοζόμενες τάσεις και η εσωτερική κίνηση σταματά. Η διασπορά ενέργειας που σχετίζεται με την κίνηση των μοριακών τμημάτων σε ένα παχύρρευστο περιβάλλον επίσης παύει και ο G'' πέφτει στη σχετικά χαμηλή τιμή. [10]

Ο ρυθμός φ της κίνησης Brownian των μοριακών τμημάτων εξαρτάται μόνο από το εσωτερικό ιξώδες και επομένως μόνο από τη θερμοκρασία. Κάτω από την Tg το πολυμερές είναι υαλώδες: πάνω από το Tg είναι υγρό (εάν είναι χαμηλό σε μοριακό βάρος), καουτσούκ (αν είναι υψηλό σε μοριακό βάρος ή διασταυρωμένο) ή κρυσταλλικό (εάν τα μόρια είναι αρκετά τακτικά), σχήμα 2.15. Η εξάρτηση του φ από τη θερμοκρασία, ή πιο συγκεκριμένα από τη διαφορά θερμοκρασίας (T - Tg), ακολουθεί ένα χαρακτηριστικό νόμο WLF (Williams-Landel-Ferry :

$\log (\varphi (T) / \varphi (Tg)) = A(T-Tg)/(B+T-Tg)$

(2.13)

Όπου τα **A** και **B** είναι σταθερές, που έχουν περίπου τις ίδιες τιμές, 17,5 και 52°C, για όλες σχεδόν τις ουσίες που ομοιάζουν με καουτσούκ επειδή τα περισσότερα ελαστομερή έχουν παρόμοιες τιμές του συντελεστή θερμικής διαστολής και τα μοριακά τμήματα είναι παρόμοια σε μέγεθος. Το Tg είναι η θερμοκρασία μετάπτωσης γυαλιού στην οποία τα μοριακά τμήματα κινούνται αργά, περίπου μία φορά σε 10 δευτερόλεπτα, έτσι για όλους τους πρακτικούς λόγους δεν κινούνται καθόλου και το υλικό γίνεται άκαμπτο γυαλί.Ως Tg ορίζεται ως εκείνη η θερμοκρασία στην οποία ο ρυθμός Brownian φ (Tg) έχει πέσει στα 0.1 Hz.

Οι τιμές της Tg για μερικά κοινά ελαστομερή δίνονται στον Πίνακα 2. Και η εξίσωση 2.13 απεικονίζεται γραφικά στην εικόνα 2.15.



Εικόνα 2.15: Rate φ του Brownian κίνηση των μοριακών τμημάτων κίνησης/ Εξάρτηση της τμηματικής κινητικότητας φ σε θερμοκρασία

Σε πολλές εφαρμογές απαιτείται μοριακή κίνηση σε συχνότητες πολύ μεγαλύτερες από 0,1 HZ.

Για παράδειγμα, για υψηλή ανθεκτικότητα σε ένα πείραμα αναπήδησης απαιτούμε να είναι πρακτικά πλήρης ελαστική απόκριση σε χρόνο πρόσκρουσης της τάξης του 1 ms. Αλλά τα μοριακά τμήματα θα κινούνται σε 1 ms μόνο όταν η τιμή του φ είναι περίπου 1000 άλματα ανά δευτερόλεπτο. Αυτός ο ρυθμός απόκρισης επιτυγχάνεται μόνο σε θερμοκρασία περίπου 30 °C πάνω από Tg. Έτσι, η απόλυτη ελαστική απόκριση δεν θα επιτευχθεί μέχρι η θερμοκρασία να είναι Tg + 30 °C ή ακόμα υψηλότερη. Από την άλλη πλευρά, για επαρκώς αργές κινήσεις που πραγματοποιούνται σε θερμοκρασίες σημαντικά κάθορισμένη θερμοκρασία μετάπτωσης γυαλιού. Αυτή η περιοχή αντιπροσωπεύεται από τα κατώτερα τμήματα των καμπυλών σχήμα 2.15.[9]

Ωστόσο για τους αριθμητικούς συντελεστές Α, Β, υπάρχει σημαντική εξαίρεση για το α) πολυισοβουτυλένιο και τα παράγωγά του, β) το βουτυλικό καουτσούκ και το Γ) αλοβουτύλιο. Για τα υλικά αυτά, οι συντελεστές φαίνεται να είναι περίπου 17,5 και 100°C, ο δε τελευταίος θεωρείται διαφορετικά από την "universal" τιμή που ισχύει για άλλα κοινά ελαστομερή. Έτσι, ο ρυθμός της τμηματικής κίνησης αυξάνεται πολύ αργότερα πάνω από την Tg όπως φαίνεται από την καμπύλη για το βουτυλικό καουτσούκ στο σχήμα 2.15. Παρόλο που ο λόγος αυτής της ιδιαιτερότητας δεν είναι καλά κατανοητός, πιθανότατα συνδέεται με ένα ασυνήθιστα μεγάλο μέγεθος για το βασικά κινούμενο τμήμα. Δύο σημαντικές συνέπειες είναι ότι το βουτυλικό καουτσούκ και το αλο-βουτύλιο παρουσιάζουν ασυνήθιστα χαμηλή ανθεκτικότητα, χαμηλή διαπερατότητα αερίων και καλή αντίσταση όζοντος σε θερμοκρασίες πολύ πάνω από Tg.[10]

Η εξίσωση 2.13 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συσχετίσει τη δυναμική συμπεριφορά σε μία θερμοκρασία T1 με αυτή σε άλλη T2. Για παράδειγμα, το δυναμικό μέτρο G΄ και ο συντελεστής απώλειας G΄΄ βρίσκονται να εξαρτώνται από τη συχνότητα της δόνησης όπως είδαμε στο σχήμα 2.14. Όταν η θερμοκρασία ανυψώνεται στο T2, οι καμπύλες μετατοπίζονται πλευρικά από μια σταθερή απόσταση, log a_T, στον λογαριθμικό άξονα συχνότητας, όπου το log aT αντανακλά τη μεταβολή της χαρακτηριστικής συχνότητας απόκρισης των μοριακών τμημάτων όταν η θερμοκρασία αλλάζει από T1 σε T2. Και από την 2.13 η οποία μετασχηματίζεται, το log aT δίνεται από:

log a_T = log [φ (T2)/φ (T1)] = 17,5 x 52 (T2 - T1)/(52 + T2 - Tg)(52 + T1 - Tg) (2.14) Mε αυτόν τον τρόπο, οι μετρήσεις σε μία θερμοκρασία μπορούν να μετατραπούν σε αποτελέσματα μιάς άλλης. Αυτός είναι ένας ισχυρός τρόπος πρόβλεψης της ιξωδοελαστικής απόκρισης σε ευρύ φάσμα συχνότητας από μετρήσεις σε περιορισμένο εύρος συχνότητας αλλά σε πολλές θερμοκρασίες, χρησιμοποιώντας τη γενική αρχή ότι η μετατόπιση της θερμοκρασίας είναι εντελώς ισοδύναμη με μια αλλαγή στη συχνότητα: Log fT = Log fTg + Log aT (2.15)

Ως προσεγγιστικός οδηγός, που ισχύει σε θερμοκρασίες περίπου 50°C πάνω από Tg, η αύξηση της θερμοκρασίας περίπου 12°C ισοδυναμεί με ένα συντελεστή 0,1 αλλαγής συχνότητας ή ρυθμού παραμόρφωσης ή ταχύτητας φόρτησης. Έτσι, η εξίσωση 2.15 επιτρέπει σε κάποιον να συσχετίσει τη μηχανική συμπεριφορά σε ευρεία κλίμακα συχνότητας και ρυθμού παραμόρφωσης με τη θερμοκρασία.

Η καμπύλη (εικόνα 2.16b) αντιπροσωπεύει την αναμενόμενη απόκριση σε ένα εξαιρετικά ευρύ φάσμα συχνοτήτων στην επιλεγμένη θερμοκρασία. Επιπλέον, η καμπύλη αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλές διαφορετικές θερμοκρασίες (από την εξίσωση 2.14) όπως φαίνεται στην εικόνα 2.16α σε ένα περιορισμένο εύρος συχνοτήτων.

Εικόνα 2.16α: Μέτρο Ε έναντι συχνότητας ταλάντωσης f για ελαστομερές πολυουρεθάνης



Εικόνα 2.16b: Μοντέλο Ε έναντι μειωμένης συχνότητας f aT στους -42 ° C



Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις (γεμισμένων με συστατικά ενώσεις), όπου αυτή η ευρεία απλοποίηση δεν ευσταθεί. Εάν το μέτρο του συντελεστή ελαστικότητας επηρεάζεται από

μια εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία διαδικασία η οποία δεν ελέγχεται μόνο από την ταχύτητα της μοριακής κίνησης (για παράδειγμα τήξη των κρυσταλλιτών), τότε η ισοδυναμία θερμοκρασίας-συχνότητας που δίνεται στην εξίσωση 2.14 δεν ισχύει πλέον. Γνωρίζοντας ότι η ίδια αρχή της ισοδυναμίας θερμοκρασίας-συχνότητας ισχύει για τα μόρια καουτσούκ σε γεμισμένες με συστατικά συνθέσεις και οι σταθερές που εφαρμόζονται έχουν τους ίδιους κανόνες. Η Τg και η μοριακή κινητικότητα ελαστομερών κλώνων πάνω από την Τg προφανώς δεν επηρεάζονται αισθητά από την παρουσία πληρωτικών υλικών. Αλλά μετά από μετρήσεις οι γεμισμένες συστατικά των δείχνουν άλλα αποτελέσματα, απ ότι περιγράφηκε προηγουμένως. Ο ελαστικών συντελεστής ελαστικότητας μειώνεται από μία προηγουμένη επιβαλλόμενη τάση ή από επιβαλλόμενες δυναμικές παραμορφώσεις αυξανόμενου πλάτους. Αυτό το μαλάκωμα συνοδεύεται από αυξημένη διασπορά ενέργειας, πιθανώς συνδεδεμένη με την εργασία που απαιτείται για να διασπαστούν οι δεσμοί μεταξύ σωματιδίων πληρωτικού και καουτσούκ ή μεταξύ των ίδιων των σωματιδίων. [10]

2.2. ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ

2.2.1 ΦΥΣΙΚΑ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΤΕΛΕΙΕΣ

Η μηχανική των θραύσεων έχει γίνει η συνήθης μέθοδος ελέγχου «εύθραυστων» υλικών, δηλαδή υλικών όπως το καουτσούκ, τα οποία σπάνε χωρίς να υφίστανται εκτεταμένες πλαστικές παραμορφώσεις. Με αυτή την έννοια, η ρήξη είναι το αποτέλεσμα της ανάπτυξης ενός υπάρχοντος ελάττωματος ή ατέλειας. Όλα τα υλικά περιέχουν τέτοια φυσικά ελαττώματα και το μέγεθος τους μπορεί να μετρηθεί με διάφορους τρόπους.

Η διάρκεια κόπωσης, αντιπροσωπεύεται από τον αριθμό N των επαναλήψεων μιας σταθερής τιμής εφελκυστικής παραμόρφωσης που αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε μια λωρίδα εφελκυσμού πριν από την ρήξη του υλικου. Ειδικότερα είναι μια ισχυρή καταπονιστική λειτουργία του βάθους μιας αιχμηρής κοπής σε ένα άκρο του δείγματος (εικόνα 2.17).



Σχήμα 2.17: Λογάριθμος (ζώνη κόπωσης Ν) έναντι λογαρίθμου (βάθος κοπής c)

Η ζωή Ν είναι μικρότερη όταν η αρχική τομή γίνεται βαθύτερη. Αναπτύσσοντας εκ νέου την κόπωση μιας δειγματοληψίας χωρίς σκόπιμα να δημιουργηθεί κάποια ακμή, μπορούμε να αποδοσουμε μια τιμή στο πραγματικό βάθος τομής που αντιστοιχεί στο φυσικό ελάττωμα ή το ελάττωμα από το οποίο προέκυψε η αστοχία.

Για το παράδειγμά μας η τιμή που πήραμε με αυτόν τον τρόπο είναι περίπου 50 μm. Παρόμοιες τιμές εξάγονται από μετρήσεις της διάρκειας κόπωσης σε υψηλότερες τάσεις εφελκυσμού, όταν μειώνονται όλοι οι χρόνοι κόπωσης ή σε χαμηλότερες τάσεις

εφελκυσμού, όταν οι χρόνοι κόπωσης αυξάνονται. Παρόμοιες τιμές καταγράφονται για την εξάρτηση της αντοχής εφελκυσμού στο βάθος ενός κοψίματος (ακμής) αλλά και από τις μελέτες των πολύ γαμηλών κρίσιμων τάσεων που απαιτούνται για την ανάπτυξη μιας ακμής που κόβεται μετά από τη γημική προσβολή όζοντος στο καυτσούκ. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις και για όλες τις ενώσεις ελαστομερών που μελετήθηκαν, μπορούμε να θεωρήσουμε τη θραύση ενός ελαστικού χωρίς φθορές, με την υπόθεση ότι η ένωση περιέχει ουσιαστικά ελαττώματα ή ελαττώματα ισοδύναμα με κοφτερή ακμή, μήκους περίπου 50 μm. Μέχρι στιγμής όμως η παρουσία πραγματικών ελαττωμάτων αυτού του μεγέθους δεν έχει τεκμηριωθεί και η προέλευσή τους είναι ακόμη άγνωστη. Μπορεί να είναι στην πραγματικότητα μικρότεροι και πιο έντονοι ανυψωτές πίεσης σε σχέση με τεχνητά κοψίματα και επομένως είναι δύσκολο να παρατηρηθούν. Επειδή το μέγεθος αυτό προκύπτει για όλες τις ενώσεις καουτσούκ που μελετήθηκαν μέχρι σήμερα, τόσο γεμάτες όσο και μη, είναι παρόμοιες, μπορεί να είναι το αποτέλεσμα ενός κοινού χαρακτηριστικού της κατεργασίας του καουτσούκ ή μπορεί να δημιουργηθούν στην πορεία καταπόνησης του ελαστικού έως του ορίου ρήξης που θα προμήνυε μια μορφή θραύσης. [9]

2.2.2 Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΑΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ

Η μηχανική θραύσης θεωρεί ότι απαιτείται μια συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας για την ανάπτυξη ρωγμών ανά μονάδα επιφάνειας που έχει σχιστεί, ανάλογη με την επιφανειακή **ενέργεια** ή την **αντοχή σε σχισίματα**, **Gc**

Gc = 2P / w (J / m²). (2.16) Όταν το σχίσιμο προχωρήσει σε απόσταση dc όπου w είναι το πλάτος της διαδρομής σχισίματος (περίπου το πάχος του φύλλου), για υλικά με καουτσούκ μετράται με ένα απλό τεστ σχισίματος, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.18.



Εικόνα 2.18: Σχέση μεταξύ δύναμης σχισίματος P και ενέργειας θραύσης Gc

Εδώ Το κριτήριο της θραύσης είναι:

Low To kpth/pio the opacone characterizationGc = - (1 / w) (dW / dc)(2.17)Oπου W είναι η ενέργεια παραμόρφωσης W που είναι αποθηκευμένη στο τεντωμένο
φύλλο, -dW η ενέργεια για την ανάπτυξη της ρωγμής dc.
Για ένα φύλλο γραμμικά ελαστικού υλικού (σχήμα 2.20) έχουμε
τάση θραύσης σb $\sigma b = 1.26 (EGc / \pi c)^{1/2}$ (2.18)
(2.18)
(2.19)και παραμόρφωση eb $eb = 1.26 (Gc / Eπc)^{1/2}$ (2.19)
όπου Ε είναι το μέτρο ελαστικότητας εφελκυσμού.

εικόνα 2.19: Δοκιμή της αντοχής σε εφελκυσμό



Η μηχανική θραύσης προβλέπει ότι η ισχύς των ενώσεων θα αξιολογηθεί διαφορετικά υπό διαφορετικές συνθήκες δοκιμής. Ετσι εξετάζουμε την ανάπτυξη μιας μακράς ρωγμής σε ένα φύλλο υπό περιορισμένη τάση, εικόνα 2.21. Σε αυτή τη διαμόρφωση, το φύλλο δεν είναι δυνατό να συρρικνωθεί πλευρικά επειδή οι μακρινοί οριζόντιοι σφιγκτήρες το εμποδίζουν. Η αρχική ρωγμή είναι αρκετά μεγάλη σε σύγκριση με το ύψος δείγματος h.





Όπως πριν, η ενέργεια που απαιτείται για τη ρήξη παρέχεται από την ενέργεια παραμόρφωσης στο τεντωμένο τμήμα του φύλλου. Για ένα γραμμικά ελαστικό υλικό, η τάση εφελκυσμού στην οποία η ρωγμή θα διαδοθει είναι :

 $\sigma b = 1.63 (EGc / ho)^{1/2}$

(2.20)

όπου το ho είναι το μη τεταμένο ύψος της ταινίας , του υλικού από το οποίο απελευθερώνεται ενέργεια καθώς περνά η ρωγμή. Πρέπει να λάβουμε υπ όψιν μας ότι η τάση θραύσης εξαρτάται τώρα από το ύψος του δείγματος ho και όχι από το μήκος της ρωγμής c.

Με τη σύγκριση των Εξισώσεων 2.18 και 2.20, η τάση θραύσης φαίνεται να είναι πολύ χαμηλότερη σε μια περιορισμένη δοκιμή εφελκυσμού σε σχέση με μια κανονική δοκιμή εφελκυσμού. Επειδή το αρχικό ύψος ho του δείγματος είναι συνήθως αρκετά χιλιοστά, είναι πολύ μεγαλύτερο από το βάθος c ενός τυχαίου ελαττωματικού άκρου σε ένα απλό δείγμα εφελκυσμού, τυπικά περίπου 50 μm η εφαρμοζόμενη τάση στην οποία συμβαίνει ρήξη δεν είναι έγκυρο κριτήριο για θραύση. Αυτή η ενέργεια θραύσης μπορεί να μετρηθεί με διάφορους τρόπους, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που σκιαγραφούνται στα Σχήματα 2.18, 2.19 και 2.20.

Από τη άλλη μεριά η τάση θραύσης στο άκρο της ρωγμής, που πιθανώς θα είναι ένα έγκυρο κριτήριο θραύσης, είναι σχεδόν αδύνατο να μετρηθεί.[9]

2.2.3 ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΘΡΑΥΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΘΡΑΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΡΩΓΜΩΝ- ΣΧΙΣΙΜΑΤΟΣ

Για ένα μη κρυσταλλικό ελαστομερές SBR (Styrene butadiene rubber) Οι μετρήσεις της τάσης θραύσης εφελκυσμού σb και της επέκτασης θραύσης eb βρέθηκαν να εξαρτώνται από τον ρυθμό επέκτασης και τη θερμοκρασία σύμφωνα με το WLF (Williams-Landel-Ferry) ρυθμός ισοδύναμης θερμοκρασίας, εξίσωση 2.12. Εφαρμόζοντας συντελεστές μετατόπισης που υπολογίστηκαν από την Εξίσωση 2.15, τα δεδομένα που λαμβάνονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες δίνουν «κύριες» καμπύλες αποδόσεων για τις λειτουργίες σb και eb σε σχέση με το ρυθμό τεντώματος (τάνυσης), εικόνα 2.21. Η επιτυχία αυτής της επικάλυψης δείχνει πόσο σημαντική είναι στην αντοχή και την εκτασιμότητα των ελαστομερών οι εσωτερικές διεργασίες διαχωρισμού που προκύπτουν από την τμηματική κίνηση.



Εικόνα 2.21a Αντοχή σε εφελκυσμό vs ρυθμού επέκτασης / β. μειωμένου ρυθμού επέκτασης σε -10 ° C

Εικόνα 2.21c: Επιμήκυνση κατά τη διάσπαση συναρτήση μειωμένου ρυθμού επέκτασης σε -10 °C



Η εξάρτηση της ενέργειας θραύσης από την ταχύτητα και τη θερμοκρασία ρωγμών φαίνεται γραφικά στις παρακάτω μετρήσεις της ενέργειας θραύσης Gc για ένα απλό κενόχωρίς πληρωτικά ελαστικό σχήμα 2.22 συναρτήσει της αναλογίας σχισίματος σε διάφορες θερμοκρασίες. Οι τιμές φαίνονται να αλλάζουν, καθώς οι συνθήκες δοκιμής αλλάζουν από χαμηλές ταχύτητες σχισίματος υψηλών θερμοκρασιών έως υψηλές ταχύτητες σχισίματος.

Εικόνα 2.22: Ενεργειακή θραύση (δύναμη σχισίματος) σε σχέση με την ταχύτητα και τη θερμοκρασία για το βουλκανισμένο HS-SBR (Tg = - 30 ° C)







Από τα παραπάνω διαγράμματα ότι η υψηλή δύναμη σχισίματος που εκδηλώνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες συνδέεται με μειωμένη μοριακή κινητικότητα και όχι με μεταβολή στην εγγενή αντοχή του μορίου καουτσούκ.[9]

2.2.4 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΟΥΤΣΟΥΚ

Οι εσωτερικές διασκορπιστικές διαδικασίες προφανώς συμβάλλουν σημαντικά στην αντοχή του καουτσούκ και για την ενίσχυση της αντοχής του καουτσούκ απαιτείται υψηλή αντοχή σε εξαιρετικά καταπονημένες περιοχές.

Με λίγα λόγια απαιτείται ένας μηχανισμός που όποτε χρειάζεται να ενεργοποιείται μόνο σε υψηλές τάσεις, με υψηλό διασκορπισμό σε θέσεις υψηλού στρες και στο μεγαλύτερο ποσοστό στις «φυσιολογικές» συνθήκες χαμηλής τάσης παραμένει ανενεργός με χαμηλό διασκορπισμό.

Ένας μηχανισμός αυτού του τύπου είναι η προκαλούμενη παραμόρφωση από κρυσταλλοποίηση. Ορισμένα ελαστομερή, κυρίως φυσικό καουτσούκ, έχουν μια κανονική μοριακή δομή ικανή να συσσωρευτεί πυκνά και κρυσταλλώνεται άμμεσα όταν τεντωθεί περισσότερο από περίπου 300%. Ως αποτέλεσμα τα ελαστομερή αυτά μετατρέπονται σε δύσκαμπτα μερικώς κρυσταλλικά ινώδη στερεά που σπάνε μόνο όταν οι κρυσταλλίτες βρεθούν στην τροχιά σχισίματος και αποσύρονται πλαστικά (υψηλές ενεργειακές απώλειες). Σε χαμηλότερες παραμορφώσεις, πριν από την κρυστάλλωση, είναι ελαστικά στερεά με χαμηλές ενεργειακές απώλειες.

Χρησιμοποιώντας την ίδια αρχή, μπορούμε να πετύχουμε επιθυμητά χαρακτηριστικά στην ενίσχυση των ελαστομερών με την ενσωμάτωση πληρωτικών σωματιδίων, όπως

π.χ. η αιθάλη. Οπου τα μόρια του καουτσούκ συνδέονται με σωματίδια πλήρωσης, με δεσμούς που δεν σπάνε σε χαμηλές τάσεις και προκαλούν ανεπιθύμητη διασπορά ενέργειας υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Αλλά οι δεσμοί δεν πρέπει να είναι τόσο ισχυροί όσο το ίδιο το ελαστομερές, γιατί τότε δεν θα σπάσουν καθόλου. Θα πρέπει να είναι κάπως λιγότερο ισχυροί και να σπάσουν πριν να διαλυθούν τα μόρια του ελαστομερούς, δημιουργώντας έτσι έναν μηχανισμό διασκορπισμού σε περιοχές υψηλού στρες, όπου αυτό είναι απαραίτητο, χωρίς ρήξη του μοριακού δικτύου. Αν και αυτό θα ήταν ένας πολύ επιθυμητός τρόπος ενίσχυσης του καουτσούκ από πληρωτικά οι δεσμοί μεταξύ καουτσούκ και σωματιδίων εμφανίζονται να έχουν ένα ευρύ φάσμα δυνάμεων, έτσι ώστε κάποια κατανάλωση ενέργειας να εμφανίζεται ακόμη και σε χαμηλές τάσεις, σημαντικά μεγαλύτερη από ότι στην αντίστοιχη μη γεμισμένη-πληρωμένη ένωση.

Το καουτσουκ συνήθως συνδέεται με θείο, συχνά με πολυσουλφιδικές συνδέσεις - SSSS - Τα υλικά που προκύπτουν έχουν μεγαλύτερη αντοχή από εκείνα με διασυνδέσεις άνθρακα-άνθρακα. Σημειώνουμε ότι οι διασυνδέσεις με θείο είναι ασθενέστερες από τις διασυνδέσεις C-C και τους δεσμούς της κύριας αλυσίδας, και υποθέτουμε ότι εξυπηρετούν μια θυσιαστική λειτουργία - με το να σπάνε πρώτα, μειώνουν την τάση στο μόριο ελαστομερούς και του επιτρέπουν να επιβιώσει. Αυτή η λειτουργία μπορεί επίσης να ερμηνευτεί σαν μια παροχή ένας μηχανισμού διαρροής σε σημεία υψηλής πίεσης.

- Άλλοι μηχανισμοί ενίσχυσης που μπορούν να ερμηνευτούν με τον ίδιο τρόπο είναι:
- Α) Πλαστική υποχώρηση των ενσωματώσεων
- B) Τριβή σε εσωτερικές διασυνδέσεις μορίων
- Γ) Σχηματισμός εσωτερικών κοιλοτήτων
- Δ) Αποσύνδεση από ίνες

Το συμπέρασμα είναι ότι η αντοχή άμεσα σχετίζεται με τη διασπορά ενέργειας. Γι αυτό έγινε μια σύγκριση εργασίας-θραύσης ενός δείγματος καουτσουκ με τάση Ub με την απώλεια ενέργειας κατά το τέντωμα ενός παρόμοιου δείγματος σχεδόν στο σημείο θραύσεως Ud και στη συνέχεια χαλάρωσής του. Οι δύο ποσότητες είναι κατ 'αρχήν ανεξάρτητες, αλλά στην πράξη βρέθηκε ότι υπάρχει ένας εξαιρετικός συσχετισμός μεταξύ τους για ένα ευρύ φάσμα ελαστομερών, βαθμούς εγκάρσιας σύνδεσης, τύπους και ποσότητες σωματιδιακών πληρωτικών, ταχύτητες δοκιμής, θερμοκρασίες. Η συσχέτιση φαίνεται στο σχήμα 2.24. Η γραμμική σχέση που φαίνεται είναι: Ub = 420 (Ud)^{2/3}

και οι δύο μετρήσεις μετρήθηκαν σε J / m³. Καθώς η ποσότητα ενέργειας που διαχέεται Ud δεν μπορεί να υπερβεί το Ub (εργασίας-θραύσης), η εξίσωση 2.21 είναι εξ ολοκλήρου εμπειρική και, αν και εφαρμόζεται επιτυχώς σε ένα τεράστιο εύρος εφελκυστικών αντοχών, κάθε κατά προσέγγιση υπολογισμός της πρέπει να αντιμετωπίζεται με προσοχή. [9]

Εικόνα 2.24: Συσχέτιση μεταξύ ενέργειας θραύσης Ub και εκλυμένης ενέργειας Ud



2.2.5 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΡΩΓΜΩΝ-ΑΜΒΛΥΝΣΕΙΣ ΕΝΟΣ ΑΚΡΟΥ ΣΧΙΣΙΜΑΤΟΣ-ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΟΠΩΣΗ

Ένα μοναδικό χαρακτηριστικό των ενώσεων καουτσούκ ενισχυμένων με σωματιδιακά πληρωτικά είναι ότι μια απότομη κοπή ή σχίσιμο συχνά αποτυγχάνει να αναπτυχθεί στην κατεύθυνση της τάσης. Αντίθετα, γυρίζει προς τα πλάγια και τρέχει περισσότερο-ή λιγότερο παράλληλα με την τάση για μια μικρή απόσταση και στη συνέχεια σταματά. Για να διαδοθεί περισσότερο το σχίσιμο, πρέπει να σχηματιστεί και να αναπτυχθεί μια άλλη ρωγμή άκρης, αλλά και πάλι το νέο σχίσιμο γυρίζει προς τα πλάγια και σταματά. Η εξέταση του άκρου μιας πρώτης ακμής που κόπηκε σε ένα τεμάχιο δοκιμής εφελκυσμού αποκαλύπτει ότι μέγρι πέντε ή έξι ξεγωριστά βήματα εκκίνησης σγισμών έγουν πραγματοποιηθεί στο άκρο κοπής πριν τελικά καταφέρει ένα να τρέξει στην "κανονική" κατεύθυνση, κατά μήκος του δείγματος, εικόνα 2.25. Αυτό το φαινόμενο είναι σαφώς ένας ισχυρός μηχανισμός ενίσχυσης, επειδή η αρχική αιχμηρή τομή είναι κατά κύριο λόγο αμβλία και η ενέργεια σπαταλάται κάνοντας αρκετά αναποτελεσματικά πλευρικά σχισίματα. Η πεπερασμένη ανάλυση στοιχείων αποκαλύπτει ότι ένα σημαντικό κλάσμα, περίπου το 50% της διαθέσιμης ενέργειας για "κανονική" διάδοση σχισίματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να οδηγήσει ένα σχίσιμο πλευρικά, ειδικά αν το υλικό είναι πολύ τεντωμένο πριν αρχίσει να αυξάνεται η αρχική ακμή κοπής. Έτσι, αν το τεντωμένο υλικό, περισσότερο από 50%, είναι ουσιαστικά ασθενέστερο για σχίσιμο στην κατεύθυνση της καταπόνησης, τότε η απόκλιση ενός αυξανόμενου σχισίματος προς αυτή την κατεύθυνση είναι αναπόφευκτη και το υλικό είναι στην πραγματικότητα αυτο-ενισχυτικό. Αυτός ο τρόπος ενίσχυσης δεν βασίζεται στην ενίσχυση της αντοχής του υλικού, αποδίδεται στην ανάπτυξη χαμηλής στερεότητας στην κατεύθυνση της παραμόρφωσης, οδηγώντας σε αναποτελεσματικό σκίσιμο και άμβλυνση του άκρου του σχισίματος. Τουλάχιστον ένα μέρος της ενισχυτικής ικανότητας των πληρωτικών σωματιδιακών φαίνεται να προκύπτει από αυτόν τον μηχανισμό.

Εικόνα 2.25: Πολλαπλά σχισίματα στην άκρη μιας κοπής σε μία άκρη ενός δοκιμαστικού υλικού εφελκυσμού: σχίσιμο "Knotty"



Ξέρουμε πώς θα μετρηθεί η δύναμη σχισίματος ή η ενέργεια θραύσης Gc. Εάν η εφαρμοζόμενη δύναμη είναι πολύ μικρή για να προκαλέσει άμεση βλάβη, τότε η διαθέσιμη ενέργεια για την ανάπτυξη ενός σχισίματος ονομάζεται "Ρυθμός απελευθέρωσης ενέργειας παραμόρφωσης", G (J / m²). Στην γραμμική ελαστική

μηχανική θραύσης, η αντίστοιχη ποσότητα είναι ο συντελεστής έντασης τάσης Κ, με κρίσιμη τιμή Κc, όπου το K σχετίζεται με το G ως εξής: $K = (EG)^{1/2}$ (2.22)

Όταν η ενέργεια G (< Gc) διατίθεται για θραύση, παρόλο που δεν συμβαίνει μεγάλης κλίμακας σχίσιμο, διαπιστώνεται ότι ένα σημειακό σχίσιμο αναπτύσσεται κατά μία μικρή απόσταση dc κάθε φορά που εφαρμόζεται η τάση. Το βήμα ανάπτυξης dc εξαρτάται έντονα από το G, ακολουθώντας μια απλή εμπειρική σχέση:

 $dc / dN = B [(G / Go) - 1]^{\alpha}$

(2.23)

όπου Β και α είναι σταθερές ανάπτυξης ρωγμών. Αν και μια εξίσωση αυτής της μορφής χρησιμοποιείται ευρέως για την πρόβλεψη ανάπτυξης ρωγμών υπό συνθήκες κόπωσης, η πραγματική συμπεριφορά είναι πιο περίπλοκη, εικόνα 2.26 και η εξίσωση 2.22 είναι μόνο ένας χρήσιμος οδηγός πάνω σε ένα περιορισμένο πεδίο τιμών του G, από κάπως υψηλότερο από το κατωτερο όριο Go και περίπου ώς το ένα δέκατο της καταστροφικής δύναμης σχισίματος Gc.



Εικόνα 2.26: Σχίσιμο υπό επαναλαμβανόμενες καταπονήσεις (θραύση κόπωσης)

Όταν η τάση χαλαρωθεί στο μηδέν μεταξύ κάθε εφαρμογής, η τιμή της σταθεράς B της ρωγμής βρίσκεται σε όλες τις περιπτώσεις να είναι μία μοριακή απόσταση, περίπου 0,05 nm. Έτσι, κάτω από το κατώτατο όριο η ρωγμή αυξάνεται σε ένα εξαιρετικά μικρό βήμα, μικρότερο από το μέγεθος ενός μοριακού κλώνου, σε κάθε εφαρμογή φορτίου.

Από την άλλη πλευρά, ο εκθέτης α είναι αρκετά διαφορετικός για τις ενώσεις που βασίζονται σε διαφορετικά ελαστομερή. Για υλικά με υψηλό βαθμό διάχυσης, το α φαίνεται να προσεγγίζει ένα κατώτερο όριο 2, ενώ για τέλεια ελαστικά μη διαχυτικά υλικά το α είναι πολύ μεγάλο. Μεταξύ αυτών των δύο ορίων, οι τιμές του α για τα μερικώς διαθλαστικά-διαχυτικά υλικά δίνονται εμπειρικά από τη σχέση:

 $\alpha = 2 / (1 - R)$

(2.24)

όπου R είναι η ελαστικότητα και 1 - R είναι το κλάσμα εισόδου της ενέργειας παραμόρφωσης που διαχέεται. Οι γεμισμένες-(πλήρωση) ενώσεις καουτσούκ είναι πιο διαλυτικές από τις μη πληρωμένες αντίστοιχες και η τιμή του α αντίστοιχα είναι μικρότερη.

Όταν μια τάση εφελκυσμού εφαρμόζεται σε ένα δείγμα που περιέχει μια ακμή κοπής μήκους c και από την εξίσωση 2.17, υποθέτοντας για απλότητα ότι το υλικό είναι γραμμικά ελαστικό η διαθέσιμη ενέργεια για την ανάπτυξη ρωγμών δίδεται από:

$$G = 0,62\pi Ee^2c$$

(2,25)

Χρησιμοποιώντας τις εξισώση 2.23,2.17,2.24 η ανάπτυξη μιας ρωγμής κάθε φορά που εφαρμόζεται η καταπόνηση είναι:

$$dc = B (G / Go)^{\alpha} dN = B (0.62\pi Ee^{2}c / Go)^{\alpha} dN$$
(2.26)

όπου Ν είναι ο αριθμός των πραγματοποιημένων παραμορφώσεων

Με την θεσπιση από το $c = c_0$ σε μια απείρως μεγάλη τιμή του c, η διάρκεια κόπωσης Νf λαμβάνεται ως:

Nf =
$$(1 / B) (Go / 0.62\pi Ee^2)^{\alpha} [(\alpha - 1) / co^{(\alpha - 1)}]$$
 (2.27)

Εικόνα 2.27 Κρυσταλλοποίηση που προκαλείται από παραμόρφωση σε μια ρωγμή



Μολονότι κατά προσέγγιση, η εξίσωση 2.27 δίνει χρήσιμους δείκτες στην επίδραση διαφόρων παραμέτρων στην εφελκυστική διάρκεια κόπωσης δειγμάτων καουτσούκ. Δείχνει, για παράδειγμα, ότι η διάρκεια ζωής κόπωσης Ν_f μειώνεται ραγδαία καθώς η επιβαλόμενη παραμόρφωση ε αυξάνεται.

Η εξάρτηση της διάρκειας κόπωσης στο βάθος c ενός αρχικού ελαττώματος ή ενός ψεγαδιού είναι επίσης μεγάλη και διαφορετική για διαφορετικά υλικά. Για τις ενώσεις φυσικού καουτσούκ η διάρκεια κόπωσης φαίνεται να είναι περίπου ανάλογη του 1 / c

Όταν οι φυσικές ενώσεις καουτσούκ υποβάλλονται σε επανειλημμένα εφαρμοζόμενες παραμορφώσεις, ξεκινώντας από τη μηδενική παραμόρφωση, μερικές ρωγμές δημιουργούνται στην άκρη της ρωγμής ενώ ταυτόχρονα σχηματίζονται εκεί παραμορφωμένοι κρύσταλλοι. Τα στάδια ανάπτυξης της ρωγμής είναι γενικά μικρότερα από ότι για τα μη κρυσταλλωμένα ελαστομερή, όπως συζητήθηκε παραπάνω. Αλλά οι ενώσεις από φυσικό καουτσούκ παρουσιάζουν αξιοσημείωτη αντοχή στη ρωγμή κόπωσης εάν η επιβαλλόμενη παραμόρφωση δεν μειωθεί στο μηδέν σε κάθε κύκλο παραμόρφωσης, εικόνα 2.28.

Εικόνα 2.28: Επίδραση μη χαλαρωτικής παραμόρφωσης στην εφελκυστική κόπωση στη διάρκεια ζωής Ν μη γεμισμένου NR





Προφανώς, οι κρυσταλλίτες που αναπτύσσονται στην άκρη της ρωγμής, ακόμη και σε μικρές συνολικές παραμορφώσεις, δεν τήκονται εκτός εάν η καταπόνηση μειωθεί στο μηδέν ή κοντά στο μηδέν και έτσι παραμένουν και εμποδίζουν την περαιτέρω ανάπτυξη ρωγμών όταν η παραμόρφωση αυξηθεί ξανά. Για τα μη κρυσταλλωμένα ελαστομερή όπως το SBR δεν έχουμε συγκρίσιμα αποτελέσματα.

Ορισμένες κλασσικές παρατηρήσεις διάρκειας ζωής κόπωσης κυλίνδρων από φυσικό καουτσούκ που υποβλήθηκαν σε επαναλαμβανόμενες εφελκυστικές ή συμπιεστικές παραμορφώσεις παρουσιάζονται στην εικόνα 2.29.

Εικόνα 2.29: Η διάρκεια ζωής κόπωσης Ν για κυλίνδρους NR εναλλασόμενης μεταξύ ελάχιστης παραμόρφωσης εmin και μέγιστης παραμόρφωσης εmin + Δε



Η διάρκεια ζωής κόπωσης N_f φαίνεται να είναι ελάχιστη όταν τα εφαρμοζόμενα στελέχη χαλαρώθηκαν στο μηδέν κατά τη διάρκεια του κάθε κύκλου παραμόρφωσης, τόσο για τις εφελκυστικές όσο και για τις συμπιεστικές παραμορφώσεις. Από την άλλη πλευρά, εάν το ελάχιστο επίπεδο παραμόρφωσης σε κάθε κύκλο δεν μειώθηκε στο μηδέν, τότε η διάρκεια ζωής κόπωσης αυξήθηκε σημαντικά. Τέλος μηχανισμός αστοχίας μπορεί να αλλάξει εντελώς κάτω από συνθήκες μη χαλάρωσης, από τη μηχανική ρήξη των ελαστομερών μορίων, που τώρα προστατεύονται με κρυστάλλωση, σε μοριακή διάσπαση με αντίδραση με ατμοσφαιρικό όζον. [9]

2.2.6 ΑΠΟΤΥΧΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΙΚΟΥ ΔΕΣΜΟΥ

Η θραύση του δεσμού μεταξύ ελαστικού και άλλου υλικού μπορεί να αντιμετωπιστεί με μηχανική θραύση με τον ίδιο τρόπο όπως η ρήξη του ίδιου του καουτσούκ. Δηλώνουμε την ενέργεια που απαιτείται για να διαχωρίσουμε την περιοχή μονάδας του διεπιφανειακού δεσμού ως Ga για να την διακρίνουμε από την ενέργεια θραύσης G του ίδιου του καουτσούκ και να σημειώσουμε ότι εάν το Ga είναι μικρότερο από το G τότε η διεπαφή θα διαχωρίζεται καθαρά Αν όμως η Ga είναι υψηλότερη από G, τότε το ελαστικό κοντά στη διεπαφή θα σχιστεί, αφήνοντας πίσω ένα προσαρτημένο στρώμα από καουτσούκ.

Μια κοινή μέθοδος αξιολόγησης της αντοχής της πρόσφυσης είναι η δοκιμή του φλοιού, εικόνα 2.32, ανάλογο με το απλό σκίσιμο, εικόνα 2.18. Το Ga δίνεται από το

$$Ga = 2P / w$$

(2.28)

όπου Ρ είναι η δύναμη αποκόλλησης , w είναι το πλάτος του συνδεδεμένου στρώματος.





Στην κατασκευή ελαστικών επιστρώνονται στρώματα διαφορετικών ελαστικών ενώσεων και ελασμάτων από ελαστικό - κορδόνι. Αυτά τα στρώματα πρέπει να συγκολλούνται κατά τη διάρκεια του χειρισμού του ακατέργαστου ελαστικού και να εισέρχονται στο
καλούπι ελαστικού για τελική διαμόρφωση και βουλκανισμό. Έτσι, η καλή πρόσφυση του μη βουλκανισμένου καουτσούκ είναι μια σημαντική απαίτηση στην κατασκευή ελαστικών. Συνήθως αξιολογείται χρησιμοποιώντας δοκιμές απολέπισης. Δηλαδή η ενέργεια καταναλώνεται σε μεγάλο βαθμό σε ιξώδεις διεργασίες καθώς η μη βουλκανισμένη στρώση ελαστικού αποχωρίζεται. Έτσι, η φαινομενική αντοχή της πρόσφυσης αντανακλά την ιξώδη διασπορά της ενέργειας σε ροή εφελκυσμού.

Προκειμένου να αξιολογηθεί η αντοχή προσκόλλησης του βουλκανισμένου καουτσούκ, για μια μη εκτάσιμη ράβδο ή κορδόνι ενσωματωμένο εν μέρει σε ένα ελαστικό μπλοκ, έχει προταθεί μια άλλη διάταξη δοκιμής, που φαίνεται στο σχήμα 2.33. Χρησιμοποιώντας τη γραμμική ελαστική της μηχανικής θραύσης υπολογίζεται η εκτίμηση της δύναμης έλξης Ρως:

$$(P / A)^{2} = 4\pi(r / A) EG_{a}$$
(2.29)

Όπου r είναι η ακτίνα της ράβδου ή του σχοινιού, το A είναι η διατομή του ελαστικού μπλοκ στο οποίο είναι ενσωματωμένο και το Ε είναι το μέτρο ελαστικότητας του καουτσούκ. Επειδή η δύναμη έλξης (pull-out) αυξάνεται με r, δηλαδή, καθώς η λωρίδα του θραύσματος απομακρύνεται από τη διεπαφή, η αποτυχία σε αυτή τη δοκιμαστική διάταξη πρόκειται να συμβεί κοντά ή πάνω στη διεπαφή.

Εικόνα 2.31 δυνάμεις έλξης στη διεπαφή κορδονιού - καουτσούκ



Ένα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό αυτής της πειραματικής διάταξης είναι ότι η συνολική δύναμη που απαιτείται για να βγάλει ταυτόχρονα ''n'' κορδόνια που είναι ενσωματωμένα στο ίδιο μπλοκ αυξάνεται αναλογικά με το n^{1/2}. Ο λόγος για αυτό το αποτέλεσμα είναι ότι η ενέργεια που απαιτείται για την απομάκρυνση των ''n'' κορδονιών είναι ανάλογη προς το n, ενώ η ενέργεια που αποθηκεύεται σε μια γραμμικά ελαστική συσκευή είναι ανάλογη προς το P², όπου P είναι η εφαρμοζόμενη δύναμη. Τα πειράματα σε καλώδια ενσωματωμένα σε ελαστικά μπλοκ επιβεβαίωσαν αυτό το αποτέλεσμα, το οποίο είναι σαφώς σημαντικό για τη μεγιστοποίηση της αντοχής των ελασμάτων ελαστικού κορδονιού.

2.3. ΓΗΡΑΝΣΗ ΤΟΥ ΚΑΟΥΤΣΟΥΚ

Το καουτσούκ υφίσταται βαθιές αλλαγές στην αποθήκευση που επιταχύνεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Επιβλαβής αλλαγές εμφανίζονται στις ιδιότητες των ελαστικών μετά από αποθήκευση σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος για πέντε χρόνια ή μετά από χρήση σε αυτοκίνητα για παρόμοιες περιόδους. Οι διάφορες χημικές αντιδράσεις που οροκαλούνται είναι:

(a) Εκθεση σε όζον. Αν και η συγκέντρωση του όζοντος στην ατμόσφαιρα είναι αρκετά μικρή, το όζον αντιδρά γρήγορα και αποτελεσματικά με τα ακόρεστα ελαστομερή που χρησιμοποιούνται συνήθως στις ενώσεις ελαστικών, οδηγώντας σε μοριακή διάσπαση. Ωστόσο, το όζον δεν μπορεί να διεισδύσει βαθιά μέσα στο υλικό - η αντίδραση λαμβάνει χώρα στην εκτεθειμένη επιφάνεια και παράγει ένα σχετικά αβλαβές λεπτό

υποβαθμισμένο επιφανειακό στρώμα πάχους περίπου 20 μm, το οποίο προστατεύει το εσωτερικό. Ωστόσο, εάν υπάρχει μικρή εφελκυστική παραμόρφωση της τάξης του 10% στην επιφάνεια του ελαστικού, τότε η αντίδραση σχάσης με το όζον προκαλεί χαρακτηριστικές ρωγμές στην επιφάνεια ώστε να σχηματιστεί και να αναπτυχθεί προς τα μέσα, εκθέτοντας συνεχώς νέο υλικό για περαιτέρω επίθεση. Οι ρωγμές θα μεγαλώνουν εκπληκτικά γρήγορα. Γίνονται περίπου 1mm βαθιά μετά από μόλις δύο εβδομάδες έκθεση μιας μη προστατευμένης ένωσης από καουτσούκ. Επομένως, η ρωγμή του όζοντος είναι δυνητικά σοβαρό πρόβλημα στα πλευρικά τοιχώματα των ελαστικών, όπου οι τάσεις παραμόρφωσης είναι συχνά παρούσες τόσο στην αποθήκευση όσο και στη χρήση. Ειδικά πρόσθετα, που ονομάζονται αντιζυγωτικά, αναστέλλουν τη ρωγμή του όζοντος, όταν προστίθενται στην ένωση καουτσούκ σε επαρκώς μεγάλες ποσότητες. Το καουτσούκ βουτυλίου είναι πολύ λιγότερο επιρρεπές σε προσβολή από το όζον από άλλα κοινά ελαστομερή, τουλάχιστον σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, επειδή περιέχει μόνο ένα σχετικά μικρό κλάσμα αντιδραστικών δεσμών C = C στο μοριακό σκελετό.

(β) Οξείδωση. Μια άλλη αιτία της γήρανσης είναι η αντίδραση με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο. Η οξείδωση είναι βραδύτερη από την οζονόλυση και το οξυγόνο διεισδύει για κάποια απόσταση στο υλικό πριν αντιδράσει. Έτσι, η οξείδωση δεν προκαλεί ρωγμές απευθείας αν και το οξειδωμένο υλικό είναι συχνά εύθραυστο και παρουσιάζει ρωγμές κατά την κάμψη. Το επηρεαζόμενο βάθος μπορεί να κυμαίνεται από αρκετά χιλιοστά σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, όταν η διαδικασία διαρκεί χρόνια για να φτάσει σε ένα σημαντικό στάδιο ή σε ποσοστό του 1 mm σε υψηλές θερμοκρασίες όπου η οξείδωση είναι φρήγορη. Τα τυπικά ελαστομερή υδρογονανθράκων υφίστανται μία αυτοκαταλυτική αντίδραση η οποία έχει ως αποτέλεσμα την προσθήκη ομάδων οζυγόνου στο μόριο και το σχηματισμό νέων εγκάρσιων δεσμών με αλληλεπίδραση με γειτονικά μόρια. Ως αποτέλεσμα, το υλικό γίνεται γενικά σκληρότερο και τελικά εύθραυστο. Ωστόσο, μια άλλη, γενικά μικρή, συνέπεια της σύνθετης αντίδρασης οξείδωσης είναι η μαλάκυνση.

Αυτό το φαινόμενο παρέχει ένα βολικό τρόπο χαρακτηρισμού της ευαισθησίας μιας ένωσης καουτσούκ στην οξείδωση, στην οποία τα δοκίμια τεντώνονται και εκτίθονται σε διάφορες θερμοκρασίες κλιβάνου, στη περιοχή των 70°C έως 130°C, ενώ η τάση εφελκυσμού παρακολουθείται συνεχώς σε διάστημα αρκετών ημερών. Καθώς η οξείδωση προχωρά και κάποια ελαστομερή μόρια σπάνε, η τάση πέφτει και δίνει μια ένδειξη της έκτασης της οξείδωσης. Η αντίδραση της ρήξης αυτής είναι σε εξάρτηση από τη θερμοκρασία Έτσι, η αύξηση της θερμοκρασίας στους 10° C προκαλεί αύξηση του ποσοστού οξείδωσης κατά ένα συντελεστή περίπου X 2.

Ένας άλλος τρόπος εκτίμησης της ευαισθησίας μιας ένωσης καουτσούκ στην οξείδωση είναι η έκθεση δείγματων για διάφορες περιόδους σε αυξημένες θερμοκρασίες και στη συνέχεια η μέτρηση της εναπομένουσας αντοχής και εκτασιμότητας σε θερμοκρασία δωματίου.

γ) Πρόσθετος βουλκανισμός. Ο βουλκανισμός δεν σταματά όταν η σκληρυμένη ένωση αφαιρεθεί από το καλούπι. Η συνεχής σκλήρυνση λαμβάνει χώρα στη συνέχεια αλλά με πολύ χαμηλότερα ποσοστά, φυσικά, ανάλογα με τη θερμοκρασία. Ως αποτέλεσμα, αν τα ελαστικά αποθηκεύονται ή χρησιμοποιούνται σε υψηλές θερμοκρασίες, το υλικό σκληραίνει καθώς εισάγονται περισσότεροι σταυροδεσμοί ή μαλακώνουν (ένα φαινόμενο που ονομάζεται αναστροφή) καθώς αυτές οι σταυρωτές συνδέσεις που ήδη σχηματίζονται βαθμιαία αποσυντίθενται. Αυτές οι διεργασίες είναι συνέπεια μίας σειράς πολύπλοκων αντιδράσεων που περιλαμβάνουν μόρια ελαστομερούς, υπάρχοντες διασταυρούμενους δεσμούς, υπολειμματικό θείο, ενεργοποιητές και επιταχυντές και υποπροϊόντα των διαφόρων ενδιάμεσων σταδίων στην αντίδραση σχηματισμού σταυροειδών δεσμών. Στις συμβατικές μετρήσεις γήρανσης αυτές οι διεργασίες είναι δύσκολο να διακριθούν από τις επιδράσεις της οξείδωσης, αλλά μπορούν να μελετηθούν χωριστά με τη γήρανση των δειγμάτων σε περιβάλλον χωρίς οξυγόνο.

δ) Καιρικές συνθήκες Αυτός ο τρόπος γήρανσης είναι μάλλον ασαφής. Εφόσον συμβαίνουν νέες διαδικασίες γήρανσης, εκτός από την οξείδωση και την επίθεση με το όζον, φαίνεται να συνδέονται με την ακτινοβολία από την υπεριώδη ακτινοβολία και το ηλιακό φως. Η ακτινοβολία προκαλεί αντιδράσεις ελεύθερων ριζών που μπορούν να προκαλέσουν ή να καταλύσουν την οξείδωση και την οζονόλυση. [9]

2.4 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ - ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΟΡΔΟΝΙΩΝ , ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ

Τα κορδόνια των ελαστικών είναι τα δομικά μέλη αντοχής ενός ελαστικού. Ως εκ τούτου, πρέπει να ορίζουν το σχήμα του ελαστικού, να υποστηρίζουν τα φορτία και να περιέχουν τον αέρα διογκώσεως. Πρέπει να παρέχουν στο ελαστικό αξονική και πλευρική ακαμψία για επιτάχυνση, φρενάρισμα, στροφή και διαστασιακή σταθερότητα, χειρισμό και οδήγηση, επίσης αντοχή σε κρούση, κόπωση, και αντίσταση σε διάτμηση.

Έτσι οι ιδιότητες κορδονιού για σκελετό ενός ελαστικού είναι: α) Διαστασιακή σταθερότητα, β)Υψηλή αντοχή, σε εφελκυσμό, στην κόπωση, πρόσφυση στο λάστιχο, σε χημικά και οξείδωση, αντοχή στη θερμότητα γ) Χαμηλό, μέτρο κάμψης, παραγωγή θερμότητας σε κάμψη, δ)Υψηλή ανθεκτικότητα - Αντοχή σε κρούση και ε)χαμηλή απώλεια υστέρησης σε υψηλές ταχύτητες.

Πέντε υλικά σήμερα αποτελούν την κύρια χρήση της υφαντουργίας ελαστικών και πρέπει να λάβουμε υπ όψιν τις ιδιότητες τους - ρεγιόν, νάιλον, πολυεστέρα, αραμίδιο και χάλυβα. Ο πίνακας 2.4 παραθέτει τις φυσικές ιδιότητες αυτών των υλικών.

	Rayon	Nylon 6	Nylon 66	Polyester	Aramid	Steel
Tenacity (cN/Tex)	50	80	85	80	190	35
% Elong at break	6	19	16	13	4	2.5
Modulus (cN/Tex)	800	300	500	850	4000	1500
Shrinkage (% at 150C)	< 0.1	6.0	5.0	2.0	< 0.1	< 0.1
Moisture regain (% at RT)	13	4.5	4.5	0.5	<2.0	< 0.1
Specific gravity	1.52	1.14	1.14	1.38	1.44	7.85
Melting temperature (C)	>210	225	250	250	>500	
Glass transition temperature(C)		55	55	80		
Heat resistance (C)	150	180	180	180	250	
Approximate relative cost per unit weight	1.33		1.13	100	5.00	
(PET=1.00)						

Πίνακας 2.4 Τυπικές ιδιότητες ινών των κυρίων υφάνσεων σε ελαστικά

	Πίνακας 2.5 Φυσικέ	ς ιδιότητες των	ν κορδονιών εμι	πορικών ελαστι	κών 0,2 έως 0	,3 tpi
--	--------------------	-----------------	-----------------	----------------	---------------	--------

Linear density dtax	# of filaments	Breaking force	Breaking tenacity	Breaking elongation	EASL* %(xN)	Shrinkage % at 180C	
Nylon 66	140	20	<u>840</u>	10	0.6(45N)	5.1	
	140	00	040	10	9.0(4JN)	5.1	
940	280	118	840	19.5	10.4(90N)	5.1	
1880							
Polyester	210	94	848	11.2	6.0(60N)	7.6	
1100	280	100	686	10.4	5.2(90N)	3.6	
1440							
(low shrink)							
Rayon**	1000	96	510	12.8	4.6(45N)	nil nil	
1840	1350	517	12.5	nil 4.8			
2440							
Aramid (11)	1000	325	2030				
1500							
*Elongation at specified load (inverse modulus measure)							
**Conditioned 75% humidity 0.4 TPI							

Το υψηλό μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα και του αραμιδίου βρίσκει τη μεγάλη χρήση τους σε ακτινικές ζώνες και σε σκελετούς μονού στρώματος για μεγάλα ακτινικά ελαστικά. Το Rayon χρησιμοποιείται τόσο στο σκελετό όσο και στον ιμάντα των ακτινωτών ελαστικών επιβατών, αλλά στερείται ανθεκτικότητας για ελαστικά βαρέως τύπου.

Τα κορδόνια από πολυεστέρα είναι εξαιρετικά για υφαντουργικό σκελετό για χρήση με χαλύβδινους ιμάντες σε ελαστικά επιβατικών και ελαφρών φορτηγών και αρχίζει να κυριαρχεί παγκοσμίως. Ωστόσο, δεν υπάρχει η ανθεκτικότητα και η αντοχή στη θερμότητα που απαιτούνται για τα μεγάλα ελαστικά, όπου το νάιλον είναι η ύφανση που προτιμάται στα μεγάλα φορτηγά, τα χωματουργικά κλπ.

Αλλά το νάιλον και ο πολυεστέρας δεν έχουν τη μεγάλη ακαμψία που απαιτείται για καλές επιδόσεις σε ακτινικές ζώνες.

Ο πίνακας 2.6 κατατάσσει ποιοτικά τις ενισχύσεις του κορδονιού στα ελαστικά για σημαντικές ιδιότητες απόδοσης ελαστικών. Βέβαια η υφαντουργία αναβαθμίζει συνεχώς τα συγκεκριμένα προϊόντα τους έτσι ώστε αυτές οι ταξινομήσεις να μπορούν να αλλάξουν. [9]

Σταθερότητα διαστάσεων (σκελετός)	
Ομοιομορφία στην κοπή	Rayon> Advanced Polyester> Nylon
Εμφάνιση (οδοντώσεις πλευρικών τοιχωμ	άτων) Rayon> Advanced Polyester> Nylon
Δυναμική ακαμψία (σύστημα διεύθυνσης) Rayon> Advanced Polyester> Nylon
Επίπεδες κηλίδες	Rayon> Advanced Polyester> Νάιλον
Ανθεκτικότητα (σκελετό)	
Αντοχή στην κόπωση / παραγωγή θερμότ	ητας Nylon> Advanced Polyester> Rayon
Αντοχή σε πρόσκρουση (ανθεκτικότητα)	Nylon> Advanced Polyester> Rayon
Ελαστικά υψηλής ταχύτητας / run flat	Rayon> Advanced Polyester
Αντοχή	Aramid> Χάλυβα> Nylon> Polyester>Rayon
Μονάδα (ακαμψία)	Aramid> Χάλυβα> Rayon > Polyester> Nylon
Επιμήκυνση	Nylon > Polyester > Rayon > Χάλυβα= Aramid
Κόπωση συμπίεσης	Nylon > Polyester > Rayon > Χάλυβα> Aramid
Χημική αντίσταση	Aramid> Nylon> Rayon> Polyester> Χάλυβας

Πίνακας 2.6: Σχετική απόδοση των υλικών λινών ελαστικού

2.4.1 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΚΟΡΔΟΝΙΩΝ ΔΟΓΩ ΣΥΣΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥΣ

Τα επίπεδα συστροφής είναι σημαντικά για την απόδοση του κορδονιού ελαστικών. Μεγαλύτερες συστροφές επιτρέπουν σε ένα καλώδιο να συμπεριφέρεται σαν ένα ελατήριο το οποίο δεν θα ανοίξει κάτω από τη συμπίεση, ενώ χαμηλότερες συστροφές επιτρέπουν σε ένα κορδόνι να συμπεριφέρεται ως ράβδος, μεγιστοποιώντας την αντοχή. Καθώς η συστροφή αυξάνει η ανθεκτικότητα μείωνεται, η κόπωση στη συμπίεση βελτιώνεται (ο κύριος λόγος για υψηλότερες συστροφές), το κόστος του κορδονιού ανά ελαστικό αυξάνεται (επειδή τα κορδόνια γίνονται κοντότερα καθώς είναι στριμμένα) και η συρρίκνωση κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και της σκλήρυνσης αυξάνεται.

Η συνεκτικότητα και η αντίσταση στην κόπωση μειώνεται με την αυξανόμενη συστροφή. Σε ένα ελαστικό, η κατασκευή πρέπει να είναι τέτοια ώστε κανένα κορδόνι να μην ανοίγει, να φεύγει ή να τσαλακώνει σε λειτουργία συμπίεσης. Η κόπωση του κορδονιού στη συμπίεση είναι ένας κρίσιμος παράγοντας στα πλευρικά τοιχώματα των ελαστικών, όπου οι τάσεις κάμψης και οι παραμορφώσεις είναι υψηλές. Σε ελαστικά λοξών στρωμάτων στα πλευρικά τοιχώματα είναι πιο πιθανό να εμφανιστούν θλιπτικές καταπονήσεις (συμπιεστικές) και γι αυτό οι συστροφές είναι 12x12 tpi (στροφές ανά ίντσα), ενώ σε ακτινικά ελαστικά ο σκελετός κορδονιών είναι δχ6 tpi.

2.4.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΚΟΡΔΟΝΙΩΝ

Η μεταγενέστερη επεξεργασία του κορδονιού των ελαστικών μπορεί να επηρεάσει βαθιά την απόδοση των ελαστικών. Ο συνεπής έλεγχος της διαστασιακής σταθερότητας των κορδονιών στο περιβάλλον που είναι τοποθετημένα - εμβάπτιση, συγκόλληση με συγκολλητικό υλικό, θερμική έκταση, χαλάρωση και βουλκανισμός ελαστικών - είναι απαραίτητος για τον έλεγχο και την πρόβλεψη διαφοροποιήσεων σε παράγοντες όπως το μέγεθος των ελαστικών, η ομοιομορφία των ελαστικών, ομοιομορφία κορδονιών, επίπεδη κηλίδωση, εσοχές πλευρικών τοιχωμάτων και ερπυσμός κατά τη λειτουργία. Ο χάλυβας, το αραμίδιο και το ρεγιόν επηρεάζονται ελάχιστα κατά την επεξεργασία του κορδονιού, ενώ οι θερμοπλαστικές ίνες, το νάιλον και ο πολυεστέρας, πρέπει να ελέγχονται πολύ προσεκτικά. Το ακτινικό ελαστικό με τον υψηλού συντελεστή περιοριστικό ιμάντα έχει ανακουφίσει σημαντικά πολλά από τα προβλήματα αύξησης του όγκου του κορδονιού που είχαν παρατηρηθεί προηγουμένως σε ελαστικά λοξών

Γενικότερα ο στόχος της διατήρησης της σταθερότητας των διαστάσεων κατά την εργασία με τα θερμοπλαστικά κορδόνια είναι η μεγιστοποίηση του συντελεστή εφελκυσμού (που συχνά χαρακτηρίζεται από EASL - επιμήκυνση σε καθορισμένο φορτίο) ενώ ελαχιστοποιείται η θερμική συρρίκνωση.

Η επεξεργασία των κορδονιών Raylon – Aramid είναι σχετικά απλή, δεδομένου ότι είναι θερμικά σταθερές και δεν αλλάζουν σημαντικά στις μεταγενέστερες λειτουργίες. Το Raylon πρέπει να προστατεύεται προσεκτικά από την υγρασία σε όλα τα στάδια επεξεργασίας, ειδικά στα άκρα των κυλίνδρων, για να αποφευχθεί η ανομοιόμορφη συρρίκνωση σε ένα ρολό υφάσματος.

Για καλύτερη επεξεργασία για την κατεργασία του ρεγιόν το κορδόνι είναι κατασκευασμένο με συστροφή υψηλότερης από την προδιαγραφή, κατόπιν βυθίζεται σε κόλλα κορδονιού κάτω από χαλαρές συνθήκες για να ανοίξει η συστροφή για καλή

διείσδυση στη βύθιση και για να υγρανθεί πλήρως το κορδόνι με την υδατική κόλλα. Το κορδόνι στη συνέχεια τεντώνεται για να επιτευχθεί η περιστροφή των προδιαγραφών και ξηραίνεται στους 130-150 ° C πριν από το ψήσιμο σε αντοχή στούς 155-175 ° C για να σκληρύνει το συγκολλητικό.

Η θερμική επεξεργασία για το αραμίδιο 230-260⁰C είναι γενικά σε χαμηλή τάση (8.8cN / tex) και με πολύ χαμηλή τάνυση για την ρύθμιση του συντελεστή ελαστικότητας.[9]

2.4.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΚΟΡΔΟΝΙΩΝ

Οι βασικες ιδιότητες που απαιτούμε στα χαλύβδινα κορδόνια είναι

- Διάμετρος του κορδονιού - αριθμητικός μέσος όρος της μετρούμενης ελάχιστης και μέγιστης διαμέτρου ενός κορδονιού (mm).

- Γραμμική πυκνότητα - μάζα κορδονιού ανά μονάδα μήκους (g / m).

- Σπάσιμο φορτίου - δύναμη που απαιτείται για να σπάσει ένα κορδόνι (N).

- Αντοχή σε εφελκυσμό - δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας για θραύση μιάς ίνας (MPa).

Μήκος στρώματος - αξονική απόσταση (mm) για μια πλήρη περιστροφή 360⁰ κάθε στοιχείου νήματος ή κορδονιού . Η τυπική περιοχή είναι 2,5 έως 25,0 mm.

- Κατεύθυνση τοποθέτησης - Οι κατευθύνσεις Ζ και S ορίζονται όπως στην κλωστοϋφαντουργία

- Ακαμψία κάμψης - Αντοχή στην κάμψη υπό συγκεκριμένες συνθήκες φορτίου. Η δυσκαμψία της κάμψης εξαρτάται από τη διάμετρο της ίνας και την κατασκευή του κορδονιού.

Ο πίνακας 2.7 παραθέτει τυπικές αντοχές εφελκυσμού (που εξαρτώνται από τη διάμετρο του νήματος). Οι τεχνικές σχεδίασης και θερμικής επεξεργασίας κατέστησαν δυνατή την παραγωγή υψηλότερων αντοχών εφελκυσμού σε χαμηλότερα επίπεδα άνθρακα. Οι πιο δαπανηρά, ίνες υψηλότερης αντοχής επιτρέπουν ισχυρότερους και ελαφρότερους ιμάντες ίσης αντοχής μειώωοντας έτσι το κόστος ενός ελαστικού.

Filament	% Carbon	Tensile str	Tensile strength (Mpa)			
0.20 mm diameter 0.35 mm diameter						
Regular tensile (RT)	ca. 0.7	3000	2600			
High tensile (HT)	ca.0.8	3400	3000			
Super high tensile (SHT)	ca.0.9	3650	3400			
Ultra high tensile (UHT)	ca.0.96	4000	3650			

Πίνακας 2.7: Τυπικές αντοχές εφελκυσμού των χαλύβδινων κορδονιών

Construction	Lay	Lay	Breaking	Cord	Linear
	(mm)	direction	(N)	(mm)	(g/m)
Passenger tire belt	(IIIII)		(11)	(IIIII)	(5/11)
2+1x0.28 HT	-16	-S	555	0.70	1.47
2+2x0.25 HT	-14/14	-SS	605	0.65	1.55
LT carcass					
3x0.20+9x0.175(CC)	10	S	855	0.75	2.49
2+7x0.20 HT	5.6/11.2	SS	915	0.76	2.26
LT belt 2+2x0.35					
НТ	16/16	-SS	1060	0.84	3.03
MT carcass					
3+9x0.22+0.15	6.3/12.5/3.5	SSZ	1290	1.17	3.85
0.20+18x0.175 (CC)	12.5	Ζ	1300	0.90	3.71
MT belt					
3x0.20+6x0.35	10/18	SZ	1660	1.13	5.34
HDT carcass					
3+9+15x0.175	5/10/18	SSZ	1770	1.07	5.20
0.25+18x0.22 (CC)	16	Ζ	2050	1.13	5.85
HDT belt					
3+9+15x0.22+0.15	6.3/12.5/18/3.5	SSZS	2750	1.62	8.50
(protector belt $- 6.5\%$ elongation)					
3+7x0.22 (HE)	4.5/8	SS	1820	1.52	6.95

Πίνακας 2.8: Κατασκευαστικές και φυσικές ιδιότητες των χαλύβδινων κορδονιών ακτινικών ελαστικών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1.ΤΡΙΒΗ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΣΦΥΣΗ

Ο όρος έλξη περιγράφει τη δύναμη που μεταδίδεται μεταξύ ελαστικού και δρόμου κάτω από όλες τις περιστάσεις. Το λάστιχο κολλάει στο δρόμο με μια ποικιλία μηχανισμών συμπεριλαμβανομένης της μηχανικής αλληλοσύνδεσης των μορίων επαφής της επιφάνειας του με την υφή του οδοστρώματος. Αυτοί οι μηχανισμοί δεν είναι πλήρως κατανοητοί.

Η πρόσφυση είναι απαραίτητη για τον έλεγχο διεύθυνσης, επιτάχυνσης και πέδησης. Η μεγαλύτερη τιμή πρόσφυσης εκδηλώνεται όταν η δύναμη τριβής γίνει ολίσθηση. Επομένως θα πρέπει να λάβουμε υπ όψιν μας δύο πιθανές εκδοχές. Α) Την τριβή του ελαστικού και B) τους μηχανισμούς μετάδοσης αυτής της δύναμης στο ελαστικό ενός τροχού σε συνθήκες περιορισμένης ολίσθησης.

3.1.1. ΤΡΙΒΗ ΚΥΛΙΣΗΣ

Όταν ένα ελαστικό κυλά στο δρόμο, η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα ως αποτέλεσμα του φαινομένου που αναφέρεται ''αντίσταση κύλισης''. Στην πραγματικότητα, το ελαστικό καταναλώνει ένα μέρος της ισχύος που μεταδίδεται στους τροχούς, αφήνοντας έτσι λιγότερη ενέργεια διαθέσιμη για τη μετακίνηση του οχήματος προς τα εμπρός.

Αν εξετάσουμε το ελεύθερα κυλούμενο ελαστικό της εικόνας.

Εικόνα 3.1 τροχός σε τριβή κύλισης



Συνέπεια, της τριβής αυτής είναι, ότι οι δυνάμεις που ασκούνται από το επίπεδο, δεν είναι συμμετρικά κατανεμημένες γύρω από το θεωρητικό σημείο επαφής Α και επομένως η συνισταμένη αντίδραση Η έχει για σημείο εφαρμογής, ένα άλλο (το Ο προς την πλευρά της κίνησης). Στον τροχό ενεργούν, το φορτίο P (ίδιο βάρος και το βάρος του φορτίου που μεταφέρει), η δύναμη Fγια τη διατήρηση της ισοταχούς κίνησης και η αντίδραση H. Αναλύουμε την αντίδραση H σε συνιστώσες T οριζόντια και R κατακόρυφη και έτσι λόγω της ισοταχούς κίνησης, θα έχουμε με βάση τις γνωστές συνθήκες ισορροπίας (ΣX=0, ΣY=0, ΣM=0).

Είναι κατά μέτρο:

Ρ=Rκαι Τ=F

Και ακόμη (KA) T=R . 1

Αλλά και (KA) ≅r,

Όπου r η ακτίνα του τροχού: άρα

$$T \cdot r = R \cdot 1$$

Ή και F. r = P. l, σχέση που μπορεί να γραφεί και ως

$$\mathbf{F} = \frac{l}{r} \cdot \mathbf{P} \tag{2}$$

Από τη σχέση αυτή έχουμε ότι η F, η δύναμη που είναι αναγκαία για την ισοταχή κίνηση του τροχού, είναι ανάλογη προς το φορτίο του. Πράγματι, από πείρα, είναι γνωστό ότι ένα όχημα βαρυφορτωμένο, θέλει μεγάλη δύναμη για να κινηθεί. Η δύναμη F, από την ίδια σχέση, είναι αντιστρόφως ανάλογη προς την ακτίνα r του κυλίνδου. Γι αυτό στα οχήματα έχουμε μεγάλες ρόδες. Παρατηρώντας το σχήμα 1, βλέπουμε ότι η ροπή F. r είναι η κινούσα ροπή, ενώ η ροπή R. l είναι η ανθιστάμενη. Δηλαδή, η ροπή $M_K = R \cdot l$ είναι η τριβή κύλισης και ο μοχλοβραχίονας της ροπής αυτής, το l ονομάζεται συντελεστής τριβής κύλισης. Η τιμή τους εξαρτάται από την πλαστικότητα των υλικών. Μέσες τιμές του συντελεστού τριβής κύλισης διαφόρων υλικών και η οποία έχει διαστάσεις μήκους, δίνονται παρακάτω.

Λαμβάνοντας υπόψη μας τις παραπάνω σχέσεις, η τριβή κύλισης M_K μπορεί να γραφεί και ως M_K =P. 1 (3)

Από όπου συμπεραίνουμε ότι η τιμή της είναι ανάλογη προς το φορτίο του τροχού.

Δηλαδή η αντίσταση κύλισης είναι η προσπάθεια που απαιτείται για να κυλήσει ένα ελαστικό και το μέγεθός της εξαρτάται από το ελαστικό που χρησιμοποιείται, τη φύση της επιφάνειας επί της οποίας κυλά, την πίεση του ελαστικού, το φορτίο και την ταχύτητα.

Για ένα ελαστικό σε διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος, dt, το ελαστικό μετακινείται σε απόσταση ds = v dt σε σχέση με την επιφάνεια στην οποία κυλά. Η ταχύτητα οδοστρώματος v, είναι η ταχύτητα με την οποία το ελαστικό κινείται ως προς τον δρόμο.

Η μηχανική απώλεια της ενέργειας του ελαστικού για το διάστημα dt δίνεται από

 $\delta W tire = F_R ds = F_R v dt,$

(4)

(1)

όπου F_R είναι η αντίσταση κύλισης. Δεδομένου ότι η ισχύς γενικά δίνεται συναρτήσει της ταχύτητας και της δύναμης, η αντίσταση κύλισης μπορεί να υπολογιστεί από την ισχύ εισόδου και εξόδου, ως $F_R = (Pin-Pout) / v.$ (5) [11]

3.1.2. ΦΥΣΙΚΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΛΙΣΗΣ- ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ

Καθώς ένα ελαστικό κυλά, υποβάλλεται σε επαναλαμβανόμενη παραμόρφωση που οδηγεί σε διάχυση ενέργειας από το ελαστικό. Κάθε υλικό σημείο του ελαστικού υφίσταται έναν κύκλο παραμόρφωσης για κάθε περιστροφή, ειδικά στην περιοχή της επιφάνειας επαφής του ελαστικού με την επιφάνεια του δρόμου.

Αυτή η πλάτυνση των ελαστικών στην επιφάνεια επαφής προκαλεί τρία κύρια είδη παραμόρφωσης: α)κάμψη της στεφάνης του πέλματος, των πλευρικών τοιχωμάτων και της περιοχή σύνδεσης με τη ζάντα β) συμπίεση του πέλματος γ) και διάτμηση του πέλματος και των πλευρικών τοιχωμάτων.





3.1.3 ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΤΕΦΑΝΗ ΠΕΛΜΑΤΟΣ

Ένα ελαστικό σε επαφή με το δρόμο αναπτύσσει μια επίπεδη επιφάνεια επαφής, ευθυγραμμίζοντας την περιφερειακή στεφάνη του ελαστικού τόσο κατά μήκος όσο και εγκάρσια, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.3

Εικόνα 3.3 (α) Διαμήκης και(Β) εγκάρσια κάμψη του ελαστικού στην επιφάνεια επαφής.



Εικόνα 3.4: Διαμήκης κάμψη της στεφάνης: (α) συνολικές παραμορφώσεις του ελαστικού, (β) παραμορφώσεις σε διαφορετικές περιφερειακές θέσεις στην περιοχή της στεφάνης.



Καθώς η στεφάνη εισέρχεται στην επιφάνεια επαφής, η περιφερειακή καμπυλότητα της αλλάζει λόγω της διαμήκους κάμψης. Πριν από την επαφή με το έδαφος, η στεφάνη

κάμπτεται πρώτη, με αποτέλεσμα να έχει μια μικρότερη ακτίνα καμπυλότητας από ότι στο υπόλοιπο μη παραμορφωμένο ελαστικό. Στην επιφάνεια επαφής η στεφάνη ευθυγραμμίζεται και η ακτίνα της καμπυλότητας γίνεται άπειρη.

Στην περιοχή εξόδου της επαφής έχουμε μια χαμηλή ακτίνα καμπυλότητας ,ίδια με εκείνη στην περιοχή εισόδου. Τέλος, πέρα από την περιοχή επαφής η στεφάνη επιστρέφει στο αρχικό της σχήμα. Έτσι, τόσο η ελάχιστη και η μέγιστη καμπυλότητα της στεφάνης βρίσκονται στην περιοχή γύρω από το σημείο επαφής. Στην πραγματικότητα, το μεγαλύτερο μέρος της ενεργειακής απώλειας στο ελαστικό, υπάρχει μέσα σε αυτή τη ζώνη επαφής με το έδαφος κατά την κύλιση.

Η στεφάνη του ελαστικού μπορεί να παρομοιαστεί με μια σύνθετη δομή τριών στρωμάτων όπου το κεντρικό στρώμα είναι ο ιμάντας με ενισχυτικά κορδόνια που το καθιστούν τόσο μη επεκτάσιμο όσο και ασυμπίεστο και τα δύο εξωτερικά στρώματα - το πέλμα και η επένδυση - είναι μαλακά ιξωδοελαστικά υλικά. Όταν η στεφάνη καμπυλώνεται, το εξωτερικό στρώμα (πέλμα) είναι τεντωμένο και το εσωτερικό στρώμα (επένδυση) συμπιέζεται. Αντίθετα, όταν ισιώσει, το εξωτερικό στρώμα συμπιέζεται και το εσωτερικό στρώμα τεντώνεται. Παρόμοια φαινόμενα συμπίεσης / εφελκυσμού εμφανίζονται σε όλο το πλάτος της στεφάνης λόγω εγκάρσιας κάμψης. Αυτή η επαναλαμβανόμενη παραμόρφωση οδηγεί σε απώλεια ενέργειας και συμβάλλει ουσιαστικά στην αντίσταση κύλισης.

Η συμπίεση του πέλματος πραγματοποιείται επίσης στο σημείο επαφής λόγω του φορτίου που φέρει το ελαστικό. Τα τυπικά επίπεδα συμπίεσης είναι περίπου 5% για τα ελαστικά επιβατικών αυτοκινήτων και 14% για τα ελαστικά φορτηγών. Το πραγματικό επίπεδο εξαρτάται από την τοπική τάση, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από την πίεση του αέρα και το φορτίο.

Στην περιοχή επαφής του ελαστικού, οι κανονικές δυνάμεις που προκύπτουν από το φορτίο πρέπει να εξισορροπούνται τοπικά με τη δύναμη που παράγεται από την εσωτερική πίεση του ελαστικού, συνεπώς οι κατακόρυφες τάσεις στο σκελετό του ελαστικού περιορίζονται από την πίεση των ελαστικών. Σαν αποτέλεσμα αυτού, το μήκος της επαφής(ελαστικού-δρόμου) ρυθμίζεται για να μεταφέρει το φορτίο. Τα μέσα όρια τάσης και καταπόνησης του πέλματος είναι σχεδόν ανεξάρτητα από το ίδιο το φορτίο. Όταν εφαρμόζεται μεγαλύτερο φορτίο, έχουμε μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής με αποτέλεσμα μεγαλύτερη περίοδο συμπίεσης για κάθε σημείο υλικού που διέρχεται από την επιφάνεια επαφής.

Η αναλογία κενών μεταξύ του σχεδιασμού του πέλματος και του μεγέθους του συνολικού μπλοκ πέλματος, έχει σημαντική επίδραση στην τάση συμπίεσης και την τάση στο μπλοκ-τακούνι του πέλματος. Εάν ο σχεδιασμός του πέλματος χρησιμοποιεί μεγάλη αναλογία κενών, οι τάσεις στο πέλμα πρέπει να είναι μεγαλύτερες ώστε να μεταδίδουν το ίδιο φορτίο στο σκελετό. Η μέση πίεση πάνω στο έλασμα επαφής (η συνολική επιφάνεια του πέλματος, συμπεριλαμβανομένης της περιοχής των κενών) είναι κοντά στην πίεση των 2 bar για ελαστικό επιβατηγού αυτοκινήτου και 8 bar για ελαστικό φορτηγού. Εντούτοις, η επιφάνεια του πέλματος περιλαμβάνει αυλακώσεις και άλλα χαρακτηριστικά, δηλ. κενά, που αποτελούν περίπου το 30% του πέλματος για τα περισσότερα ελαστικά. Μόνο το άλλο 70% βρίσκεται σε επαφή με την επιφάνεια του δρόμου. Η πίεση που ασκείται στα μπλοκ-τακούνια πέλματος στο έλασμα επαφής (Pcontact) εξαρτάται από τη σχέση κενών (Void) και της πίεσης του ελαστικού (Ptire) με τον ακόλουθο τρόπο:

Pcontact = Ptire / $(1 - \kappa \epsilon v \acute{o})$

Η εξίσωση 6 υποδηλώνει ότι η μέση πίεση που ασκείται στα μπλοκ πέλματος σε επαφή με την επιφάνεια του δρόμου είναι περίπου 45% υψηλότερη για μια τυπική τιμή του λόγου κενών/επιφάνεια πέλματος, δηλ. περίπου 3 bars για ένα ελαστικό επιβατικών αυτοκινήτων και 11 bars για ένα ελαστικό φορτηγού.

Όταν ένα μπλοκ- τακούνι πέλματος είναι συμπιεσμένο κάθετα, επεκτείνεται πλευρικά, επειδή τα ελαστικά συμπαγή είναι ουσιαστικά ασυμπίεστα σε όγκο. Έτσι, η δυσκαμψία συμπίεσης ενός μπλοκ πέλματος αυξάνεται καθώς αυξάνεται η πίεση συμπίεσης. Το αποτέλεσμα εξαρτάται από την αναλογία ύψους προς πλάτος. Ένα μικρό, ευρύ μπλοκ αυξάνει τη δυσκαμψία συμπίεσης περισσότερο από ένα ψηλό, στενό μπλοκ.



Εικόνα 3.5: Κίνηση μπλοκ πέλματος διαμέσου του επιθέματος επαφής για ελαστικό ελεύθερης έλασης χωρίς γωνία ολίσθησης.

Εκτός από τις τάσεις κάμψης και συμπίεσης που εμφανίζονται στην στεφάνη του ελαστικού, δημιουργούνται επίσης διατμητικές τάσεις και παραμορφώσεις από τις πιέσεις οδήγησης και πέδησης στη διάρκεια της κύλισης. Όταν ένα μπλοκ του πέλματος έρθει σε επαφή με το δρόμο, επειδή το ελαστικό είναι στρογγυλό, το μπλοκ δεν έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του δρόμου κάθετα αλλά υπό γωνία, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 3.5 . Σε αυτή τη στιγμή, φαίνεται να κλίνει προς τα πίσω. Δεδομένου ότι η ζώνη ελαστικού είναι σε μεγάλο βαθμό μη επεκτάσιμη (λόγω των κορδονιών) αλλά το μπλοκ είναι παραμορφώσιμο, η κίνηση του μπλοκ στο πέλμα υπαγορεύεται από την ζώνη. Με την έλλειψη ολίσθησης μεταξύ της επιφάνειας του οδοστρώματος και του πέλματος (καλή πρόσφυση σε ξηρό δρόμο), η γωνία του μπλοκ πέλματος καθορίζεται από τη σχετική θέση μεταξύ του σημείου πρόσκρουσής του στην επιφάνεια του οδοστρώματος (μπλε κουκκίδα στην εικόνα 3.5) και το σημείο προσάρτησης του στη ζώνη (πράσινη κουκίδα). Για να "κρατήσει" την επαφή με τη ζώνη, καθώς πλησιάζει το κέντρο της επαφής εμπλοκής, το μπλοκ του πέλματος σταδιακά γίνεται ξανά όρθιο.

Οι τάσεις διάτμησης παράγονται επίσης κατά τη πλευρική διεύθυνση μέσα στο σημείο επαφής, του μπλοκ με το δρόμο, είναι αποτέλεσμα της πλευρικής κάμψης της στεφάνης και των δυνάμεων που μεταδίδονται διαμέσου του πέλματος.[12]

3.1.4 ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΠΛΕΥΡΙΚΟΥ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΤΕΦΑΝΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΤΗ ΖΑΝΤΑ

Ενώ η στεφάνη πέλματος του ελαστικού παραλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της απορρόφησης ενέργειας, οι πλευρικές περιοχές και οι περιοχές των σύνδεσης στη ζάντα του ελαστικού, αντιπροσωπεύουν ένα 30%. Το ποσοστό αυτό μπορεί να επηρεαστεί από το σχεδιασμό των ελαστικών, ιδιαίτερα στην περιοχή σύνδεσης στη ζάντα. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να κατανοηθούν οι κύριες παραμορφώσεις που συμβαίνουν στις περιοχές των περιμετρικών κορδονιών και των πλευρικών τοιχωμάτων.

Για τη σύνδεση στη ζάντα και το πλευρικό τοίχωμα, η κάμψη της περιοχής ακριβώς πάνω από την επιφάνεια επαφής με το έδαφος είναι σημαντική. Η φόρτωση του ελαστικού και η συμπίεση στην περιοχή επαφής αναγκάζουν το κάτω πλευρικό τοίχωμα και τη σύνδεση στη ζάντα να διογκώνονται και να καμφθούν. Η ευκαμψία σε αυτή την περιοχή έχει ως αποτέλεσμα την συμπίεση και την εφελκυστική τάση στις εσωτερικές και εξωτερικές περιοχές της ζώνης κάμψης, με τρόπο παρόμοιο με αυτόν που συζητήθηκε παραπάνω για την στεφάνη του ελαστικού.

Στο πλευρικό τοίχωμα τα κορδόνια καθορίζουν συνήθως τον ουδέτερο άξονα κάμψης. Ως εκ τούτου το αποτέλεσμα είναι κυρίως η δημιουργία τάσης του ελαστικού στην εξωτερική επιφάνειά του και η συμπίεση της εσωτερικής επένδυσης.

Εξω από την περιοχή επαφής στο άνω μισό του ελαστικού, τα κορδόνια στο πλευρικό τοίχωμα στηρίζουν το εφαρμοζόμενο φορτίο και η περιοχή του πλευρικού τοιχώματος θα ισιώσει κάπως σε σχέση με τη μορφή του αφόρτωτου ελαστικού. Αυτή η παραμόρφωση μπορεί να προκαλέσει τάσεις κάμψης στην αντίθετη κατώτερη θέση των ελαστικών, αν και η κάμψη που προκύπτει από αυτή την "αντίθετη εκτροπή" η οποία είναι λιγότερο σημαντική από αυτή που συμβαίνει πάνω από το σημείο επαφής με το δρόμο. Η κάμψη του πλευρικού τοιχώματος και οι κυκλικά μεταβαλλόμενες καταπονήσεις και εφελκυστικές τάσεις, καθώς κάθε σημείο ταξιδεύει διαμέσου της περιοχής επαφής, είναι υπεύθυνες για το μεγαλύτερο μέρος της ενεργειακής διασποράς στο πλευρικό τοίχωμα.

Επίσης μια άλλη παραμόρφωση της ακτινικής μορφής του πλευρικού τοιχώματος στην περιοχή σύνδεσης στη ζάντα, συμβάλλει στην αντίσταση κύλισης. Αυτή η παραμόρφωση είναι το αποτέλεσμα, της μη εκτατότητας των πτυχών της ζώνης στρωμάτων, όταν η στεφάνη του ελαστικού ισιώσει ερχόμενη σε επαφή με το έδαφος και αποκλίνοντας από την αρχικά ακτινική του μορφή που είχε. Αυτή η αναδιαμόρφωση εκτείνεται μέσω του πλευρικού τοιχώματος έως στην περιοχή της σύνδεσης στη ζάντα. Ως αποτέλεσμα, το ελαστικό που περιβάλλει τα κορδόνια των σωματικών στρώσεων τεντώνεται και κόβεται, προκαλώντας διαρροή ενέργειας.

Κατά τη διάρκεια της επιτάχυνσης και της πέδησης και για να ξεπεραστούν οι δυνάμεις έλξης που επενεργούν σε ένα όχημα κατά τη λειτουργία του, πρέπει να εφαρμοστεί ροπή στρέψης στον τροχό. Αυτή η ροπή μεταδίδεται μέσω του ελαστικού για να παράγει μια δύναμη στην επιφάνεια του δρόμου. Όταν εφαρμόζεται ροπή, οι περιοχές των συνδέσεων στη ζάντα και του πλευρικού τοιχώματος μεταφέρουν τις δυνάμεις από τη ζάντα στην στεφάνη με τη διάτμηση των υλικών. Αυτό δημιουργεί στρεπτική διάτμηση στα υλικά και επίσης έχει ως αποτέλεσμα την αναδιαμόρφωση της ακτινικής μορφής των σωματικών στρώσεων, με διαφορετικό τρόπο από αυτό της φόρτισης του ελαστικού.

Όμοια πολλές από τις παραμορφώσεις που συμβαίνουν στο πλευρικό τοίχωμα εμφανίζονται σε κάποιο βαθμό επίσης στην περιοχή σύνδεσης στη ζάντα του ελαστικού. Επιπροσθέτως στην περιοχή σύνδεσης στη ζάντα όπου τα όρια μεταξύ υλικών έχουν

διαφορετική ακαμψία, η διάτμηση του μαλακού υλικού μπορεί να είναι σημαντική. Εξαιτίας του φαινομένου αυτού, η απώλεια ενέργειας συμβάλει σημαντικά στην αντίσταση κύλισης. Στην κατεύθυνση ύφανσης του κορδονιού, το σώμα του στρώματος παρέχει υψηλή ακαμψία που αντιστέκεται στην επέκταση του ελαστικού. Γι αυτό το λόγο, οποιαδήποτε κάμψη του ελαστικού σε μια κατεύθυνση που προσπαθεί να επεκτείνει τα κορδόνια υφάσματος θα προκαλέσει την διάτμηση του περιβάλλοντος υλικού. [12]

3.1.5 ΠΙΕΣΗ, ΦΟΡΤΙΟ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑ

Η αντίσταση κύλισης F_R αυξάνει σχεδόν αναλογικά με το εφαρμοζόμενο φορτίο λόγω των αυξημένων επιπέδων κάμψης και διατμήσεως που συμβαίνουν. Ως αποτέλεσμα ορίζουμε έναν συντελεστή αντίστασης κύλισης, ο οποίος είναι

$$C_R = F_R/Fz$$
,

(7)

όπου Fz είναι το κατακόρυφο φορτίο που εφαρμόζεται στο ελαστικό. Ενώ ο συντελεστής είναι ένας αριθμός, χωρίς μονάδες, συχνά εκφράζεται είτε ως ποσοστό είτε με τη χρήση μονάδων δύναμης σε χιλιόγραμμα για την αντίσταση κύλισης (δύναμη ανά κιλό = 9,81 N) και μετρικούς τόνους για το φορτίο (1 ton = 1000 kgf). Η προκύπτουσα μονάδα είναι kg / t. Έτσι, ένας συντελεστής CR 0,008 μπορεί επίσης να εκφραστεί ως 0,8% ή 8 kg / t. Μια τυπική σειρά C_R για τα σύγχρονα ελαστικά επιβατικών αυτοκινήτων είναι 7-12 kg / t και για τα ελαστικά βαρέων φορτηγών είναι 5-7 kg/t. Οι χαμηλότερες τιμές για τα ελαστικά φορτηγών είναι αποτέλεσμα της μεγαλύτερης ακαμψίας τους, λόγω των αυξημένων πιέσεων λειτουργίας και της χρήσης σκελετού από χαλύβδινο κορδόνι. [10]

Αν και η επίδραση φορτίου στην αντίσταση κύλισης των ελαστικών είναι κατά προσέγγιση γραμμική, η αύξηση της απόδοσης ενέργειας που συνοδεύει ένα αυξημένο φορτίο προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας του ελαστικού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα χαμηλότερο συντελεστή απώλειας υστέρησης για τα ελαστομερή υλικά και συνεπώς ο συντελεστής αντίστασης κύλισης συχνά μειώνεται κάπως με το αυξανόμενο φορτίο, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.6.

Εικόνα 3.6: Επίδραση του φορτίου στην αντίσταση κύλισης για τα ελαστικά επιβατικών αυτοκινήτων. Η αντίσταση κύλισης απεικονίζεται ως ποσοστό αυτού που μετράται στο 80% της μέγιστης χωρητικότητας φορτίου του ελαστικού



Η μείωση της πίεσης επηρεάζει τις συνολικές παραμορφώσεις του ελαστικού κατά τρόπο παρόμοιο με αυτόν του αυξημένου φορτίου. Οι αυξημένες τάσεις κάμψης και διάτμησης έχουν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη αντίσταση κύλισης. Εντούτοις, σε ορισμένες περιπτώσεις, η μείωση των τάσεων συμπίεσης στο πέλμα μπορεί να αντισταθμίσει τις παραμορφώσεις κάμψης σε τέτοιο βαθμό ώστε η μείωση της πίεσης να έχει μικρή

επίδραση στην αντίσταση κύλισης και σε μερικές περιπτώσεις η αντίσταση κύλισης μπορεί ακόμη και να μειώνεται.

Για παράδειγμα τα ελαστικά φορτηγών που έχουν τη δομή των μπλοκ στο πέλμα είναι πιθανότερο να έχουν αυτό το αποτέλεσμα, καθώς τα μπλοκ πέλματος τείνουν να παραμορφώνονται περισσότερο υπό συμπίεση απ'ότι οι πλευρές.

Στα σχέδια πέλματος από καουτσούκ, τα οποία παρέχουν πρόσθετη πλευρική ακαμψία, μειώνονται οι συμπιεστικές καταστάσεις λόγω φορτίου στο πέλμα. Αυτό με τη σειρά του μειώνει τη συμβολή στην αντίσταση κύλισης του ελαστικού που προκύπτει από τη συμπίεση. Για τα ελαστικά επιβατικών αυτοκινήτων, η πίεση πλήρωσης δεν είναι συνήθως αρκετά υψηλή ώστε η συμπίεση να αποτελεί σημαντική πηγή της συνολικής ενεργειακής απώλειας. Η εικόνα 3.7 δείχνει την τυπική επίδραση της πίεσης στην αντίσταση κύλισης τόσο για τα ελαστικά επιβατικών αυτοκινήτων όσο και για τα ελαστικά φορτηγών.

Εικόνα 3.7: Επίδραση της πίεσης των ελαστικών στην αντίσταση κύλισης για

α) ελαστικά επιβατικών αυτοκινήτων και β) ελαστικά φορτηγών. Η αντίσταση κύλισης απεικονίζεται ως ποσοστό αυτού που μετράται στην κατάσταση ονομαστικής πίεσης.



Η αυξημένη ταχύτητα επηρεάζει την τριβή κύλισης ενός ελαστικού. Γενικότερα η αντίσταση κύλισης αυξάνεται ως αποτέλεσμα των φυγοκεντρικών δυνάμεων. Επίσης, η αυξημένη ταχύτητα προκαλεί την αύξηση της συχνότητας παραμόρφωσης, tan δ, των υλικών από καουτσούκ. Από την άλλη πλευρά, ο υψηλότερος ρυθμός παραγωγής θερμότητας, q, προκαλεί την άνοδο της θερμοκρασίας του ελαστικού και η αυξημένη

θερμοκρασία μειώνει την κλίση tan δ, επίσεις αυξάνει η εσωτερική πίεση αέρα του ελαστικου άρα και η η ακαμψία του. Ο συνδιασμός όλων αυτών οδηγεί στην μείωση της αντίστασης κύλισης.

Ενώ η μεταβολή του φορτίου ή της πίεσης με δεδομένο ποσοστό έχει ως αποτέλεσμα διαφορές στην αντίσταση κύλισης που έχουν την ίδια τάξη μεγέθους με την αλλαγή παραμέτρου, η μεταβολή της αντίστασης κύλισης με την ταχύτητα είναι γενικά πολύ μικρότερη, τουλάχιστον για ταχύτητες κάτω από αυτές που αρχίζουν να σχηματίζονται ταλαντώσεις.

Σε επίπεδη επιφάνεια με ταχύτητες κάτω από 120 km / h, δεν παρατηρείται τυπικά σχηματισμός ταλαντώσεων και η αύξηση της αντίστασης κύλισης είναι αρκετά μικρή. Οι φυγόκεντρες δυνάμεις προκαλούν την αύξηση της ακτίνας του ελαστικού στο αντίθετο σημείο (την άνω περιοχή) από την επαφή με το έδαφος, ενώ οι παραμορφώσεις που σχετίζονται με την πλάτυνση της επιφάνειας επαφής του ελαστικού παραμένουν σχεδόν σταθερές σε διάφορες ταχύτητες. Το αποτέλεσμα είναι ότι οι σχετικές μετατοπίσεις κάθε περιοτροφής είναι μεγαλύτερες σε υψηλότερη ταχύτητα, με αποτέλεσμα την υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας για κάθε κύκλο. Σε ελαστικά με κάλυμμα στρώματος από νάιλον, ειδικά για τα ελαστικά με δείκτη ταχύτητας Η ή μεγαλύτερη, η προστιθέμενη ενίσχυση στεφάνης τείνει να ελαχιστοποιεί τις επιδράσεις της φυγοκέντρησης και η μεταβολή της αντίστασης κύλισης με την ταχύτητα τείνει να μειώνεται. Η εικόνα 3.8 δείχνει την τυπική επίδραση της ταχύτητας στην αντίσταση κύλισης για δύο ελαστικά επιβατικών αυτοκινήτων, με και χωρίς κάλυμμα στρώσης από νάιλον. [14]

Εικόνα 3.8: Επίδραση της ταχύτητας στην αντίσταση κύλισης. Η αντίσταση κύλισης απεικονίζεται ως ποσοστό αυτού που μετράται στα 80 km / h.



3.1.6 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΡΟΠΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ Η ΡΟΠΗ ΠΕΔΗΣΗΣ

Η ροπή οδήγησης ή πέδησης που εφαρμόζεται σε ένα ελαστικό επηρεάζει άμεσα τις παραμορφώσεις και τις καταπονήσεις διατμήσεως και μπορεί να έχει μεγάλο αντίκτυπο στην αντίσταση κύλισης. Καθώς αυξάνεται το μέγεθος της ροπής (οδήγηση ή φρενάρισμα), η αντίσταση κύλισης αυξάνεται βαθμιαία μέχρι το σημείο της ολίσθησης στην επιφάνεια του δρόμου. Αυτή η ταχεία αύξηση συμβαίνει όταν προσεγγίζεται η μέγιστη ροπή που μπορεί να μεταδώσει το ελαστικό.

Σε χαμηλά έως μέτρια επίπεδα ροπής, η διάτμηση του πέλματος και του πλευρικού τοιχώματος είναι οι κύριοι συντελεστές της αντίστασης κύλισης. Ωστόσο σε μεγάλη ροπή, , η υπερβολική συμβολή δεν αυξάνεται πέρα από το μέγιστο επίπεδο και μεγάλο

μέρος της απώλειας ενέργειας στη συνέχεια οφείλεται καθαρά σε τριβή στην επιφάνεια επαφής. Πέρα από τη μέγιστη ροπή, ο τροχός αρχίζει να περιστρέφεται ή είναι πλήρως ασφαλισμένος (πέδηση) και η ροπή που μεταφέρεται στο έδαφος μειώνεται.

O Schuring αξιολόγησε την επίδραση της ροπής στρέψης και ισχυρίστηκε ότι η ελάχιστη αντίσταση κύλισης δεν συμβαίνει υπό συνθήκες ελεύθερης κύλισης, αλλά κάτω από μια μικρή ροπή οδήγησης. Η εφαρμοζόμενη ροπή στρέψης δίνεται όπως είδαμε από το :

$$FR = (T\omega/\nu) - Fx,$$

(8)

όπου Τ είναι η ροπή, ω είναι η γωνιακή ταχύτητα του περιστρεφόμενου τροχού και V η ταχύτητα κίνησης. Υπό συνθήκες ελεύθερης έλασης, η ροπή είναι μηδέν και η τιμή του Fx είναι αρνητική, δηλαδή η δύναμη που ασκεί το ελαστικό στην επιφάνεια επαφής αντιτίθεται στην κίνηση προς τα εμπρός.

Όταν εφαρμόζεται μια θετική ροπή, αυτή η δύναμη γίνεται λιγότερο αρνητική και τελικά γίνεται θετική, έτσι ώστε η αντίσταση κύλισης να μειώνεται από τη δύναμη Fx που επενεργεί στην εμπλοκή επαφής. Εάν Fx αυξάνεται πιο γρήγορα από τον όρο Tω / ν, τότε η αντίσταση κύλισης θα μειωθεί. Ο Schuring έδειξε ότι πράγματι υπάρχει ελάχιστη αντίσταση κύλισης σε θετική ροπή στρέψης για τα ελαστικά. Ισχυρίστηκε ότι ο φυσικός μηχανισμός που είναι υπεύθυνος για αυτό το εκπληκτικό αποτέλεσμα είναι ότι μια μικρή θετική ροπή μπορεί να μειώσει τις απώλειες ολίσθησης που συμβαίνουν κατά την ελεύθερη κύλιση. Επίσης σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρήθηκε μια ελάχιστη αντίσταση κύλισης σε συνθήκες φρεναρίσματος. Ίσως κάποιος παράγοντας σχεδιασμού των ελαστικών να υπαγορεύει σχετικούς ρυθμούς αύξησης των όρων Τω/ ν και Fx, και έτσι προσδιορίζει το επίπεδο ροπής στο οποίο η αντίσταση κύλισης είναι ελάχιστη. [12]

Εικόνα 3.9: Αντίσταση σε κύλιση σε συνάρτηση με τη διαμήκη δύναμη (ροπή οδήγησης / πέδησης) για διάφορα κατακόρυφα φορτία.



3.2.ΤΡΙΒΗ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ

Η αντίσταση στην τριβή μιας επιφάνειας επί της άλλης χαρακτηρίζεται από τον συντελεστή **τριβής Coulomb** μ, που δίνεται από την αναλογία της δύναμης τριβής F σε κανονική δύναμη N:

$\mu = F / N$

(9)

Αλλά για το μαλακό ελαστικό που ολισθαίνει σε μια λεία επιφάνεια, η δύναμη τριβής είναι περισσότερο ή λιγότερο σταθερή, ανεξάρτητα από το φορτίο Ν, καθώς το εφαρμοζόμενο φορτίο ή πίεση αυξάνεται, πιθανώς επειδή σε αρκετά μικρά φορτία επιτυγχάνεται πλήρης επαφή μεταξύ μαλακού καουτσούκ και ομαλής επιφάνειας αντιστάθμισης. Πέρα από αυτό το σημείο, περαιτέρω αυξήσεις στο κανονικό φορτίο δεν μπορούν να αυξήσουν τον βαθμό αλληλεπίδρασης μεταξύ των δύο υλικών (δρόμος και καουτσούκ) και έτσι η δύναμη τριβής δεν αυξάνεται πλέον.Συνεπώς ο "συντελεστής" τριβής μειώνεται συνεχώς καθώς αυξάνεται η πίεση, εικόνα 3.10. [6]

Εικόνα 3.10: Εξάρτηση του συντελεστή τριβής στην πίεση επαφής.



Για τις σκληρότερες ενώσεις από καουτσούκ που ολισθαίνουν σε μια τραχιά επιφάνεια, η δύναμη τριβής αυξάνεται, περίπου κατ'αναλογία προς το εφαρμοζόμενο φορτίο ή πίεση. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να οριστεί ένας "συντελεστής τριβής" που είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητος από την πίεση. Προφανώς, η επαφή των υλικών είναι ελλειπής, για σκληρότερες ενώσεις από καουτσούκ, όπως αυτές που χρησιμοποιούνται στα πέλματα ελαστικών εικόνα3.11. Η αύξηση της πίεσης δημιουργεί μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής και επομένως μια μεγαλύτερη δύναμη τριβής.

Εικόνα 3.11: Ατελής επαφή σε τραχιά επιφάνεια.



3.2.1 *ΚΥΡΙΑ ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΡΙΒΗΣ ΣΕ ΞΕΡΗ ΛΕΙΑ – ΞΕΡΗ ΤΡΑΧΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΛΙΠΑΡΗ ΤΡΑΧΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ.*

O Grosch μετρώντας το συντελεστή τριβής για ένα μπλοκ από καουτσούκ που ολισθαίνει πάνω σε ξηρή τραχιά επιφάνεια, για ευρύ φάσμα ταχυτήτων ολίσθησης και θερμοκρασιών, παρατήρησε πως δημιουργείται σε ένα ορισμένο εύρος ταχυτήτων σε διάφορες θερμοκρασίες, μια κύρια καμπύλη για τον συντελεστή τριβής μ συναρτήσει του log (ταχύτητα ολίσθησης ν).

Εικόνα 3.12: Πειραματικά δεδομένα τριβής (αριστερά) ως συνάρτηση της ταχύτητας log σε διαφορετικές θερμοκρασίες και master curve (δεξιά) μιας ένωσης καουτσούκ με ABR σε ένα καθαρό και στεγνό καρβίδιο πυριτίου 180 σε επιφάνεια κίνησης σε θερμοκρασία δωματίου.



Επίσης η ισοτιμία θερμοκρασίας- αναλογίας της εξίσωσης μετασχηματισμού WLF (Williams, Landel και Ferry) που βασίζεται στις ιξωδο-ελαστικές ιδιότητες του καουτσούκγια την περιγραφή του ιξώδους. Αυτή η εξίσωση,που εφαρμόζεται και στο δυναμικό συντελεστή,την ενέργεια θραύσης, αντοχής, μπορεί να εφαρμοστεί και σε τριβές τόσο για απλά ελαστικά αλλά και για ελαστικά με πληρωτικές ενώσεις.

Ετσι στην εικόνα 3.12 (στο αριστερό κομμάτι της) βλέπουμε τα γραφήματα με τις πειραματικές δοκιμές που επαναλήφθηκαν για ένα εύρος θερμοκρασιών. Σε αυτήν, τα δεδομένα δίνονται σαν log της ταχύτητας και οι καμπύλες για διαφορετικές θερμοκρασίες φαίνεται να είναι τμήματα μίας ενιαίας καμπύλης, που την ονομάζουμε «master curve». Αυτή η καμπύλη (δεξιό κομμάτι της εικόνας) επιτυγχάνεται από οριζόντιες μετατοπίσεις (συντελεστές μετατόπισης) για μια θερμοκρασία αναφοράς που μας ενδιαφέρει.

Σε καθαρό γυαλί η κύρια καμπύλη τριβής για κολλώδη λάστιχα αυξάνει από πολύ χαμηλές τιμές του loga_Tv σε μία μέγιστη, η οποία μπορεί να φθάσει σε ένα συντελεστή τριβής άνω του 3 και στη συνέχεια πέφτει για υψηλές τιμές του loga_Tv σε τιμές συντελεστή τριβής περίπου 0.3, ο οποίος αφορά σκληρά υλικά. Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Εικόνα 3.13: Master καμπύλη του συντελεστή τριβής μιας ένωσης ABR σε σχετικά ομαλή καθαρή στεγνή επιφάνεια γυαλιού, σε θερμοκρασία δωματίου.



Εάν η θέση του μεγίστου στον άξονα log a_Tv συγκριθεί με εκείνη της μέγιστης σε μία καμπύλη του, Tand σε σχέση με log a_Tf, όπου f είναι η συχνότητα παραμόρφωσης, για το λόγο vm / fm λαμβάνουμε ένα σταθερό μήκος ''d'' μοριακών διαστάσεων ($6x10^{-9}$ m).

Εικόνα 3.14: Τριβή ολίσθησης ομαλή ξηρή επιφάνεια



Συνεπώς, ο Grosch κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η τριβή ολίσθησης σε μια ξηρή λεία επιφάνεια, οφείλεται στην ενέργεια που διαχέεται καθώς το καουτσούκ κολλά και γλιστρά σε μοριακή κλίμακα.

Ο Schallamach εξήγησε αυτήν την συμπεριφορά σαν μια διαδικασία χαλάρωσης, υπό το πρίσμα μιας δυναμικής διαδικασίας, ως αποτέλεσμα του σπασίματος και της δημιουργίαςτων δεσμών πρόσφυσης. Συμπερασματικά και οι δύο υπόδειξαν ότι η τριβή προκύπτει από μοριακή πρόσφυση.

Επίσης ο Grosch μετρώντας με τον ίδιο τρόπο το συντελεστή τριβής για ένα μπλοκ από καουτσούκ που ολισθαίνει πάνω σε λιπαρή τραχιά επιφάνεια, για ευρύ φάσμα ταχυτήτων ολίσθησης και θερμοκρασιών, κατέγραψε την κύρια καμπύλη για τον συντελεστή τριβής μ συναρτήσει του log (ταχύτητα ολίσθησης ν). Κατόπιν, υπολογίζοντας τις μετατοπίσεις (εξίσωση WLF), πήρε την καμπύλη του tan δ σε σχέση με τη συχνότητα ταλάντωσης fκαι μαζί με την καμπύλη τριβής μ, συναρτήσει του log, υπολόγισε το λόγο vm / fm, του οποίου ο μήκος ''d'' είχε διαστάσεις 1mm, περίπου ίδια με το ύψος των εξογκωμάτων της τραχιάς επιφάνειας. Έτσι, η τριβή ολίσθησης σε μια τραχιά λιπασμένη επιφάνεια, μπορεί να αποδοθεί στην ενέργεια που διαχέεται καθώς το λάστιχο συμπιέζεται και απελευθερώνεται με τη διέλευση από τις οδικές τραχύτητες.



Εικόνα 3.15 Τριβή ολίσθησης ομαλή ξηρή / λιπαρή επιφάνεια

Επίσης παρατηρώντας τις (εικόνα 3.12-13) φαίνεται ότι η καμπύλη περνάει μέσα από μια μέγιστη τιμή, σαν ένα εξόγκωμα, σε κατά προσέγγιση στην ίδια θέση log a_Tv όπως για την ίδια ένωση σε γυαλί. Ωστόσο, στη συνέχεια ανεβαίνει παραπάνω, για να φτάσει σε ένα ακόμα μεγαλύτερο ύψος, παρόμοιο με εκείνο της επιφάνειας του γυαλιού, αλλά σε πολύ υψηλότερη τιμή του log a_Tv. [15]

Εικόνα 3.16 Τριβή ολίσθησης ομαλή ξηρή επιφάνεια



3.2.2 *ΟΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΕΠΙ ΤΗΣ MUSTERCURVE*

Οι κύριες καμπύλες τριβής για τα κολλώδη ελαστικά έχουν όλες παρόμοιο σχήμα σε ομαλές επιφάνειες και παρουσιάζουν ένα μέγιστο,στο ίδιο περίπου ύψος. Αυτές διαφέρουν ουσιαστικά στη θέση τους στον άξονα loga_Tv. Αν οι καμπύλες αναφέρονται σε μια σταθερή θερμοκρασία αναφοράς, για παράδειγμα 20 ° C, η θέση του μέγιστου κινείται προς τις χαμηλότερες τιμές loga_Tv, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία μετάπτωσης υάλου του ελαστομερούς. Αν όμως κάθε μία αναφέρεται στη θερμοκρασία μετάπτωσης υάλου της, τα μέγιστα εμφανίζονται σχεδόν στο ίδιο logaTv, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Ως εκ τούτου, η κύρια διαφορά στη συμπεριφορά τριβής στις ομαλές επιφάνειες προκύπτει από τη διαφορά των θερμοκρασιών υαλώδους μετάπτωσης.

Εικόνα 3.17: Η θέση των διαφορετικών ελαστικών καουτσούκ στον άξονα aTv (αριστερά) αναφέρεται στους 20 ° C και (δεξιά) στις τυπικές θερμοκρασίες αναφοράς τους.



Οι μηχανισμοί πρόσφυσης και παραμόρφωσηςτης τριβής σχετίζονται με το φάσμα χαλάρωσης και με τον παράγοντα απώλειας του ελαστικού, αντίστοιχα. Έτσι, η μορφή της κύριας καμπύλης τριβής σε τραχιές επιφάνειες, εξαρτάται από τη διαφορά μεταξύ της θέσης του μέγιστου μέτρου **modulus**απώλειας και του μέγιστου**factor**συντελεστή απωλειών. Όσο μικρότερη είναι αυτή η διαφορά είναι,τα όσο ευρύτερη είναι η κύρια καμπύλη τριβής.

Για λείες επιφάνειες η ακόλουθη σχέση ισχύει για όλα τα πολυμερή μεταξύ των logatvγια μέγιστη τριβή και log atfγια μέγιστο μέτρο δυναμικού συντελεστή

$$[\log (a_T V)]_{smooth} - [\log (a_T F)]_{E''} = -9,22$$
(10a)

Για τραχιές επιφάνειες η ακόλουθη σχέση ισχύει για όλα τα πολυμερή μεταξύ των $\log a_T v$ για μέγιστη τριβή και $\log a_T f$ για μέγιστο μέτρο δυναμικού συντελεστή

 $[\log (a_T V)]_{rough} - [\log (a_T F)]_{tan\delta} = -3.8$ (10β)

από τις 10α και 10β προκύπτει ότι, εάν η διαφορά μεταξύ των δύο λογαριθμικών συχνοτήτων των δυναμικών ιδιοτήτων είναι μικρή, η διαφορά μεταξύ των δύο λογαριθμικών ταχυτήτων τριβής του master curve, πρέπει να είναι μεγάλη. Για παράδειγμα σε υλικό ABR, η διαφορά μεταξύ των δύο λογαριθμικών συχνοτήτων είναι μικρή και ως εκ τούτου η διαφορά μεταξύ των δύο ταχυτήτων log της μέγιστης τριβής πρόσφυσης και παραμόρφωσης τριβής είναι μεγάλη.

Για ελαστικό βουτανίου ισχύουν ακριβώς τα αντίθετα και η διαφορά μεταξύ πρόσφυσης και παραμόρφωσης τριβής είναι τόσο μικρή που δεν μπορεί να διακριθεί. Το σχήμα αυτών των δύο masterκαμπυλών συγκρίνονται μεταξύ τους, στην παρακάτω εικόνα. [10]

Εικόνα 3.18: Σύγκριση των κύριων καμπυλών μιας ένωσης ABR (πάνω A) με μίας ένωσης butyl (κάτω B) σε καθαρό καρβίδιο του πυριτίου 180



3.2.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΛΗΡΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΤΗΣMASTER CURVE.

Οι αγέμιστες ενώσεις που χρησιμοποιούνται παραπάνω για να δειχθεί η επίδραση του πολυμερούς και της επιφάνειας τροχιάς, είναι πάρα πολύ μαλακές για να χρησιμοποιηθούν στα ελαστικά. Οι ενώσεις ελαστικών περιέχουν μία σημαντική ποσότητα πληρωτικών υλικών, κυρίως αιθάλης, αλλά και διοξείδιο του πυριτίου. Η προσθήκη των πληρωτικών υλικών όμως δεν επηρεάζει την εξίσωση WLF – ισοδυναμία ταχύτητας- θερμοκρασίας, αλλά αλλάζει το σχήμα της κύριας καμπύλης τριβής σημαντικά.

Έτσι στην παρακάτω εικόνα έχουμε ένα παράδειγμα που δείχνει τις κύριες καμπύλες για μια ένωση ABR (α) χωρίς πρόσθετα, (β) γεμισμένα με 20 μέρη μαύρου άνθρακα ανά εκατό μέρη από καουτσούκ κατά βάρος (pphr) και (γ) με 50 pphr της αιθάλης, πού τρίβονται πάνω σε επιφάνειεςi)σε λείο γυαλί ii)σε ένα σκονισμένο κομμάτι καρβιδίου του πυριτίου.

Εικόνα 3.19: Μάστερ καμπύλες σε i) λείο, κυματιστό γυαλί, ii) σε ένα κομμάτι καρβιδίου του πυριτίου σκονισμένου με οξείδιο μαγνησίου και iii) σε μια καθαρή τροχιά καρβιδίου του πυριτίου, τριών ενώσεων του ABR: σ) μη συμπληρωμένων, β) γεμισμένων με 20 pphr αιθάλη και γ) 50 pphr αντιστοίχως



Παρατηρούμε ότι στις γυάλινες επιφάνειες οι καμπύλες για απλό και ενισχυμένο ελαστικό έχουν παρόμοιο σχήμα, ωστόσο, η μέγιστη τιμή μειώνεται προοδευτικά και μετατοπίζεται ελαφρώς προς τις χαμηλότερες ταχύτητες, καθώς το ποσό του πληρωτικού αυξάνεται. Στα δύο τραχιά κομμάτια, η μέγιστη τριβή παραμόρφωσης μειώνεται επίσης με την αύξηση της ποσότητας του πληρωτικού. Στο καθαρό τραχύ κομμάτι, η μύτη της παραμόρφωσης έχει μειωθεί στο ίδιο επίπεδο με τα απομεινάρια της μέγιστης πρόσφυσης, έτσι ώστε ένα ευρύ οριζόντιο πέδιο να εμφανίζεται μεταξύ των μεγίστων για την πρόσφυση και την παραμόρφωση τριβής, ιδιαίτερα όταν προστεθούν τα 50 μέρη άνθρακα.

Στη σκονισμένη διαδρομή η τριβή πρόσφυσης είναι σαφώς η χαμηλότερη από τα τρία ελαστικά κατά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις κύριες καμπύλες που παίρνουμε σε μια καθαρή διαδρομή.

Το οριζόντιο πεδίο της τριβής που παρατηρείται για τις ενώσεις που γεμίζουν με 50 μέρη μαύρου άνθρακα (η οποία είναι τυπική για ενώσεις του πέλματος του ελαστικού) φαίνεται για τα περισσότερα ελαστομερή, στην παραπάνω εικόνα.

Το πλάτος του οριζοντίου πεδίου, εξαρτάται από τη διαφορά μεταξύ των συχνοτήτων του μέγιστου modulus συντελεστή απώλειας και του συντελεστή factor απωλειών όπως εξηγήθηκε παραπάνω. Εάν αυτή η διαφορά είναι μικρή, το οροπέδιο είναι ευρή αν η διαφορά είναι μεγάλη, το οροπέδιο στενεύει.

3.2.4 Η ΚΥΡΙΑ ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΡΙΒΗΣ ΓΙΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΡΙΒΗΣ ΣΕ ΥΓΡΗ ΠΡΟΣΦΥΣΗ

Στο παρακάτω διάγραμμα υπάρχουν δεδομένα μετρήσεων σε βρεγμένες, τραχείες επιφάνειες με διαφορετικές θερμοκρασίες του νερού σε ένα εύρος των λογαριθμικών ταχυτήτων, διατηρώντας την υψηλότερη ταχύτητα σε χαμηλό επίπεδο. Αυτές οι μετρήσεις, συνθέτουνμια κύρια καμπύλη όπως και πριν. Και όλα αυτά για μία μη πληρωμένη με συστατικά ένωση ABR όπως χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως σε ξηρά κομμάτια καρβιδίου του πυριτίου. Στην προκειμένη περίπτωση η ολίσθηση πραγματοποιήθηκε σε επιφάνεια τριβής Αλουμίνας 180 όπου λιπάνθηκε) με αποσταγμένο νερό και β) νερό με 5% προστιθέμενο απορρυπαντικό αντίστοιχα. Η

σύγκριση με την κύρια καμπύλη τριβής που λαμβάνεται σε ξηρή επιφάνεια δείχνει ότι είναι οι ίδιες λειτουργίες με αυτές που εμφανίζονται όταν χρησιμοποιείται αποσταγμένο νερό. Η τριβή φτάνει σε ένα μέγιστο με την ίδια τμητού log atv και το εξόγκωμα πρόσφυσης είναι επίσης ορατό. Ωστόσο άν προστεθεί απορρυπαντικό στο νερό, αυτό το εξόγκωμα εξαφανίζεται. Ένα παρόμοιο αποτέλεσμα παρατηρήθηκε όταν οι ξηρές διαδρομές είχαν σκονιστεί με μαγνήσιο. [16]

Εικόνα 3.20: master curve τριβής μιας ένωσης ελαστικού ABR σε μια υγρή επιφάνεια Alumina 180: (α) βρεγμένης με αποσταγμένο νερό και (β) με 5 % απορρυπαντικό προστιθέμενο στο νερό



Σε μια άλλη περίπτωση, όταν μια σφαίρα από καουτσούκ πλησιάζει μια υγρή γυάλινη πλάκα, το νερό τείνει να συσσωματώνεται σε σφαιρίδια στην περιοχή επαφής αφήνοντας περιοχές που είναι ουσιαστικά ξηρές, όπως φαίνεται στη φωτογραφία της εικόνας 3.21 (αριστερά) μαζί με τις μετρήσεις του ύψους των σφαιριδίων νερού. Αντίθετα, αν ένα απορρυπαντικό προστεθεί στο νερό αυτό διατηρείται σε ένα πολύ λεπτό ομοιόμορφο φιλμ σε όλη την επιφάνεια επαφής, μέχρι τις πολύ υψηλές πιέσεις (Εικόνα 3.21, δεξιά).

Εικόνα 3.21: Σημάδια παρεμβολής και τα αντίστοιχα διαγράμματα περιγράμματος για την επαφή μιας σφαίρας από καουτσούκ και μιας γυάλινης πλάκας όταν (αριστερά) βρέθηκε με αποσταγμένο νερό και (δεξιά) με προστιθέμενο απορρυπαντικό. Το αποσταγμένο νερό συλλέγεται σε σφαιρίδια που αφήνουν σχεδόν ξηρές περιοχές ενώ ένα λεπτό συνεχές φιλμ σχηματίζεται όταν προστίθεται απορρυπαντικό



Η τριβή σε βρεγμένες διαδρομές είναι παρόμοια με τη στεγνή τριβή αλλά σε χαμηλότερο επίπεδο. Επειδή η πραγματική επιφάνεια επαφής μειώνεται από την παρουσία των σφαιριδίων νερού, η δύναμη τριβής μειώνεται ανάλογα, τα σφαιρίδια νερού μεταφέρουν μερικό από το φορτίο αυτό. Η συνολική τριβή οφείλεται σε προσκόλληση στις ξηρές περιοχές όπου η τριβή παραμόρφωσης ενισχύεται από τις εφαπτομενικές τάσεις που δημιουργούνται στο ελαστικό καθώς και από την παραμόρφωση.

Ακόμη και στην παρουσία του απορρυπαντικού και στη απουσία ξηρών περιοχών η τριβή είναι πολύ υψηλότερη από ότι θα αναμενόταν αποκλειστικά από τις απώλειες ενέργειας σε συμπιεστικές παραμορφώσεις. Έτσι οι εφαπτομενικέ ς τάσεις πρέπει επίσης να είναι παρούσες στην περιοχή επαφής. Το πάχος της συνεχούς μεμβράνης του απορρυπαντικούνερού, έχει πάχος περίπου 1,5x10⁻⁸ m –έτσι υπάρχει ακόμη κάποια μορφή μοριακής πρόσφυσης.

Τα παρακάτω διαγράμματα δείχνουν την ομοιότητα μεταξύ ξηρής και υγρής τριβής, συγκρίνοντας άμεσα τις κύριες καμπύλες του ελαστικού ABR σε (α) ξηρό γυάλινο, (β) στεγνό καθαρό καρβίδιο του πυριτίου, (γ) ξηρό καρβίδιο του πυριτίου με σκόνη οξειδίου του μαγνησίου (δ) ένα κομμάτι αλουμίνας βρεγμένο με αποσταγμένο νερό και (ε) βρεγμένο με νερό + 5% απορρυπαντικού. [15]

Εικόνα 3.22 κύριες καμπύλες τριβής ABR καουτσούκ σε (α) ξηρό γυάλινο, (β) στεγνό καθαρό καρβίδιο πυριτίου 180, (γ) ξηρό καρβίδιο του πυριτίου με σκόνη οξειδίου του μαγνησίου (δ) αλουμίνας 180 βρεγμένο με αποσταγμένο νερό και (ε) βρεγμένο με νερό + 5% απορρυπαντικού.



3.2.5. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΓΡΟΥ ΣΕ ΤΡΙΒΗ ΚΑΟΥΤΣΟΥΚ

Εικόνα 3.23 τριβή σε υγρό οδόστρωμα



Δύο είναι οι παράγοντες που μειώνουν την τριβή μεταξύ καουτσούκ και μιας υγρής επιφάνειας.

Ο πρώτος είναι ότι το νερό επιδρά λόγω της αδράνειάς του. Όταν τα ελαστικά κυλούν ή γλιστρούν σε βρεγμένο δρόμο το νερό πρέπει να εκτοπιστεί έξω από την περιοχή επαφής κατά τη δική του αδράνεια.

Ο δεύτερος είναι η λίπανση (στην περίπτωση των αξόνων που περιστρέφονται σε έδρανα, αυτά λιπαίνονται). Στις τριβές όμως του ελαστικού σε υγρές επιφάνειες ευτυχώς το νερό έχει χαμηλό ιξώδες.

Σε αυτή την περίπτωση κατά την ολίσθηση έχουμε:

Σε μια σκληρή επιφάνεια α που ολισθαίνει με ταχύτητα ν και μπορεί να περιστραφεί γύρω από έναν άξονα παράλληλο προς το επίπεδό της, προς την κατεύθυνση ολίσθησής της, εμφανίζεται ένα σφηνοειδές φιλμ νερού. Το σφηνοειδές αυτό φίλμ νερού, δημιουργείται μεταξύ της παραπάνω ολισθαίνουσας επιφάνειας α και μιας άλλης επίπεδης υγρής επιφάνειας (δρόμος)από τη διαφορετική κλίση εμπρός και πίσω της πρώτης επιφάνειας α σε σχέση με τη δεύτερη.

Το ελάχιστο πάχος του φιλμ στο τέλος του ελαστικού δίνεται από

h = const.
$$(a^2b\eta v / L)^{1/2}$$
 (11)

όπου a και b είναι οι διαστάσεις της πλάκας κάθετα και προς την κατεύθυνση ολίσθησης αντίστοιχα, 'n'είναι το ιξώδες του νερού, v είναι η ταχύτητα ολίσθησης και L είναι το φορτίο που επενεργεί στην πλάκα.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση που ένα μαλακό καουτσούκ ολισθαίνει πάνω από μια σκληρή, λεία επιφάνεια. Σε αυτή την περίπτωση σχηματίζεται σφηνοειδής φίλμ ακόμη και όταν τα σώματα μετατοπίζονται παράλληλα μεταξύ τους επειδή το ελαστικό θα παραμορφώνεται υπό την υδροδυναμική πίεση.

Εικόνα 3.24: Οι παρυφές χρησιμοποιούνται για να μετρηθεί το πάχος της μεμβράνης και η παραμόρφωση της, από μια σφαίρα καουτσούκ που ολισθαίνει σε διαφορετικές ταχύτητες πάνω σε μια γυάλινη λιπαινόμενη πλάκα. Το γράφημα στα κάτω αριστερά δείχνει την κεντρική γραμμή του περιγράμματος της σφαίρας (τεταγμένη) κατά το κέντρο του μήκους επαφής (τετμημένη)



Για έναν ελαστικό κύλινδρο που ολισθαίνει σε επίπεδη σκληρή επιφάνεια, το μέσο πάχος του φιλμ δίδεται από

$$h = 0.9 \left[\frac{\eta v R}{E}\right]^{1/2}$$
(12)

όπου R είναι η ακτίνα του κυλίνδρου και Ε είναι το μέτρο ελαστικότητας του ελαστικού. Παρόμοια σχέση ισχύει όταν μία σκληρή σφαίρα ολισθαίνει σε μια μαλακή επιφάνεια από καουτσούκ. Εικόνα 3.25: Πάχος φιλμ νερού στην περιοχή επαφής ενός λείου ελαστικού που ολισθαίνει πάνω από μια σκληρή επιφάνεια v = 68 χλμ/ώρα πίεση ελαστικού = 1,3 bar



Υποθέτοντας ότι η δύναμη τριβής F θα είναι ανάλογη με την αποτελεσματική ξηρή περιοχή επαφής AdF= const Ad (13)

Με την παραδοχή ότι η τραχύτητα της σκληρής επιφάνειας μπορεί να αντιπροσωπεύεται από σφαίρες ακτίνας r, και ότι το μέσο πάχος h του λιπαντικού φίλμ της ταχύτητας ολίσθησης V είναι μικρότερο από το r, η ξηρή περιοχή επαφής που διεισδίει μέσαστο λιπαντικό φιλμ είναιAd=ηπr² (1-h/r) (14) όπου ΄΄η΄΄ είναι ο αριθμός των σφαιρών στην περιοχή επαφής. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση 2 για το πάχος του φιλμ, ο συντελεστής τριβής ΄΄μ΄΄ μπορεί να γραφτεί ως

$$\mu = F/L = \text{const}/L \left[1 - \left(\frac{a^2 b \eta v}{L_r} \right)^{1/2} \right]$$
(15)

ή με την βοήθεια της εξίσωσης (12) $\mu = F/L = const/L [1 - 0.9(\frac{R\eta V}{Er^2})^{1/2}]$ (16) και ο συντελεστής μ σε συνάρτηση με την ταχύτητα = μd $[1 - (\frac{V}{V_{crit}})^{1/2}]$ (17)

όπου μd είναι ο συντελεστής τριβής στη στεγνή διαδρομή και Verit είναι η ταχύτητα με την οποία ο συντελεστής τριβής γίνεται μηδέν, δηλαδή όταν επιτυγχάνεται τέλεια λίπανση(στην πράξη, η τριβή δεν γίνεται μηδέν). Μια μικρή δύναμη τριβής παραμένει λόγω της αντίστασης στη μετατόπιση της διόγκωσης της περίσσειας νερού που δημιουργείται μπροστά από το ελαστικό. Επίσης στην πραγματικότητα, η επιφάνεια του δρόμου περιέχει σωματίδια διαφορετικού μεγέθους και σχήματος που έχουν διαφορετικές ακτίνες επαφής και διαφορετικό ύψος και τα εξογκώματα έχουν συχνά μια πολύ μικρή τραχύτητα.

Η θεωρητική προσέγγιση των παραπάνω, δείχνει ότι σε ολίσθιση λίπανσης ο συντελεστής τριβής θα πρέπει να μειώνεται σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα της ταχύτητας.

Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει τα αποτελέσματα μιας δοκιμής πέδησης ενός μαλακού ελαστικού σε υγρό λεπτό σκυρόδεμα. Ο συντελεστής τριβής μετρήθηκε ως συνάρτηση της ταχύτητας όταν οι τροχοί είχαν μπλοκάρει. Η σχεδίαση των δεδομένων ως συνάρτηση της τετραγωνικής ρίζας της ταχύτητας μας δίνει σε ένα γράφημα ευθείας

γραμμής με παρεκβολή της τετμημένης 10,2για συντελεστή μηδενικής τριβής, που αντιστοιχεί σε κρίσιμη ταχύτητα 104 km / h. Η δε διατομή της στο μηδέν δίνει έναν συντελεστή ξηρής τριβής 1,35.

Εικόνα 3.26: Συντελεστές πέδησης με μπλοκαρισμένους τροχούς ενός ελαστικού με μαλακό πέλμα σε υγρό γυαλισμένο σκυρόδεμα ως συνάρτηση της τετραγωνικής ρίζας της ταχύτητας. (Μέγεθος ελαστικού 175 R 14, φορτίο 350 kg, πίεση αέρα 1,9 bar)



Ας θεωρήσουμε τώρα την επίδραση της αδράνειας του νερού πουσχετίζεται με την υδρολίσθηση. Στην υδρολίσθηση το πάχος του φιλμ νερού είναι μεγαλύτερο από το ύψος των τραχυτήτων και το νερό πρέπει να πιέζεται έξω από την περιοχή επαφής. Ως ένα σημείο η επιφάνεια του ελαστικού κινείται μέσα στην περιοχή επαφής και βυθίζεται σε ένα φιλμ νερού μέχρι να έρθει σε επαφή με τις άκρες των εξογκωμάτων σε απόσταση Χ κατά μήκος της επιφάνειας επαφής. Αυτό το μήκος Χ είναι ανάλογο με το χρόνο βύθισης ta ο οποίος αποτελεί συνάρτηση του ύψους νερού πάνω από τα εξογκώματα και στην νf ταχύτητα του αυτοκινήτου.

Εικόνα 3.27: Σκαρίφημα μιας σφήνας νερού, που σχηματίζεται στο εμπρός μέρος της περιοχής επαφής του κινούμενου ελαστικού σε ένα βρεγμένο δρόμο με ένα φιλμ νερού αυξανόμενου πάχους πάνω από τα εξογκώματα του δρόμου.



 $X = V_{ft_a}$ (18) Με την αυξανόμενη ταχύτητα το σημείο που έχουμε ξηρή επαφή, θα μειωθεί η έκταση της ξηρής επαφής και συνεπώς της τριβής. Όταν η ταχύτητα είναι τόσο υψηλή ή ο χρόνος βύθισης είναι τόσο μεγάλος που ακόμα και στο τέλος του επιθέματος επαφής (μήκους L) το νερό δεν μπορεί να αφαιρεθεί, τότε η επαφή τριβής χάνεται και μαζί με αυτό το σύστημα διεύθυνσης και η ικανότητα πέδησης / επιτάχυνσης.

Το παραπάνω φαινόμενο οφείλεται σε ένα σύνολο συνθηκών, όπως τη δομή του οδοστρώματος, την κατάσταση και το σχεδιασμό του ελαστικού (σχέδιο του πέλματος), τη στάθμη του νερού στο δρόμο και το μήκος της ξηρής επαφής (l–X). Ένα μέρος του φορτίου του ελαστικού, ανάλογο με το X, θα απορροφηθεί από το φιλμ νερού και δεν

θα συμβάλει στη δύναμη τριβής που απαιτείται για να οδηγηθεί, φρενάρει ή διευθυνθεί το ελαστικό. Η δύναμη τριβής θα δωθεί τότε από

 $Fw = \mu_{dry} R_d$ (19) όπου το Rd είναι η δύναμη αντίδρασης της ξηρής περιοχής επαφής. Η R_dμπορεί να γραφεί συναρτήσει του μήκους της σφήνας X και του μήκος επαφής l ως Rd= $\frac{I-X}{I}$ L
(20)

όπου το L είναι το φορτίο του ελαστικού.

Υδρολίσθηση έχουμε όταν το μήκος του φιλμ
 νερού γίνεται ίσο με την επαφή μήκους l, δη
λl = Vaqtc (21)

Ο χρόνος βύθισης του ελαστικού που αναφέρεται στην εξίσωση(21)προκύπτει από δύο παραμέτρους. Η πρώτη ισχύει έως ότου τα κενά στο πέλμα του ελαστικού έχουν γεμίσει με νερό και η δεύτερη είναι ότι για ένα μαλακό ελαστικό το σχέδιο εκφυλίζεται όταν τα κενά του πέλματος γεμίζουν.

Συνδυάζοντας αυτές τις εξισώσεις 18,19,20,21 έχουμε $\mu = \mu d(1 - \frac{V_F}{V_{aq}})$ (22)

όπου Vaq είναι η κρίσιμη ταχύτητα με την οποία χάνεται η επαφή. Εξαρτάται δε από τις συνθήκες του οδοστρώματος, το ύψος της στάθμης του νερού πάνω από το δρόμο τα εξογκώματα και τη χάραξη του πέλματος, την κατάσταση του ελαστικού και κυρίως το διαθέσιμο κενό όγκο του ελαστικούστο πέλμα.

Χρησιμοποιώντας το μοντέλο Barthelt και αμελώντας δευτερεύοντες όρους όπως την επίδραση του νερού έξω από την περιοχή επαφής, η ταχύτητα υδρολίσθησης Vaq μπορεί να γραφτεί Vaq = f (ελαστικών) g (δρόμου) Vaq=F(tire) g(road) (23)

Οπου η συνάρτηση f(χαρακτηριστική ταχύτητα) δίνεται από Ftire= $\sqrt{\frac{12Pm}{P}}\frac{Im}{bm}$ (24)

Pm είναι η μέση πίεση του εδάφους η οποία είναι περίπου ίση με την πίεση του αέρα του ελαστικού, ρ είναι η πυκνότητα του νερού, lm και bm είναι το μήκος επαφής και πλάτος αντίστοιχα.

Η συνάρτηση του συντελεστή δρόμου χαρακτηρίζεται από δύο ύψη,α) hr που είναι ένα μέτρο της δομής της επιφάνειας του οδοστρώματος και β) ho, το οποίο είναι το πάχος της μεμβράνης του νερού πάνω από το ύψος hr.

$$\mu \varepsilon = \left\{ \frac{ho}{hr} + \sqrt{\left[\frac{ho}{hr}\right]^2} - 1 \right\}$$
(25)

η οποία ισχύει μόνο για φίλμ του νερού με πάχος ho> hr.

Οπότε για ένα ελαστικό πλάτους 205 mm και με πίεση αέρα 2,5 bar, το πλάτος και το μήκος επαφής είναι περίπου 0,18 m και η ταχύτητα στην περίπτωση αυτή είναι 55 m/s, δηλαδή 198km/h. Στη συνέχεια εάν hr = 0,5 mm και ho = 2,0 mm, που αντιστοιχεί σε ένα αρκετά μεγάλο πάχος φιλμ σε μια σχετικά λεία επιφάνεια, τότε g (δρόμο) = 0,48 και τελικά η ταχύτητα υδρολίσθηση του ελαστικού θα είναι 96 km / h.

Κατά την ελεύθερη κύλιση, η δύναμη τριβής καθορίζεται από την εμπρός ταχύτητα και την ταχύτητα υδρολίσθησης. Εάν όμως υπάρχουν δυνάμεις ολίσθησης, εισάγεται ένας συντελεστής τριβής, τροποποιημένος με ολισθαίνουσα λίπανση που περιορίζει περαιτέρω τη μέγιστη μετάδοση δύναμης. Ο συντελεστής τριβής μ₀της εξισωσης (22) περιέχει την εξάρτηση θερμοκρασίας και ταχύτητας του συντελεστή τριβής και την επίδραση που οφείλεται στην ολισθαίνουσα λίπανση. Στην λίπανση αυτή συμβάλουν δύο φαινόμενα αλλά αυτό που συμβάλει βασικά εξαρτάται από τις εξωτερικές συνθήκες. Αν η στάθμη του νερού είναι μικρή, η συρόμενη λίπανση είναι το σημαντικότερο φαινόμενο που συμβάλλει. Το δεύτερο φαινόμενο η αδρανειακή αντίσταση στην μετατόπιση του νερού γίνεται σημαντική μόνο εάν η στάθμη του νερού είναι πάνω από τα άκρα των ανωμαλιών του εδάφους και κατ' επέκταση εξαρτάται από το σχέδιο του πέλματος.

Πειραματικά, η ταχύτητα υδρολίσθηση γίνεται φανερή στην ελεύθερη κύληση όταν η προς τα εμπρός ταχύτητα και η περιφερειακή ταχύτητα του περιστρεφόμενου ελαστικού γίνονται διαφορετικές. Επίσης σε τέτοιες δοκιμές πέδησης εμφανίζεται μια γραμμική μείωση της ικανότητας πέδησης με την αύξηση της ταχύτητας, γεγονός που υποδηλώνει ότι κυριαρχούν τα φαινόμενα αδράνειας αντί της ολισθαίνουσας λίπανσης. Ωστόσο, αν η ταχύτητα σχηματιστεί σε διάγραμμα τετραγωνικής ρίζας έχουμε μια γραμμική αποτύπωση όπως φαίνεται στην εικόνα 3.29. Συνεπώς, δεν είναι πάντοτε δυνατό να γίνει διάκριση μεταξύ των δύο παραγόντων της εξίσωσης (17) και της εξίσωσης (22). [15]





3.2.6 ΤΡΙΒΗ ΣΕ ΠΑΓΟ.

Ο καθορισμός μιας κύριας καμπύλης στον πάγο είναι δύσκολη, επειδή η επιφάνεια του πάγου, μην απέχοντας πολύ από το σημείο τήξης του, αντιδρά με ευαισθησία στην πίεση, την ταχύτητα και τις αλλαγές της θερμοκρασίας.

Οι μικρές προσθήκες διαφορετικών αλάτων στο νερό, άρα και στον πάγο, αλλάζουν τις ιδιοτήτες του πάγου στην επιφάνεια, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα και αυτός μπορεί να είναι ένας σημαντικός λόγος για την μεγάλη διαφοροποίηση των δοκιμών στον πάγο διεξάγονται στο ύπαιθρο.

Εικόνα 3.29: Ιδιότητες τριβής σε πάγο, όταν μικρές ποσότητες των διαφορετικών αλάτων προστέθηκαν στο νερό πριν από το πάγωμα



Εικόνα 3.30: Συντελεστής τριβής μιας ένωσης NR ως συνάρτηση της θερμοκρασίας πάγου σε τρεις διαφορετικές ταχύτητες



Η παραπάνω εικόνα δείχνει τον συντελεστή τριβής μιας ένωσης NR σε μια ομαλή διαδρομή πάγου ως συνάρτηση της θερμοκρασίας επιφάνειας για τρεις διαφορετικές ταχύτητες. Κοντά στο σημείο τήξης του πάγου η τριβή είναι χαμηλή. Προφανώς, κάποια τήξη στην επιφάνεια επαφής λιπαίνει το ελαστικό. Επιπλέον, η αντοχή του πάγου στη διάτμηση είναι χαμηλή, έτσι ώστε κάποια διάτμηση πάγου μπορεί να συμβαίνει ταυτόχρονα. Ο συντελεστής τριβής αυξάνεται απότομα καθώς η θερμοκρασία τροχιάς μειώνεται, δίνοντας παρόμοιες τιμές όπως σε ένα στεγνό κομμάτι. Οι πραγματικές τιμές εξαρτώνται από την ταχύτητα, όσο υψηλότερη η ταχύτητα τόσο μικρότερος είναι ο συντελεστής τριβής. Η πτώση της τριβής στους -25 ° C οφείλεται σε ελαφρά απόψυξη που σχηματίζεται στην πίστα.

Εικόνα 3.31: Συντελεστής τριβής τεσσάρων διαφορετικών ενώσεων που έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες μετάπτωσης υάλου, ως συνάρτηση της θερμοκρασίας διαδρομής του πάγου με σταθερή ταχύτητα ολίσθησης 5mm/ s



Το παραπάνω σχήμα δείχνει τον συντελεστή τριβής σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας κομματιού πάγου επί τέσσερις διαφορετικές ελαστομερή σε μία σταθερή ταχύτητα ολισθήσεως. Η κύρια διαφορά μεταξύ αυτών των ελαστομερών είναι η θερμοκρασία μετάπτωσης υάλου μεταξύ τους.

Η visco ελαστική φύση της τριβής στον πάγο φαίνεται στα παραπάνω δεδομένα αν αποδοθούν γραφικά ως συνάρτηση του log atv. Για κάθε πολυμερές παράγεται μόνο μέρος της κύριας καμπύλης τριβής λόγω της μοναδικής ταχύτητας και της περιορισμένης θερμοκρασίας. Ωστόσο, λόγω των διαφορετικών θερμοκρασιών μεταπτώσεώς τους σε γυαλί, καταλαμβάνουν διαφορετικές κλίμακες στον άξονα log atv. Εάν τα τέσσερα κύρια τμήματα καμπυλών αποδοθούν γραφικά ως συνάρτηση του log atv σε ένα γράφημα, σχηματίζουν το σχήμα μίας μόνο κύριας καμπύλης με ένα μόνο μέγιστο που έχει την ίδια θέση όπως στο γυαλί, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα και αν συγκριθεί με την εικόνα 3.33 φαίνεται ότι η διαδικασία τριβής στον πάγο είναι η ίδια με εκείνη του λείου γυαλιού. Η αιχμή της παραμορφωτικής τριβής απουσιάζει αποδεικνύοντας ότι η τριβή στον πάγο οφείλεται στην πρόσφυση. [15]

Εικόνα 3.32: Συντελεστές τριβής των τεσσάρων κενών ενώσεις τηςεικόνας 3.32 απεικονίζεται γραφικά σε σχέση με log α_Tν



3.3 ΟΛΙΣΘΗΣΗ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ

3.3.1 ΔΙΑΜΗΚΗ ΟΛΙΣΘΗΣΗ ΦΡΕΝΑΡΙΣΜΑΤΟΣ /ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ

Διαμήκη ταχύτητα ολίσθησης s, ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της γωνιακής ταχύτητας του τροχού που κινείται (ή επιβραδύνεται) Ω, και της γωνιακής ταχύτητας της ελεύθερης κύλισης των τροχών, Ω_0 , δηλαδή, s =($\Omega - \Omega_0$) και συντελεστή ταχύτητας ολίσθησης κ=-($\Omega - \Omega_0$)/ Ω_0 .

Εικόνα 3.33 Παράδειγμα διαμήκους ολίσθησης



3.3.2 ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΟΛΙΣΘΗΣΗ

Εάν ένα ελαστικό πιέζεται ελαφρά σε ένα οριζόντιο επίπεδο με μια σταθερή κατακόρυφη δύναμη, είναι εύκολο να δούμε ότι, όταν ωθείται προς τα πλάγια (από μια μικρή πλευρική δύναμη) το ελαστικό εκτρέπεται και ο τροχός κινείται κατά ένα μικρό ποσό πλευρικά.

Εάν η δύναμη αυξηθεί λίγο, η παραμόρφωση αυξάνει λίγο. Εάν η δύναμη είναι αυξημένη ακόμη περισσότερο, το ελαστικό αρχίζει να ολισθαίνει πλευρικά κατά μήκος της επιφάνειας.

Τι συνέβη? Απλά το ελαστικό ενήργησε σαν ελατήριο, τα πλευρικά τοιχώματα κάμπτονται ελαστικά και η πλευρική παραμόρφωση αυξήθηκε περίπου στο ποσοστό της πλευρικής δύναμης. Μετά το ελαστικό άρχισε να ολισθαίνει ενώ η πλευρική δύναμη παρέμεινε σχεδόν σταθερή.

Εάν χρησιμοποιηθεί ένα διαφορετικό ελαστικό, ας πούμε ένα με ζάντες μικρότερης διαμέτρου (μεγαλύτερο ελαστικό «πλευρικό τοίχωμα»), το πείραμα έχει ένα παρόμοιο αποτέλεσμα, αλλά η πλευρική μετατόπιση για τη δεδομένη πλευρική δύναμη είναι μεγαλύτερη.

Έτσι η πλευρική δυσκαμψία δίνεται ως πλευρική δύναμη αναλογίας ελατηρίου που απαιτείται για να ολισθαίνει το ελαστικό και είναι συνάρτηση του συντελεστή τριβής, μ, και ορίζεται ως ο λόγος δύο δυνάμεων, της πλευρικής δύναμης που διαιρείται με την οριζόντια δύναμη (το φορτίο του ελαστικού).

 $\frac{Lateral\ force}{Loadontire} = Lateral\ Force\ Coefficient, \frac{F_y}{F_Z}$ (26)

Η σχέση της πλευρικής δύναμης και της γωνίας ολίσθησης μπορεί να περιγραφεί από δύο παραμέτρους: τη δυσκαμψία του τροχού και τον συντελεστή τριβής της επαφής. Επιπλέον, η ακαμψία κυριαρχεί στην πλευρική δύναμη σε μικρές γωνίες ολίσθησης ενώ ο συντελεστής τριβής καθορίζει την πλευρική δύναμη σε μεγάλες γωνίες ολίσθησης.

Εικόνα 3.34 Υπολογιζόμενοι συντελεστές πλευρικής δύναμης και δύναμης φρεναρίσματος σε συνάρτηση της γωνίας ολίσθησης.



Εικόνα 3.34 δείχνει τις καμπύλες των συντελεστών ολίσθησης όταν δρουν ταυτόχρονα οι δυνάμεις στροφής και διαμήκους επιτάχυνσης / πέδησης σε ένα ελαστικό για μία καθορισμένη γωνία ολίσθησης. Όπου φαίνεται ότι ο συντελεστής πλευρικής δύναμης μειώνεται καθώς η δύναμη πέδησης αυξάνεται. Ο λόγος είναι ότι η ολική δύναμη τριβής περιορίζεται σε μια μέγιστη τιμή μL, όπου L είναι το κανονικό φορτίο.

Σε αυτήν την περίπτωση, επίσης, είναι πρόσφορο να περιγράψουμε τα δεδομένα με τη βοήθεια του συντελεστή πλευρικής δύναμης, όπως περιγράψαμε παραπάνω. Αυτή η πλευρική δύναμη φαίνεται στο σχήμα 3.35 για τέσσερις διαφορετικές ενώσεις πέλματος με σταθερή γωνία και ταχύτητα ολίσθησης.

Εικόνα 3.35: Πλευρική δύναμη ως συνάρτηση φορτίου με σταθερή γωνία ολίσθησης 13 ° και ταχύτητα 0,06 km / h σε επιφάνεια υγρής, αλουμίνας 180για τέσσερις ενώσεις πέλματος με βάση τέσσερα διαφορετικά πολυμερή, όλα γεμάτα με πληρωτικά συστατικά. Οι πλήρεις γραμμές προσδιορίστηκαν με το μοντέλο brush.



3.3.3 ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΠΛΕΥΡΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ

Η εικόνα 3.36 δείχνει τον συντελεστή πλευρικής δύναμης σε συνάρτηση με το λογάριθμο της ταχύτητας, για διαφορετικές θερμοκρασίες σε σταθερό φορτίο και γωνία ολίσθησης για μια ένωση πέλματος ελαστικού με βάση ένα πολυμερές, που έχει ψηλή θερμοκρασία μετάπτωσης γυαλιού.

Εικόνα 3.36: Συντελεστής πλευρικής δύναμης μίας σύνθεσης πέλματος 3,4 IR ως συνάρτηση του log (ταχύτητα) σε διαφορετικές θερμοκρασίες νερού σε επιφάνεια υγρής αλουμίνας 180.



Εικόνα 3.37: Τα δεδομένα της εικόνας 38 απεικονίζονται ως συνάρτηση του log aTv με την τυπική θερμοκρασία αναφοράς που λαμβάνεται ως Ts = Tg + 50 °C. Επίσης εμφανίζεται η κύρια καμπύλη τριβής για την ίδια ένωση στην ίδια επιφάνεια.



Στην εικόνα 3.37 τα δεδομένα μετασχηματίστηκαν σε κύρια καμπύλη, όχι με εμπειρική μετατόπιση των δεδομένων, αλλά με τη χρήση μετατοπίσεων που υπολογίστηκαν από την εξίσωση WLF χρησιμοποιώντας μια τυπική θερμοκρασία αναφοράς Ts = Tg + 50. Ετσι έχουμε τα παρακάτω δεδομένα:

A) Διαπιστώνεται ότι προκύπτει μία μόνο καμπύλη και παρουσιάζει όλα τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν παραπάνω για τον συντελεστή τριβής σε ξηρές και υγρές διαδρομές.

Για την ξηρή τριβή είναι αναμενόμενο ένα οροπέδιο μεταξύ των συνιστωσών τριβής πρόσφυσης και παραμόρφωσης (πληρωτική ένωση άνθρακα).

B) Για τις μετρήσεις της πλευρικής δύναμης εξακολουθεί να υπάρχει διακριτή κορυφή παραμόρφωσης, αλλά και μια καθαρή μεταβολή της καμπυλότητας στη θέση της μέγιστης πρόσφυσης που αναμένεται στις ξηρές λείες επιφάνειες.

3.3.4 ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΦΡΕΝΑΡΙΣΜΑΤΟΣ.

Οι τιμές μέγιστης πέδησης και ολίσθησης του συντελεστή δύναμης πέδησης bc ως συνάρτηση της τετραγωνικής ρίζας της αρχικής ταχύτητας, αποδίδουν ευθείες γραφικές παραστάσεις όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

Εικόνα 3.38: συντελεστές μέγιστης πέδησης και ολίσθησης ως συνάρτηση της (αρχικής ταχύτητα)^{1/2} κατά την έναρξη της πέδησης σε βρεγμένο λείο σκυρόδεμα. (Μέγεθος ελαστικού 175 R 14, φορτίο 350 kg, πίεση ελαστικού 1,9 bar)



Εάν υπήρχε μια ξεχωριστή συνάρτηση του χρόνου,η ολίσθηση θα είχε μικρότερη τιμή.

Σε αυτές τις δοκιμές η θερμοκρασία στην περιοχή επαφής αυξάνει με την αυξανόμενη ταχύτητα ολίσθησης όπως περιγράφεται παραπάνω. Καθώς οι τιμές του λογαρίθμου aTv βρίσκονται στον ανοδικό κλάδο της κύριας καμπύλης τριβής, ο συντελεστής πέδησης μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας επαφής. Επιπλέον, ο συντελεστής πέδησης πέφτει επειδή η επίδραση του λιπαντικού νερού αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας ολίσθησης. Δεν υπάρχουν επαρκείς πληροφορίες για το διαχωρισμό των δύο αποτελεσμάτων (peak-slide breaking) που λειτουργούν και τα δύο προς την ίδια κατεύθυνση. Το γεγονός ότι τα γραφήματα ευθείας γραμμής λαμβάνονται κατά τη σχεδίαση των δεδομένων με αυτόν τον τρόπο υποδηλώνει ότι κυριαρχεί το φαινόμενο της λίπανσης νερού.

Από τις δύο γραφικές παραστάσεις ευθείας γραμμής για τις τιμές των συντελεστών μέγιστης πέδησης και ολίσθησης μπορούμε να συνεπάγουμε δύο παραμέτρους. ο «ξηρός» συντελεστής πέδησης σε μηδενική ταχύτητα είναι σχεδόν η ίδιος και για τους δύο συντελεστές πέδησης: 1,045 για την ολίσθηση και 1.085 για την μέγιστη. Επίσης ο άζονας της ταχύτητας τέμνεται για ταχύτητες ολίσθησης VC =118km/h και για ταχύτητες μέγιστης πέδησης πολύ μεγαλύτερες από τις ταχύτητες ολίσθησης.

Γράφοντας ξανά την εξίσωση (8)b_c =b_{cd}
$$[1 - (\frac{S_I V_F}{V_C})^{1/2}]$$
 (27)

όπου b_{cd} είναι είναι ο συντελεστής τριβήςσε μηδενική ταχύτητα, sl είναι η ολίσθηση, (sl = 1 σε ολίσθηση), V_F είναι η ταχύτητα του οχήματος κατά τον χρόνο της μέτρησης. Η αναλογία του [VC]_{ολισθησης} / [VC]_{κορυφής} θα πρέπει να δώσει το SL ολίσθησης. Η τιμή του είναι 0,3 -0.2. [15]

3.3.5 ΣΧΕΔΙΟ ΠΕΛΜΑΤΟΣ

Μοναδικός σκοπός ενός σχεδίου πέλματος ελαστικού είναι να αυξηθεί η ασφάλεια στην οδήγηση σε βρεγμένους, χιονισμένους, λασπώδης, παγωμένους δρόμους άλλα και ολισθηρές εκτός δρόμου επιφάνειες. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα του σχεδίου του πέλματος είναι ο θόρυβος που δημιουργεί. Στην παρακάτω εικόνας συγκρίνουμε τους συντελεστές πέδησης μπλοκαρισμένων τροχών για δύο διαφορετικά πρότυπα πέλματος μαλακού ελαστικού.

Εικόνα 3.39: Τιμές του συντελεστή ολίσθησης πέδησης ως συνάρτηση της (ταχύτητας)^{1/2} για ακτινωτά ελαστικά σε υγρό σκυρόδεμα, συγκρίνοντας δύο βασικά μοτίβα μαλακού ελαστικού. (Tire sigze 175 R 14, φορτίο 350 kg, πίεση αέρα ελαστικού 1,9 bar)



Οι ευθείες γραμμές του γραφήματος παίρνουν την μορφή αυτή εάν οι συντελεστές πέδησης αποδίδονται συναρτήσει της (ταχύτητας)^{1/2}. Σε μηδενική ταχύτητα οι τρεις
γραμμές σχεδόν συμπίπτουν, δείχνοντας ότι οι «ξηροί» συντελεστές πέδησης είναι ίδιοι. Από τις τιμές της τομής στην τετμημένη, οι κρίσιμες ταχύτητες φαίνεται να αυξάνονται από την λεία επιφάνεια στις διαμήκεις νευρώσεις και τις σταυρωτές ραβδώσεις στη μορφή του πέλματος ελαστικών, υπογραμμίζοντας τη μεγάλη σημασία ενός μικρού μήκους επαφής κατά την κατεύθυνση ολίσθησης ως προς τις κάθετες προς αυτό, όπως δίνεται στην εξίσωση [9]. Εφόσον υπάρχει κάποια επαφή, το νερό δεν μπορεί να ρέει έξω από την περιοχή επαφής προς τα πίσω και ρέει προς την μπροστινή πλευρά περιορίζοντας τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα ροής

$$V_{\rm F} = \sqrt{\frac{2P_m}{\rho}} \tag{28}$$

όπου pm είναι η μέση πίεση του εδάφους, το οποίο είναι περίπου το ίδιο με την πίεση αέρα, και ρ είναι η πυκνότητα του νερού.

Για ένα κανονικό επιβατικό αυτοκίνητο η ταχύτητα ροής είναι περίπου 80 km / h. Το νερό απομακρύνεται κυρίως από τις πλευρές. Ως εκ τούτου, απαιτούνται διαμήκεις νευρώσεις με μικρά πλευρικά κανάλια για την αποστράγγιση προς τις πλευρές και έτσι για την αύξηση της κρίσιμης ταχύτητας υδρολίσθηση του ελαστικού. Για την καλύτερη αφαίρεση του νερού, χρησιμοποιούνται και διαγώνιες νευρώσεις. Ένα σύγχρονο ελαστικό υψηλής απόδοσης δεν μπορεί πλέον να τοποθετηθεί προς οποιαδήποτε κατεύθυνση στη ζάντα. Πρέπει να δοθεί προσοχή στην τοποθέτηση του σωστού πλευρικού τοιχώματος προς τα έξω για να επιτευχθεί μέγιστη αποστράγγιση του νερού. Οι διαγώνιες λωρίδες συμβάλλουν επίσης στη μείωση του θορύβου των ελαστικών. [15]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΒΑΣΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ

Οι τύποι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των φορτίων των ελαστικών προέρχονται από την εμπειρία των εταιρειών που είναι βασικά παρόμοιοι σε μορφή για όλους τους τύπους ελαστικών αυτοκινήτων. Έτσι ο τύπος για τον υπολογισμό των φορτίων ελαστικών επιβατικών αυτοκινήτων.

Τα πρότυπα εφαρμογής αυτού του τύπου είναι:

α) Να προσδιορίζει τη διαβάθμιση φορτίου που επιτρέπεται σε έναν κατασκευαστή να σχεδιάζει και να παράγει ένα ελαστικό που μπορεί να ικανοποιεί τις απαιτήσεις σχεδιασμού ενός ελαστικού και να είναι εναλλάξιμο με ελαστικά ιδίου μεγέθους που παράγεται από άλλους κατασκευαστές.

β) Να παρέχει ορθολογικές αυξήσεις για τα φορτία για όλα τα μεγέθη ενός συγκεκριμένου τύπου και σειράς ελαστικού.

γ) Να λαμβάνει υπόψη τις απαιτήσεις του κατασκευαστή του οχήματος και τις συνθήκες συντήρησης.

Γενικότερα η ικανότητα φορτίου πρέπει να είναι επιστημονικά βασισμένη, εύκολα υπολογίσιμη από χαρακτηριστικά του ελαστικού και να επιτρέπει ακριβείς προβλέψεις.

Ο βασικός τύπος φορτίου ελαστικών μετά από αρκετές μετατροπές έχει πλέον προσαρμοστεί ως εξής : $L = K P^{\eta} S^{1,39} (DR + S)$ (1)

όπου n=0.585

K = 0.425 (metric const.)

L = ικανότητα φόρτισης ελαστικών υπό πίεση P

Ρ = πίεση πλήρωσης ελαστικών

S = πλάτος ελαστικού

DR = ονομαστική διάμετρος ζάντας

4.2. ΤΟ ΦΟΡΤΙΟ / ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ Η ΑΚΑΜΨΙΑ ΤΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ

Έχουν γραφτεί πολλά σχετικά με τη δομή των ελαστικών και τον υπολογισμό της ικανότητας μεταφοράς φορτίου από τα ελαστικά και οι κατασκευαστές ελαστικών συμφωνούν γενικά ότι η ακαμψία των ελαστικών εξαρτάται πρωτίστως από την πίεση του αέρα και τις διαστάσεις του ελαστικού, κυρίως το πλάτος του πέλματος και την πλευρική εξωτερική διάμετρο.

Μπορούμε να υιοθετήσουμε το μοντέλο δυσκαμψίας του Rhyne για να υπολογίσουμε την εκτροπή-παραμόρφωση, για οποιοδήποτε δεδομένο μέγεθος ελαστικών και την πίεση λειτουργίας και να αναπτύξουμε έτσι μια νέα φόρμουλα φορτίου.

Πρώτον, πρέπει να δούμε τις καμπύλες φορτίου-εκτροπής σε διάφορες λειτουργίες πίεσης, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.

.71 Έτσι η παραπάνω τιμή για W μπορεί να εισαχθεί στην εξίσωση (2) ως εξής:

 $KZ = 0.00028 P \sqrt{(-0.04 AR + 1.03) SN x OD} + 3.45$

$OD=2H+D_R$

όπου: Η = ύψος πλαινού ελαστικού - mm

Η εφαπτομένη ακαμψία ΚΖ εκφράζεται ως εξής:

Εικόνα 4.1 καμπύλες φορτίου-εκτροπής / πιέσεις λειτουργίας

 $K_{7} = 0.00028P \sqrt{W \times 0D} + 3.45$

Р

kgf

700

600

500-

400-

300-200

100

Tire load F

bias ply

V=5 km/h

165.13

W

OD = εξωτερική διάμετρος - mm

Για να γίνει η παραπάνω εξίσωση ακαμψίας πιο χρηστική με όρους παραμέτρων, α ό του π

15

A 5 μης

KL = 0,0002	$01 \forall \forall X OD \pm 3, \pm 3$
όπου: KZ =	Εφαπτομενική δυσκαμψία - kg / mm

$$=$$
 πλατος αποτυπωσης ελαστικου - m

$$W = (-0.004 \text{ AR} + 1.03) \text{ S}_{N} = \alpha \text{ X} \text{ S}_{N}$$

$$w = (-0.004 \text{ AR} + 1.03) \text{ S}_{\text{N}} = 0 \text{ A S}_{\text{N}}$$

όπου: W = πλάτος αποτύπωσης - mm

Aspect ratio	а
25	.93
30	.91
35	.89
40	.87
45	.85
50	.83
55	.81
60	.97
65	.77
70	.75
75	.73
80	.71



(5)

(4)

(3)

(2)

DR = κωδικός διαμέτρου ζάντας – mm και H= S_N X $\frac{AR}{100}$ (6)

όπου: SN = ονομαστικό πλάτος διατομής - mm

AR = λόγος διάστασης

Έτσι, το OD μπορεί να εκφραστεί ως προς το πλάτος της διατομής, την αναλογία διαστάσεων και τον κωδικό ζάντας ως εξής:

$$OD = \frac{SN x AR}{50} + DR$$
(7)

Έτσι η (3) μετασχηματίζεται ως

KZ = 0.00028 P
$$\sqrt{(-0.04 \text{ AR} + 1.03) \text{ SN } x \frac{SN \times AR}{50} + \text{DR}} + 3.45$$
 (8)

Η επίδραση της εξίσωσης (3) είναι ότι όσο η αναλογία διαστάσεων μειώνεται, αυξάνεται ο συντελεστής «a» με τον οποίο πολλαπλασιάζεται το ονομαστικό πλάτος διατομής S_N όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.1. Έτσι, για τα ελαστικά μικρότερης αναλογίας διαστάσεων, το πλάτος του αποτυπώματος ως ποσοστό του πλάτους των ελαστικών, είναι αντιστρόφως ανάλογο του λόγου διαστάσεων.

Για την επαλήθευση, η προβλεπόμενη τιμή KZ υπολογίστηκε για 50 διαφορετικά ελαστικά 34 μεγεθών για τα οποία η εφαπτομενική ακαμψία μετρήθηκε σε διάφορες πιέσεις φορτίων και πίεση αέρα. Η Εικόνα 4.2 δείχνει την πολύ ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των μετρημένων και των προβλεπόμενων τιμών. [17]

Εικόνα 4.2: Συσχέτιση εφαπτομενικής ακαμψίας





Εικόνα 4.3 φορτίου / παραμόρφωσης



Αυτό που πραγματικά ενδιαφέρει είναι η εκτροπή του ελαστικού σε μία δεδομένη πίεση και φορτίο. Καθώς η παραμόρφωση αυξάνεται, το ελαστικό τεντώνεται και παράγεται έτσι περισσότερη θερμότητα. Επίσης για την εικόνα της ικανότητας φόρτωσης του ελαστικού θα πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη μας, την αντίστοιχη κάμψη. Η παραπάνω εικόνα δείχνει ένα ελαστικό με μια δεδομένη πίεση πλήρωσης. Καθώς εφαρμόζεται ένα φορτίο, το ελαστικό θα εκτρέπεται από την ποσότητα "d". Με την εφαπτομενική ακαμψία, μπορεί να υπολογιστεί ισοδύναμη στατική εκτροπή για κάθε συνδυασμό φορτίου και πίεσης στο κάθε ελαστικό και κατόπιν η εκτροπή δίνεται:

από $d = L/K_Z$ όπου: d = παραμόρφωση - mm

$$L = \phi o \rho \tau i \rho - kg$$

KZ = εφαπτομενική ακαμψία - kg / mm

Η εκτροπή υπό φορτίο θεωρείται ο κύριος καθοριστικός παράγοντας της αντοχής του ελαστικού και για τα διάφορα είδη ελαστικών, η κάμψη είναι το κατάλληλο μέτρο. Έτσι, για να συγκρίνουμε μια ποικιλία διαμέτρων ελαστικών, αναλογιών διαστάσεων και διαμέτρων ζάντας, είναι επιθυμητό να εκφράσουμε την εκτροπή ως ποσοστό του ύψους της διατομής (SH) όπως ορίζεται στην παραπάνω εικόνα.

Έτσι: %d=
$$\frac{d}{SH}$$
 x 100= $\frac{d}{(OD-FD)/2}$ x100 (9)

όπου: FD = διάμετρος της φλάντζας της ζάντας – mm

SH = ύψος διατομής (πάνω από τη φλάντζα της ζάντας) - mm

OD = εξωτερική διάμετρος - mm

Εικόνα 4.4: Αναλογία παραμόρφωσης με πλάτος (σειρά 75) - φορτίο - 240 kPa



4.4. ΕΠΑΦΗ, ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ (FOOTPRINT)

4.4.1. *ΕΙΣΑΓΩΓΗ*

Το ελαστικό έχει τρεις οριακές περιοχές. Το ένα είναι η ζώνη επαφής με την επιφάνεια του δρόμου και οι άλλες δύο είναι οι ζώνες επαφής μεταξύ των περιοχών του περιφερειακού σύρματος του ελαστικού και της ζάντας. Σε αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με την επαφή μεταξύ του ελαστικού και του δρόμου. Η επιφάνεια του

(8)

δρόμου θεωρείται ότι είναι στεγνή και άκαμπτη, με περιορισμένη υφή, εκτός αν πρέπει να ορίζεται διαφορετικά. Ο όρος αποτύπωμα χρησιμοποιείται εναλλακτικά ως: σημείο επαφής.

Η μελέτη του αποτυπώματος ελαστικών είναι πολύ περίπλοκο ζήτημα για διάφορους λόγους. Το ελαστικό είναι μια διπλά κυρτή επιφάνεια. Είναι κυρτή τόσο περιμετρικά όσο και εγκάρσια. Μια διπλά-καμπύλη επιφάνεια δεν είναι μια αναπτυσσόμενη επιφάνεια και δεν μπορεί να προσαρμοστεί σε επίπεδη ή στρογγυλή επιφάνεια απλά με κάμψη, αλλά πρέπει να τεντωθεί, να συμπιεστεί καθώς και να λυγίσει. Η τριβή του δρόμου επίσης επηρεάζει την παραμόρφωση του ελαστικού και κατά συνέπεια, το αποτύπωμα του ελαστικού.

Γενικά το ελαστικό είναι μια σχετικά μαλακή, εύκαμπτη, πνευματικά προεντεταμένη κατασκευή, η συμπεριφορά της οποίας εξαρτάται από τα εφαρμοζόμενα φορτία και τις συνθήκες λειτουργίας.

Παρά τις δυσκολίες αυτές, η προφανής συσχέτιση μεταξύ του αποτυπώματος των ελαστικών και των άλλων ιδιοτήτων του ελαστικού, συμπεριλαμβανομένης της πρόσφυσης, του θορύβου αλληλεπίδρασης μεταξύ ελαστικών και οδοστρώματος, οδήγηση πάνω στις οδικές ανωμαλίες και η φθορά, μας οδηγεί να μελετήσουμε την επαφή του ελαστικού με το δρόμο.

4.4.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΟΝΤΑΣ ΤΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΤΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ

Το αποτύπωμα εμφανίζεται σαν μια εκτύπωση του μπλοκ πάνω στο δρόμο. Αυτό συμβαδίζει με τις εικόνες αποτυπώματος μελανιού που χρησιμοποιούνται συνήθως στη βιομηχανία ελαστικών. Το αποτύπωμα προβάλλεται είτε κατ' ευθείαν προς τα κάτω, είτε σε κάτοψη, είτε από πάνω και αριστερά ή δεξιά, δημιουργώντας ισομετρικές εικόνες.

Εικόνα 4.5: Αποτύπωμα ελαστικού και σύστημα αξόνων



Το αποτύπωμα του ελαστικού περιγράφεται σε ένα σύστημα αποτυπώματος αξόνων (FAS) το οποίο καθορίζει μια όψη και παρέχει τη συμπεριφορά του αποτυπώματος των ελαστικών. Βασίζεται δε στον προσανατολισμό με βάση την επιφάνεια του οδοστρώματος για την μέτρηση της συμπεριφοράς του αποτυπώματος ενώ για την μέτρηση των ροπών και των δυνάμεων βασίζεται στον προσανατολισμό του τροχού.

Μεγάλη προσοχή πρέπει να δώσουμε στο ότι το κέντρο επαφής ορίζεται από τον τροχό και όχι από το ελαστικό.

Ο άξονας X βρίσκεται στο οδικό επίπεδο και συμπίπτει με την ταχύτητα πορείας του ελαστικού με το θετικό X προς την κατεύθυνση της ταχύτητας του κέντρου επαφής ελαστικού V. O άξονας Y βρίσκεται στο οδικό επίπεδο κάθετο στον άξονα X με το θετικό Y είναι προς τα δεξιά όταν το σύστημα βλέπει από το πίσω μέρος κοιτάζοντας

προς την θετική κατεύθυνση Χ. Ο άξονας Ζ είναι κάθετος στο οδικό επίπεδο με την θετική του διεύθυνση στο οδικό επίπεδο.

Αντίστοιχα οι ορισμοί των τάσεων έχουν ως εξής σ_χ+ ωθεί το ελαστικό προς τα εμπρός (τείνει να επιταχύνει το όχημα) και σ_χ- ωθεί το ελαστικό Χ προς τα πίσω (επιβράδυνση). Το σ_ψ+ ωθεί το ελαστικό προς τα δεξιά και το σ_ψ- ωθεί το ελαστικό προς τα αριστερά. Το σ_z - υποστηρίζει το ελαστικό δηλ. εμποδίζει το ελαστικό να βυθιστεί στο δρόμο.

4.4.3 ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ

Παρακάτω απεικονίζεται το αποτύπωμα ενός ελαστικού με την προσθήκη γραφικής απεικόνισης των μετατοπίσεων της επιφάνεια πέλματος σε σχέση με το δρόμο. Υπάρχουν δύο μετακινήσεις: u στην κατεύθυνση X και v στην κατεύθυνση Y. Η μετατόπιση ολίσθησης-εκτροπής ενός σημείου της επιφάνειας του πέλματος περιγράφεται από τη διαφορά μεταξύ της θέσης του σημείου αυτού, σε δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές κατά την κύλιση του ελαστικού στην επιφάνεια του οδοστρώματος κατά τη διάρκεια της επαφής. έτσι έχουμε μια χαρακτηριστική καμπύλη διαδρομής S που αρχίζει στο χρόνο t_0 και διανύει μια ταχύτητα u και v σε ένα χρονικό διάστημα t_1 .

Εικόνα 4.6 Μετατοπίσεις της επιφάνειας του πέλματος σε σχέση με το δρόμο



Παρακάτω έχουμε μια φωτογραφία ενός αποτυπώματος ελαστικού που τραβήχτηκε ενώ αυτό κυλούσε με γωνία ολίσθησης σε χαμηλή ταχύτητα. Η παρακάτω μορφή δεν θα ήταν εμφανής σε στατική φόρτωση. Αυτή η εικόνα λήφθηκε από κάτω ενώ έστριβε από αριστερά προς τα δεξιά, έτσι ώστε να εμφανίζεται ίδιο το αποτύπωμα όπως στην 4.6

Εικόνα 4.7: ελαστικό σε θετική γωνία ολίσθησης



Για μια επιφάνεια με υφή όπως η οδική, η πραγματική επιφάνεια της επαφής ελαστικού /δρόμου είναι μικρή. Αυτό συμβαίνει γιατί, η επιφάνεια του ελαστικού μέσα στο αποτύπωμα δεν μπορεί να συμμορφωθεί τέλεια με τις ανωμαλίες του οδοστρώματος.

Έτσι με την προσαρμογή της γυάλινης πλάκας έχουμε ταυτόχρονα προσδιορισμό τόσο της κανονικής πίεσης στο αποτύπωμα, όσο και της απεικόνισης του αποτυπώματος,.

Μια τέτοια εφαρμογή είναι σημαντική για τις μελέτες υδρολίσθησης όπου μπορεί να εξακριβωθεί το βάθος του νερού που υπάρχει μεταξύ των διαφόρων τμημάτων του πέλματος στο αποτύπωμα και στην επιφάνεια της γυάλινης πλάκας.

4.4.4 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ

Η θερμοκρασία του πέλματος αναφέρεται μέσα σε ένα μικρό κλάσμα της επιφάνειας του πέλματος. Η μεταβολή της επιφανειακής θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια μιας απλής διέλευσης του ελαστικού, μέσω της επαφής, είναι ένα μέτρο της απόδοσης της ενέργειας λόγω της ολίσθησης, επειδή οι ενώσεις του πέλματος είναι αρκετά καλοί θερμικοί μονωτές.

Επίσης η μεταβολή της θερμοκρασίας μπορεί να θεωρηθεί στο αποτύπωμα ως πιθανός λόγος άνισης φθοράς.

Η απόξεση, η ακαμψία και ο συντελεστής τριβής της ένωσης πέλματος εξαρτώνται επίσης από τη θερμοκρασία. Έτσι, η αντίσταση στη φθορά και ο χειρισμός του οχήματος εξαρτώνται επίσης από τη θερμοκρασία του ελαστικού στην περιοχή αποτυπώματος, η οποία, με τη σειρά της, αντανακλά τη σύνθετη υστέρηση και το μέγεθος των λειτουργικών παραμορφώσεων.

Εικόνα 4.8: Επίδραση των θερμικών ιδιοτήτων του οδοστρώματος στην υπολογισμένη αύξηση της θερμοκρασίας στην επαφή του ελαστικού



Μετά από θερμογραφικές μετρήσεις του ίχνους πέλματος με τον δρόμο και των μετρήσεων της φθοράς του ελαστικού, έδειξαν ότι η συμπεριφορά των ελαστικών στο αποτύπωμα δεν εξαρτάται μόνο από τα μεγέθη αυτών των δυνάμεων (πλευρικές και διαμήκεις) αλλά και από τον τρόπο που αυτές παράγονται.

Η συνολική ευαισθησία του ελαστικού δίνεται από τον τύπο $R = KF^n$ (10) όπου: R = Pυθμός φθοράς (mm / 1000 km)

F = διατμητική δύναμη ελαστικών

Κ = Σταθερό (εξαρτάται από την ένωση πέλματος/δρόμου) 2 και 4. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο εκθέτης είναι μεταξύ 2,0 και 2,5. [13]

4.4.5. ΦΥΣΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ

Το αποτύπωμα είναι ένα κινηματικά καθοδηγούμενο όριο. Η διπλή καμπυλότητα της δομής του ελαστικού απαιτεί την τάνυση, συμπίεση και κάμψη της δομής του για την προσαρμογή στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Αυτές οι εξαναγκασμένες μετατοπίσεις δημιουργούν το πεδίο της παραμόρφωσης του αποτυπώματος. Επίσης συνδυάζονται με την επίδραση της πίεσης αέρα του ελαστικού, του περίπλοκου πεδίου μετατόπισης λόγω φόρτωσης με συμπίεση του σχεδόν ασυμπίεστου πέλματος που κόβεται σε περίπλοκα σχέδια και της μαλακής απόκρισης της δομής του ελαστικού σε μετατοπίσεις διάτμησης.

Η εικόνα 4.9 αποτελεί παράδειγμα των καταπονήσεων και των μετατοπίσεων οριζόντιων και πλευρικών, σε ένα μόνο σημείο, ενός ελαστικού αυτοκινήτου που μετακινείται ευθεία.



Εικόνα 4.9: παλμογράφιμα ένος μονού σημείου του ελαστικού

4.4.6 ΕΛΑΣΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΠΕΛΜΑΤΟΣ

Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει την τυπική συμπεριφορά ελεύθερης κύλησης για ένα ομαλό πέλμα ενός ελαστικού που περιορίζεται να λειτουργεί με μηδενικές γωνίες ολίσθησης και κλίσης. Σε αυτό εμφανίζονται οι τάσεις και στις τρείς διευθύνσεις.

Εικόνα 4.10: Τυπικές ισομετρικές πλευρικές, διαμήκεις και κανονικές τάσεις για ένα ελαστικό επιβατικών που κυλά σε μηδενική ολίσθηση και γωνία κλίσης



Τα αποτελέσματα που φαίνονται στην εικόνα 4.10 συνδέονται με την επίδραση της πίεσης του αέρα στο διπλά κυρτό ελαστικό, καθώς αναγκάζεται να προσαρμοστεί στην επιφάνεια του δρόμου. Ένα αποτέλεσμα είναι στο κέντρο της επαφής τα φορτία στις ζώνες των λινών να χαλαρώσουν σχεδόν τελείως. Αυτό αναγκάζει την επαφή του ελαστικού να τραβιέται προς τα μέσα, οδηγώντας σε εξωτερικά κατευθυνόμενες τάσεις διάτμησης του αποτυπώματος.

Το βασικό προφίλ για την κανονική καταπόνηση σε ένα επίπεδο παράλληλο προς το επίπεδο X-Z είναι τραπεζοειδές. Στην περίπτωση της εικόνας 4.10 η κορυφή του προφίλ είναι σχεδόν επίπεδη. Το κέντρο πίεσης για κανονική τάση στο αποτύπωμα είναι ελαφρώς μπροστά από τον άξονα y και έτσι υπάρχει μια θετική ροπή αντίστασης κύλισης. Γενικά τα ελαστικά εμφανίζουν κανονικά προφίλ τάσεων σε διαμήκη επίπεδα μέσω επαφής, τα οποία κυμαίνονται από τραπεζοειδές έως παραβολικά, ανάλογα με το σχεδιασμό, την κατασκευή, την πίεση και το φορτίο του ελαστικού.

Για τα συνήθη ελαστικά επιβατών, όπως στην εικόνα 4.10, είναι τυπικό να βρεθούν τα μεγαλύτερα κανονικά μεγέθη τάσης στους ώμους με μικρότερα μεγέθη στην κορυφή. Έτσι είναι φυσικό στο επίπεδο Y-Z οι τιμές στους ώμους να έχουν ένα σχήμα μπολ και οι τιμές στην κορώνα του πέλματος, να αντιπροσωπεύουν το κάτω μέρος του μπολ.

Επίσης στην εικόνα 4.10, η διαμήκης τάση είναι θετική στο μέτωπο της επαφής και αρνητική στο πίσω μέρος. Αυτό είναι ακριβώς αυτό που αναμένεται βάσει των εξωτερικά κατευθυνόμενων τάσεων διάτμησης του αποτυπώματος του, που οδηγείται από τις αλλαγές φορτίου του κορδονιού.

Ένα άλλο ενδιαφέρον χαρακτηριστικό μπορεί να παρατηρηθεί στα δεδομένα διαμήκους τάσης. Η διαμήκης τάση στους ώμους, είναι πιο θετική από ό, τι στην κορώνα. Τώρα, εξ ορισμού, ο λόγος ολίσθησης του ελαστικού κύλισης είναι μηδέν. Για να είναι η διαμήκης τάση στον ώμο πιο θετική από αυτή της στεφάνης, οι ώμοι πρέπει να ταξιδεύουν περισσότερο από την κορώνα για κάθε περιστροφή. Αυτό σημαίνει ότι οι ώμοι (πλαινά) έχουν μεγαλύτερη ακτίνα κύλισης από την κορώνα.

Οι πλάγιες τάσεις στην εικόνα 4.10 δείχνουν επίσης την επίδραση της χαλάρωσης του φορτίου του καλωδίου με τον δεξιό ώμο που δείχνει τις θετικές τάσεις και τον αριστερό ώμο που δείχνει τις αρνητικές τάσεις.



Εικόνα 4.11: Κανονική ισομετρική τάση για ένα ακτινικό ελαστικό (TBR) που κυλά σε γωνίες ολίσθησης και κλίσης μηδέν

Η εικόνα 4.11 είναι μια ισομετρική γραφική παράσταση κανονικής τάσης για ελαστικό μεσαίου φορτίου (TBR). Προφανώς, μια διαμήκης τομή μέσω αυτών των δεδομένων θα δώσει ένα παραβολικό προφίλ.[18]

4.4.7 *ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΝΑΝΤΙ ΚΥΛΙΣΗΣ*

Οι παρακάτω εικόνες δείχνουν ισομετρικές απόψεις φόρτισης σε ένα ίχνος του ελαστικού δακτυλίου του ακτινικού βάρους, καθώς περνάει από τη στατική φόρτωση στην ελεύθερη κύλιση.

Οι κανονικές τάσεις είναι μεγαλύτερες σε μέγεθος στον ώμο και χαμηλότερες στην κορώνα, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.12, ανεξάρτητα από το αν το ελαστικό είναι ακίνητο ή κυλιόμενο. Βασικά, οι ώμοι είναι πιο φορτωμένοι και η κορώνα είναι πιο ελαφριά κατά τη διάρκεια της κύλισης.

Εικόνα 4.12: Ισομετρικές πλευρικές καταπονήσεις ενός φορτωμένου ακτινικού επιβατικού ελαστικού και σε αργή κύλιση



Εικόνα 4.13: Ισομετρικές διαμήκεις τάσεις αποτυπώματος φορτωμένου ακτινικού ελαστικού επιβατικού σε αργή κύλιση



Η αλλαγή στο κανονικό μοτίβο τάσης, σχετίζεται με μεταβολές στην πλευρική τάση από τη στατική στην κυλιόμενη κατάσταση. Όπως φαίνεται στην εικόνα 4.12, οι προς τα έξω κατευθυνόμενες πλάγιες καταπονήσεις μειώνονται σημαντικά στην έλαση. Βασικά, η κίνηση που εμφανίζεται κατά την κύλιση, ελευθερώνει τους ώμους για να κινηθεί προς τα μέσα, ως αποτέλεσμα της χαλάρωσης της τάσης της ζώνης των λινών στο αποτύπωμα. Οι ώμοι κινούνται προς τα μέσα και κυλούν κάτω, ενώ η στεφάνη τείνει να παραμορφωθεί μακριά από το δρόμο, μειώνοντας το μέγεθος της κανονικής πίεσης του στεφανιού. Ένα ιδεατό σκίτσο της διαδικασίας παρουσιάζεται στην εικόνα 4.14

Εικόνα 4.14: Σχηματική συσχέτιση πλευρικής τάσης αντιπροσωπευτική της αλλαγής από τη στατική φόρτιση σε ευθεία ελεύθερη κύλιση με χαμηλή ταχύτητα



Οι οδηγικές και κατασκευαστικές παράμετροι μεταβάλλουν σημαντικά τις τάσεις του αποτυπώματος του ελαστικού και οι μετατοπίσεις ολίσθησης επηρεάζουν σημαντικά τις συνολικές δυνάμεις και τις ροπές που αναπτύσσονται από το ελαστικό.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 4.15, η επιβολή γωνίας ολίσθησης μετασχηματίζει το αποτύπωμα του ελαστικού σε τραπεζοειδές. Μια αριστερή στροφή οδηγεί σε έναν μακρύ δεξιό ώμο και έναν κοντό αριστερό ώμο, ο οποίος ως δεξιά στροφή οδηγεί σε έναν μακρύ αριστερό ώμο και έναν κοντό δεξιό ώμο. Ο μακρύς ώμος εκτίθεται σε πολύ μεγαλύτερο εύρος φυσιολογικής πίεσης από τον ελαφρώς φορτισμένο κοντό ώμο.

Εικόνα 4.15: Επίδραση της γωνίας ολίσθησης στο πεδίο τάσης ενός ομαλού ελαστικού



Οι πλάγιες καταπονήσεις στη στροφή είναι πολύ μεγαλύτερες από ό, τι για ένα ελαστικό που κυλά ευθεία. Για μια αριστερή στροφή, σε μια θετική γωνία ολίσθησης, οι πλευρικές τάσεις είναι ουσιαστικά εντελώς αρνητικές, και στη δεξιά στροφή είναι ουσιαστικά εντελώς αρνητικές και στη δεξιά στροφή είναι ουσιαστικά εντελώς που ελαστικού είναι υπεύθυνες γι αυτές τις πλευρικές καταπονήσεις. Μια προσεκτική ματιά στις πλευρικές δυνάμεις που φαίνονται στην εικόνα 4.15 αποκαλύπτει ότι οι τάσεις αναπτύσσονται διαφορετικά ανάλογα με την πλευρική θέση.

Η εικόνα 4.16 δίνει μια απλοποιημένη όψη των πλευρικών και των ολισθήσεων που αναπτύσσονται από το ελαστικό επιδόσεων όταν στρέφονται δεξιά, σε γωνία ολίσθησης -1 °.



Εικόνα 4.16: πλευρικές τάσεις και ολίσθηση ολίσθησης για ελαστικό σε στροφή για πλευρική τάση

Η ράβδος 1 (αριστερή πλευρά) επιμηκύνεται και υπόκειται σε υψηλότερες τάσεις. Η μετατόπιση της πλευρικής ολίσθησης συμβαίνει κυρίως στο πίσω μέρος της επαφής και η πλευρική κατανομή τάσεων στρέφεται σίγουρα προς τα πίσω.

Η ράβδος 3, η οποία υπόκειται σε μέτριο επίπεδο τάσης, επιτυγχάνει μέγιστη πλευρική τάση περίπου κατά το ήμισυ της επαφής και κατόπιν η πλευρική τάση παύει να αναπτύσσεται (συμβαίνει ολίσθηση) παρά την αυξανόμενη μετατόπιση ολισθήσεως. Η ράβδος 5 είναι ελαφρώς φορτωμένη και το μήκος επαφής της είναι μικρό. Και πάλι, η ολίσθηση αρχίζει περίπου στο μέσο της επαφής. [18]

Η εικόνα 4.17 δείχνει ότι η επίδραση μικρών γωνιών κλίσης είναι πολύ μικρότερη από τις μικρές γωνίες ολίσθησης. Αυτό αναμένεται, δεδομένης της απόκρισης των δυνάμεων και των ροπών των ελαστικών επιβατικών στη γωνία κλίσης. Τα αποτελέσματα είναι αυτά που αναμένονται όταν ένας βραχίονας φορτώνεται πιο έντονα από το φορτίο ο άλλος ταυτόχρονα ελαφρώνει. [13]



Εικόνα 4.17: Επίδραση της γωνίας κλίσης στο πεδίο τάσης ενός ελαστικού

Εικόνα 4.18: Διαμήκεις διατμητικές τάσεις για ένα ομαλό ελαστικό πέλμα κατά τη διάρκεια φρεναρίσματος



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΡΟΠΕΣ

<u>5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>

Η σημασία του ελαστικού ως πηγή των δυνάμεων ελέγχου του οχήματος αναγνωρίστηκε όταν το αυτοκίνητο έγινε ο σημαντικότερος αγοραστής ελαστικών. Η αναγνώριση αυτή ξεκίνησε με την ανάγκη για ασφάλεια κατά το φρενάρισμα. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1930 μετρήθηκαν οι ιδιότητες των δυνάμεων και των ροπών των ελαστικών και η πραγματική μελέτη της διεύθυνσης και του χειρισμού των αυτοκινήτων, ξεκίνησε. Η δε κατανόηση της σημασίας της πλευρικής δύναμης ήρθε αργότερα.

Σήμερα, όλοι οι κατασκευαστές ελαστικών και οχημάτων μοντελοποιούν τα προβλήματα για να δώσουν λύση στον έλεγχο του αυτοκινήτου.

Οι δυνάμεις των ελαστικών και των ροπών είναι πολύπλοκες, μη γραμμικές συναρτήσεις της μεταβαλλόμενης λειτουργίας των ελαστικών, που δημιουργούνται από τον χειρισμό του οδηγού και τη συμπεριφορά του οχήματος.

Προκειμένου να διευκολυνθεί η επικοινωνία, η μοντελοποίηση και η χρήση των δεδομένων που προκύπτουν από τον έλεγχο αυτό, έχουν δημιουργηθεί ορολογίες που περιγράφουν τις επιδράσεις που ασκούνται, αλλά και που αναπτύσσει το ελαστικό.

5.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΙ ΡΟΠΩΝ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ ΣΕ ΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΞΟΝΩΝ ΚΑΤΑ SAE



Εικόνα 5.1. σύστημα αξόνων ενός ελαστικού. (SAE j670e 1978)

Η παραπάνω εικόνα απεικονίζει το σύστημα αξόνων ενός ελαστικού. Το σύστημα είναι τριών αξόνων, ορθογώνιο και δεξιόστροφο με επιφάνεια εφαρμογής το επίπεδο επαφής του ελαστικού-δρόμου και κέντρο που ορίζεται από το μισό της απόστασης μεταξύ των χειλών της στεφάνης.

Ο άξονας X βρίσκεται κατά μήκος της γραμμής επαφής που ορίζεται από την τομή του επιπέδου του τροχού με το επίπεδο δρόμου και η θετική X είναι στην προβλεπόμενη κατεύθυνση κύλισης του ελαστικού.

Ο άξονας Υ είναι κατά μήκος της προεξοχής του άξονα περιστροφής πάνω στο επίπεδο δρόμου με θετικό Υ είναι προς τα δεξιά όταν κοιτάμε το σύστημα από πίσω στον θετικό Χ. Ο άξονας Ζ ορίζεται από την τομή των + Χ σε + Υ με θετική φορά προς το δρόμο.

Τρεις δυνάμεις εφαρμόζονται στην επαφή του ελαστικού με το δρόμο.

Η διαμήκης δύναμη, FX, είναι η δύναμη του δρόμου στο ελαστικό κατά μήκος του άξονα X. Αν το FX είναι θετικό, το ελαστικό οδηγείται και το FX ονομάζεται κινητήρια δύναμη. Εάν η τιμή FX είναι αρνητική, το ελαστικό φρενάρει και το FX ονομάζεται δύναμη πέδησης.

Η πλευρική δύναμη, FY, είναι η δύναμη του δρόμου στο ελαστικό κατά μήκος του άξονα Y '. Αναγκάζει το όχημα να μετακινηθεί προς τα αριστερά ή προς τα δεξιά ανάλογα με το αν το ελαστικό κατευθύνεται / ή έχει κλίση (camber) προς τα αριστερά ή τα δεξιά.

Η κανονική δύναμη, FZ, είναι η δύναμη του δρόμου στο ελαστικό κατά μήκος του άξονα Z '. Είναι η δύναμη επαφής μεταξύ του δρόμου και του ελαστικού. Εξ ορισμού, είναι αρνητική.

Επίσης τρεις ροπές δρουν στο αντίστοιχο σύστημα αξόνων ελαστικών. Για παράδειγμα η MX δρα για τον X', όπου ισχύει ο κανόνας του δεξιού χεριού. Η θετική φορά για κάθε ροπή είναι δεξιόστροφη γύρω από τον θετικό κλάδο του σχετικού άξονα όταν κοιτάζει μακριά από την αρχή του συστήματος αξόνων κατά μήκος του θετικού κλάδου του άξονα.

Οι τρεις ροπές ορίζονται ως εξής.

Η ροπή υπερστροφής, MX, είναι η ροπή για τον άξονα Χ. Αντιπροσωπεύει την επίδραση της μετακίνησης του σημείου δράσης της δύναμης σε σχέση με το κέντρο επαφής από αριστερά προς τα δεξιά. Το MX επηρεάζει τη συμπεριφορά κλίσης (camber).

Η ροπή αντίστασης κύλισης, MY, είναι η ροπή για τον άξονα Υ. Υπολογίζει την εκ των προτέρων μετατόπιση του σημείου δράσης της κανονικής δύναμης σε σχέση με το κέντρο επαφής. Η MY είναι εν μέρη κακώς ονομαζόμενη, καθώς δεν έχει καμία σχέση με την αντίσταση κύλισης.

Η ροπή ευθυγράμμισης, MZ, είναι η ροπή για τον άξονα Ζ. Αποτελεί το σημείο δράσης των δυνάμεων διάτμησης, FX και FY, στο οδικό επίπεδο.

Τα ελαστικά και οι τροχοί υποβάλλονται επίσης σε ροπές λόγω γυροσκοπικών και γωνιακών επιταχύνσεων που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της δυναμικής λειτουργίας. Αυτές δεν λαμβάνονται σοβαρά υπ όψιν στις περισσότερες μελέτες δύναμης και ροπής.

5.2.1 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ Η ΧΕΙΡΙΣΜΟΙ ΠΟΥ ΟΔΗΓΟΥΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΙ ΡΟΠΩΝ ΤΩΝ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ

Κατά τη χρήση, τα ελαστικά παράγουν τις δυνάμεις και τις ροπές που μόλις ορίσαμε. Η γενεσιουργός δύναμη των ελαστικών δημιουργείται ως κινηματική απόκριση σε έναν αριθμό μεταβολών χρήσης και δεδομένων όπως η πίεση και η ταχύτητα οδήγησης. Τέτοιες μεταβλητές χρήσης καθορίζονται ως εξής:

A) **Το φορτίο (FZ)** των ελαστικών, το οποίο χαρακτηρίζεται από την δύναμη (FZ), είναι η σημαντικότερη μεταβλητή χρήσης ελαστικών. Καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τις δομικές παραμορφώσεις του ελαστικού. Η δύναμη είναι ένας κρίσιμος παράγοντας στη δημιουργία δυνάμεων τριβής.

B) Ακτίνα φορτίου R₁, είναι η απόσταση από τον άξονα περιστροφής έως το κέντρο επαφής στο επίπεδο του τροχού. Αυτή είναι μια σημαντική γεωμετρική μεταβλητή στις μελέτες δύναμης και ροπής ελαστικών. Εξαρτάται από την δύναμη και τη δομή του ελαστικού.

Γ) Η γωνία ολίσθησης a, μετράται από τον άξονα X προς την κατεύθυνση της τροχιάς του τροχού, (ταχύτητα τροχιάς V_T), η ταχύτητα του κέντρου επαφής στο δρόμο, βρίσκεται στο οδικό επίπεδο. Η α είναι θετική δεξιόστροφα γύρω από τον θετικό κλάδο

(1)

του άξονα Ζ. $\alpha = tan^{-1}\left(\frac{V_y}{V_x}\right)$

Δ) Γωνία κλίσης γ, μετρά την κλίση (τύπου camber) του επιπέδου του τροχού σε σχέση με τον άξονα Ζ. Η γωνία κλίσης μετράται από τον άξονα Ζ προς το επίπεδο τροχού εντός του επιπέδου Υ Ζ. Είναι θετική δεξιόστροφα γύρω από τον θετικό άξονα Χ. Η κορυφή ενός ελαστικού που παρουσιάζει μια θετική γωνία κλίσης μετακινείται προς τα δεξιά σε σχέση με το κέντρο επαφής του, όπως φαίνεται από το πίσω μέρος.

Οι μηχανικοί των ελαστικών χρησιμοποιούν γωνία κλίσης αντί για γωνία camber για να διατηρούν την ίδια σήμανση της θέσης όλων των ελαστικών σε ένα όχημα. Η γωνία κλίσης είναι θετική όταν η κορυφή ενός ελαστικού κλίνει προς τα δεξιά. Ενώ η γωνία camber ορίζεται ως θετική, αν το ελαστικό κλίνει προς τα έξω σε ένα όχημα. Έτσι, στη δεξιά πλευρά η κλίση της γωνίας camber του οχήματος είναι ίση με τη γωνία κλίσης, αλλά στην αριστερή πλευρά του οχήματος η κλίση της γωνίας camber είναι η αρνητική γωνία κλίσης.

Εάν η διαδρομή που ακολουθείται από το ελαστικό έχει πολύ μεγάλη καμπυλότητα, δηλαδή πολύ μικρή **ακτίνα στροφής**, η καμπυλότητα της διαδρομής επηρεάζει με μετρήσιμες τιμές την πλευρική δύναμη και την δημιουργία ροπής ευθυγράμμισης. Για τα ελαστικά αυτοκινήτων και φορτηγών, η καμπυλότητα της διαδρομής σε κανονικές ταχύτητες λειτουργίας είναι μικρή και αγνοείται. Στην περίπτωση των μοτοσικλετών όμως η καμπυλότητα της διαδρομής πρέπει να ληφθεί υπόψη.

Η παραγωγή της διαμήκους δύναμης εξαρτάται από τη γωνιακή ταχύτητα (Ω) γύρω από τον άξονα περιστροφής και συγκεκριμένα από τη σχέση της στιγμιαίας (υπάρχουσας) γωνιακής ταχύτητας με τη γωνιακή ταχύτητα που υπάρχει όταν το ελαστικό κυλά ελεύθερα σε ευθεία γραμμή. Η ροπή που εφαρμόζεται από τον άξονα στο ελαστικό είναι αυτή που καθορίζει τη γωνιακή ταχύτητα του ελαστικού άρα και τη δημιουργία διαμήκους δύναμης.

Ο λόγος ολίσθησης k ορίζει τη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής σε δεδομένο χρόνο σε σχέση με τη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του ελαστικού σε ελεύθερη κύλιση Ω ο. Όταν το Ω είναι μεγαλύτερο από Ω ο, k> 0, το ελαστικό παράγει μια κινητήρια δύναμη. Όταν το Ω είναι μικρότερο από Ω ο, k<0, το ελαστικό δημιουργεί μια δύναμη πέδησης.

$$\mathbf{k} = (\mathbf{\Omega} - \mathbf{\Omega}\mathbf{o}) / \mathbf{\Omega}\mathbf{o}$$

(2)

Η ροπή του τροχού Τ είναι η εξωτερική ροπή που εφαρμόζεται στο ελαστικό γύρω από τον άξονα περιστροφής, εικόνα 5.1. Προκαλεί το ελαστικό να λειτουργεί είτε σε κατάσταση οδήγησης είτε σε κατάσταση φρεναρίσματος. Όταν το Τ είναι μεγαλύτερο από το μηδέν, ονομάζεται ροπή οδήγησης. Όταν το Τ είναι μικρότερο από το μηδέν, ονομάζεται ροπή οδήγησης.

5.3. ΓΩΝΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Ας θεωρήσουμε ότι η ζώνη στρώσεων και η ζώνη πέλματος ενός ελαστικού έχουν απλουστευθεί σε ένα λεπτό κορδόνι που αντιπροσωπεύει την κεντρική περιμετρική γραμμή γύρω από το πέλμα του ελαστικού. Θεωρούμε επίσης ότι το κορδόνι υποστηρίζεται από μια ελαστική βάση η οποία θα το επαναφέρει στο (αρχικό περιμετρικό) κέντρο σε σχέση με το επίπεδο τροχού αν αυτό εκτραπεί πλευρικά και απελευθερωθεί. Επίσης ότι η επιφάνεια του κορδονιού αποτελείται από σωματίδια υψηλής τριβής, όπως το πέλμα του ελαστικού.

Όταν κυλήσουμε το ελαστικό στην επιφάνεια ενός δρόμου και παρατηρήσουμε τη διαδρομή του κορδονιού που αντιπροσωπεύει την κεντρική γραμμή του πέλματος, θα εντοπίσουμε: μια (θετική) γωνία κλίσης, που υπάρχει μεταξύ του ίχνος του κορδονιού (της περιμέτρου του τροχού) πάνω στην επιφάνεια του οδοστρώματος και στο διάνυσμα ταχύτητας του κέντρου επαφής (τον φορέα τροχιάς) εικόνα 5.2.



Εικόνα 5.2 σειρά κεντρικής γραμμής πέλματος ελαστικού με γωνία ολίσθησης σε επαφή με το δρόμο

Όταν τα σωματίδια υλικού τριβής της κεντρικής γραμμής του ελαστικού έρθουν σε επαφή με την επιφάνεια του δρόμου τείνουν να προσκολληθούν σε αυτή. Στη συνέχεια, καθώς το ελαστικό κυλάει προς τα εμπρός, τα σωματίδια αυτά μετακινούνται πάνω στην επιφάνεια επαφής (αρχικά ακολουθώντας την κατεύθυνση τροχιάς της ταχύτητας). Επειδή η ελαστική βάση των στοιχείων προσπαθεί να επιστρέψει το κορδόνι στο επίπεδο του τροχού, αυτό προκαλεί δυνάμεις τριβής μεταξύ των σωματιδίων και του δρόμου. Σε κάποιο σημείο της διαδρομής του, μέσω της επαφής, τα σωματίδια δεν μπορούν πλέον να παρέχουν την απαραίτητη τριβή για την απόλυτη παρακολούθηση της διαδρομής της τροχιάς της ταχύτητας και αρχίζουν να ολισθαίνουν πάνω στην επιφάνεια του δρόμου. Δεδομένης της αρκετά μεγάλης διάρκειας ή μιας αρκετά μεγάλης απόστασης για την εξισορρόπηση της κατάστασης, το κορδόνι παίρνει μια διαμόρφωση όπως αυτή που παρουσιάζεται στην εικόνα 5.2 [20]





Το άθροισμα των πλευρικών τάσεων, είναι αρνητικό για μια θετική γωνία ολίσθησης και έχει κέντρο εφαρμογής πίσω από το κέντρο επαφής (άξονα συμμετρίας) για γωνίες ολίσθησης που συμβαίνουν κατά την οδήγηση. Έτσι, η πλευρική δύναμη έχει μια ροπή, αυτή η ροπή σε σχέση με τον άξονα Ζ, τείνει να επαναφέρει το ελαστικό στην ασταθή του κατάσταση. Η απόσταση από το κέντρο επαφής στο σημείο εφαρμογής της πλευρικής δύναμης ονομάζεται πνευματική διαδρομή, 1_{TY}. Το παράδειγμα δείχνει ότι η ροπή 'ευθυγράμμισης'' είναι θετική για μια μικρή θετική γωνιακή ολίσθηση, η οποία αντικατοπτρίζει τι συναντούμε στην οδήγηση.[10]

Εικόνα 5.4 Ροπή υπερστροφής – εκτροπή ελαστικού



Υποθέτοντας ότι οι τάσεις δρουν στη γραμμή του κορδονιού, τότε είναι σαφές ότι η ολόσωμη, δύναμή τους, έχει μια θετική ροπή ''υπερστροφής'', για τον άξονα Χ.

Το συνολο (πέλματος- ιμάντων) ενός ελαστικού αποτελούν μία στεφάνη με δυσκαμψία. Έτσι, αν αυτά παραμορφωθούν πλευρικά, όπως στο μοντέλο ''κορδόνι'', θα το ωθήσουν να στρίψει έξω από το οδικό επίπεδο. Αυτό προκαλεί την μετακίνηση του αποτυπώματος από ένα συμμετρικά πλευρικό σχήμα, σε ένα τραπεζοειδές σχήμα όπως αυτό στην εικόνα 5.4.Η πολύ φορτωμένη, μακριά πλευρά του αποτυπώματος βρίσκεται στην πιο εμπρόσθια πλευρική άκρη του αποτυπώματος.

Στην περίπτωση μιας θετικής ολίσθησης - αριστερή στροφή, η μεγάλη άκρη είναι η δεξιά άκρη. Αυτό τείνει να αναγκάζει τη δύναμη να βρεθεί στα δεξιά του άξονα Χ, και να προκαλέσει μια αρνητική ροπή ''υπερστροφής''.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι υπάρχουν δύο μηχανισμοί που οδηγούν στην εξέλιξη της ροπής ''υπερστροφής'', κάθε μία με διαφορετική σχέση με τη γωνία ολίσθησης, η ροπή ''υπερστροφής'' μπορεί να είναι θετική ή αρνητική ανάλογα με το σχεδιασμό του ελαστικού, με το φορτίο και ποιος μηχανισμός λειτουργίας υπερισχύει στη δεδομένη στιγμή. [20]

Εικόνα 5.5 Φωτογραφία σε γυάλινη πλάκα του αποτυπώματος για ένα ελαστικό στην α) ευθεία – β) θετική γωνία ολίσθησης



5.4 ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ

Εικόνα 5.6 Γωνία κλίσης



Η εικόνα 5.7 δείχνει ότι η κεντρική γραμμή του πέλματος απομακρύνεται από το επίπεδο του τροχού, εξαιτίας της γεωμετρικής αλλαγής, όταν η επιφάνεια του (υπό κλίση) ελαστικού αλλάζει από στρογγυλή σε επίπεδη, όταν το ελαστικό, έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του δρόμου.

Εικόνα 5.7 κορδόνι-σειρά ελαστικού σε γωνία κλίσης κατά την επαφή με το δρόμο



Κατ' αρχάς, η προκύπτουσα εκτροπή του ελαστικού, είναι συμμετρική σε σχέση με το κέντρο επαφής, σε αντίθεση με την περίπτωση της γωνίας ολίσθησης όπου η εκτροπή αυξάνεται σε όλο το μήκος του αποτυπώματος. Έτσι, το μέγεθος των προκαλούμενων από την κλίση πλευρικών δυνάμεων αναμένεται να είναι μικρότερο από εκείνο που προκαλείται από τη γωνία ολίσθησης. Επιπλέον, εάν τα σωματίδια τριβής στο πέλμα του ελαστικού δεν γλιστρήσουν ποτέ, η γραμμή εφαρμογής της πλευρικής δύναμης θα συμπίπτει περίπου με τον άξονα Υ' και η ροπή ''ευθυγράμμισης'' θα ήταν σχεδόν μηδέν.

Το περίπου συμμετρικό ευθύγραμμης ελεύθερης κύλισης ελαστικό όπως απεικονίζεται στην εικόνα 5.5, παραμορφώνεται και πάλι σε τραπεζοειδές σχήμα λόγω γωνίας κλίσης στην εικόνα 5.8.

Εικόνα 5.8 Αποτύπωμα πέλματος ελαστικού σε θετική γωνία κλίσης



Η πλευρική παραμόρφωση μιας διαμήκους φέτας του ελαστικού μέσω της επαφής με το δρόμο γίνεται πιο έντονη καθώς η θέση της φέτας μετακινείται από τον ελαφρά φορτισμένο ώμο προς τον έντονα φορτισμένο ώμο.

Λόγω του συμμετρικού χαρακτήρα των πλευρικών τάσεων, η ολίσθηση, αν συμβεί, θα είναι μπροστά από το κέντρο επαφής. Αυτό θα προέλθει από την προκύπτουσα πλευρική δύναμη που βρίσκεται μπροστά από το κέντρο της επαφής. Ως εκ τούτου, θα περίμενε κανείς ότι μια μόνο θετική ροπή '' ευθυγράμμισης'' θα συνδεθεί με τη θετική γωνία κλίσης. Επιπλέον, η τοπική ακτίνα κυλίσεως κάθε διαμήκους τμήματος του ελαφρώς είναι σχετικά μικρότερη, καθώς η θέση της φέτας μετακινείται από τον ελαφρώς φορτισμένο στον ισχυρά φορτισμένο ώμο. Σε κάποια πλευρική θέση η ακτίνα κυλίσεως

της τοπικής φέτας θα είναι ίδια με την ακτίνα κυλίσεως του ελαστικού. Στα αριστερά αυτού του τμήματος, η επιφάνεια του πέλματος θα οδηγείται, και στα δεξιά της θα φρενάρει. Με αποτέλεσμα η διαφορική διαμήκηςδύναμη να παράγει επίσης μια θετική συνιστώσα ροπής ''ευθυγράμμισης'' σε απόκριση μιας θετικής γωνίας κλίσης. [20]

5.5. ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ MAGIC FORMULA

Είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο ημι-εμπειρικό μοντέλο ελαστικών που χρησιμοποιείται στις μελέτες δυναμικής οχημάτων για τα χαρακτηριστιά και τον υπολογισμό της δύναμης και των ροπών σε σταθερή κατάσταση. Η ανάπτυξη του μοντέλου ξεκίνησε απο μια προσπάθεια συνεργασίας της TU-Delft και Volvo (1987) και με τα χρόνια διαμορφώθηκε απο διάφορες εκδόσεις. Σε αυτά τα μοντέλα μοντελοποιείται η συνδιασμένη κατάσταση ολίσθησης . Το 1993, η Michelin εισήγαγε μια καθαρά εμπειρική μέθοδο χρησιμοποιώντας την Magic Formula για να περιγράψει τις οριζόντιες δυνάμεις του ελαστικού σε μια συνδυασμένη ολίσθηση.

Στη νεότερη έκδοση του αλλάζει η αρχική περιγραφή της ροπής ευθυγράμμισης για να συμπεριλάβει μια συνδυασμένη αύξηση ολίσθησης και εισάγεται το πνευματικό ίχνος ως βάση για τον υπολογισμό αυτής της ροπής στον κατακόρυφο άξονα.

Η γενική μορφή του τύπου που ισχύει για δεδομένες τιμές κάθετου φορτίου και γωνία κλίσης είναι:

$\mathbf{y} = \mathbf{D} \sin [\mathbf{C} \arctan {\mathbf{B} \mathbf{x} - \mathbf{E} (\mathbf{B} \mathbf{x} - \arctan \mathbf{B} \mathbf{x})}]$	(3)
$\mathbf{Y}(\mathbf{x}) = \mathbf{y}(\mathbf{x}) + \mathbf{S}\mathbf{v}$	(4)
$\mathbf{X} = \mathbf{x} + \mathbf{S}_{\mathrm{H}}$	(5)

όπου

Υ: μεταβλητή εξόδου Fx, Fy ή Mz

```
X: είσοδος μεταβλητής tan α ή κ
```

και

Β =παράγοντας ακαμψίας

C= Συντελεστής σχήματος καμπύλης.

D= μέγιστη τιμή

Ε= συντελεστής καμπυλότητας

SH= οριζόντια μετατόπιση

SV= κάθετη μετατόπιση

Η Magic Formula y (x) τυπικά παράγει μια καμπύλη που περνά μέσα από την αρχή αξόνων x = y = 0, φτάνει στο μέγιστο και στη συνέχεια τείνει σε οριζόντια ασύμπτωτη. Για δεδομένες τιμές των συντελεστών B, C, D και E η καμπύλη συμπεριφοράς του ελαστικού έχει ένα αντι-συμμετρικό σχήμα σε σχέση με την αρχή των αξόνων. Έτσι για να μπορέσει η καμπύλη να έχει μια μετατόπιση όσον αφορά την αρχή των αξόνων, έχουν εισαχθεί οι μετατοπίσεις SH και SV.

Εικ. 5.9. Καμπύλες που παράγονται από την αρχική έκδοση της Magic Formula.



Όπως φαίνεται στην εικόνα.4.9 προκύπτει μια νέα σειρά συντεταγμένων Y (X). Ο τύπος της Μ.F. μπορεί να αποδώσει σαν παραμέτρους τα χαρακτηριστικά του ελαστικού που ταιριάζουν απόλυτα με τις τιμές των καμπυλών της πλευρικής δύναμης, Fy της ροπής ευθυγράμμισης Mz και της δύναμης Fx (εμπρός και οπίσθια διεύθυνση) ως αποτέλεσμα των αντίστοιχων συντελεστών ολίσθησης: γωνίας ολίσθησης **α** και διαμήκους ολίσθησης **κ** με την επίδραση του φορτίου Fz και της γωνίας camber γ.

Ειδικότερα για την απλή ολίσθηση οι δυνάμεις Fx, Fy και η ροπή Mz δίνονται ώς συναρτήσεις των ενεξάρτητων μεταβλητών

Fx = FX (Fz,,k) gia a=0

Fy = FY (Fz, a) gia $\kappa=0$

 $Mz = MZ (Fz, a) \gamma i \alpha \kappa = 0$

Το Σχήμα 5.9 απεικονίζει την έννοια ορισμένων παραγόντων μιας χαρακτηριστικής πλευρικής δύναμης.

Ο συντελεστής D αντιπροσωπεύει την τιμή κορυφής (σε σχέση με τον άξονα x και για $C\!\!>\!1)$

To BCD αντιστοιχεί στην κλίση στην αρχή αξόνων (x = y = 0).

Ο συντελεστής σχήματος C ελέγχει τα όρια του εύρους της ημιτονοειδούς συνάρτησης που εμφανίζεται στον τύπο (4.49) καθορίζοντας το σχήμα της καμπύλης.

Ο συντελεστής Β καθορίζει την κλίση στην αρχή των αξόνων και ονομάζεται συντελεστής δυσκαμψίας.

Ο συντελεστής Ε έχει εισαχθεί για τον έλεγχο της καμπυλότητας στην κορυφή και ταυτόχρονα την οριζόντια θέση της κορυφής.

Από τη μεγιστη τιμή στην καμπύλη και της οριζόντιας ασύμπτωτης ο παράγοντας σχήματος C υπολογίζεται :

$$C = 1 \pm \left(\frac{1}{\Pi} \ \alpha rcSin \ \frac{y_a}{D}\right) \tag{6}$$

Από το Β και το C και τη θέση Xm της κορυφής μπορεί να υπολογισθεί το Ε:

$$E = \frac{BX_m - \tan\{\Pi/2C\}}{BX_m - \arctan(BX_m)} \qquad \mu \varepsilon C > 1$$
(7)

(εάν C>1) [21] [22]

<u>5.6 ΣΤΡΟΦΗ ΜΕ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΚΥΛΙΣΗ</u>

Η ελεύθερη κύλιση με στροφή είναι μια κατάσταση των ελαστικών όπου ένα ελαστικό υπόκειται σε κάμψη όχι όμως σε δυνάμεις κίνησης ή πέδησης. Αυτό μπορεί να συμβεί σε περιπτώσεις απόκρισης εξ αιτίας μίας γωνίας ολίσθησης, μίας γωνία κλίσης, ή όπως συνήθως γίνεται σε περιπτώσεις σε απόκριση γωνιών ολίσθησης και κλίσης που ενεργούν ταυτόχρονα. Υπάρχει επίσης μια ειδική περίπτωση στην οποία το ελαστικό παράγει πλευρικές δυνάμεις και άρα ροπές ευθυγράμμισης (γεγονός ενοχλητικό κατά την οδήγηση) έτσι ώστε ενώ επρόκειτο το αυτοκίνητο να ταξιδέψει σε μια ευθεία γραμμή τελικά να αποκλίνει σε μια μεγάλη ακτίνα στροφής.

5.6.1 ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΜΟΝΟ ΜΕ ΓΩΝΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Πρίν ξεκινήσουμε την ανάλυση μας θα πρέπει να χαρτογραφίσουμε την στρεπτική ακαμψία. Η απόλυτη τιμή της κλίσης της καμπύλης παραμόρφωσης ενός ελαστικού απο μία (π.χ. πλευρική) δύναμη σε μηδενική γωνία ολίσθησης ονομάζεται **στρεπτική ακαμψία**. Αυτή είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος για τον προσδιορισμό της γραμμικής συμπεριφοράς των οχημάτων. Η γωνία ακαμψίας εξαρτάται από το φορτίο. Συνήθως αυξάνεται μέχρι κάποιο όριο του ονομαστικού φορτίου του ελαστικού, αλλά σταδιακά μειώνεται, καθώς το φορτίο συνεχίζει να αυξάνεται. Τα δεδομένα στο σχήμα 5.10 αναφέρονται στη μέγιστη τιμή στρεπτικής ακαμψίας με φορτίο αλλά εξαρτώνται από το σχεδιασμό του ελαστικού (προφίλ / αναλογίες). Επίσης ο υπολογισμός μιας στρεπτικής ακαμψίας από τον αρχικό τύπο κλισης της magic formoula μας δίνει παρόμοια μορφή καμπλυλης.



Εικόνα 5.10: Στρεπτική ακαμψία ως συνάρτηση του φορτίου

Οι δυνάμεις και οι ροπές ποικίλουν ανάλογα με τα μεγέθη γωνίας ολίσθησης και η πλευρική δύναμη είναι πάντα η πρωταρχική μέριμνα. Η ροπή ''ευθυγράμμισης'' σε χαμηλές και μέτριες γωνίες ολίσθησης (έως 6⁰- 8⁰) είναι η δεύτερη σε σπουδαιότητα περίπτωση. Σε μεγάλες γωνίες ολίσθησης, πάνω από 15°, η ροπή ''υπερστροφής'' είναι η δεύτερη.

Εικόνα 5.11 Ακτίνα τροχού υπό φορτίο σε πολλά φορτία ως συνάρτηση της γωνίας ολίσθησης



Όπως βλέπουμε η ακτίνα παραμόρφωσης του τροχού υπό φορτίο είναι μια σημαντική γεωμετρική μεταβλητή που συνδέεται και ταυτόχρονα με τις δυνάμεις και τις ροπές. Για παράδειγμα η χαμηλή αναλογία διαστάσεων του ελαστικού, προκαλεί την πλευρική δύναμη και τις άλλες δυνάμεις και ροπές να εμφανίζουν υψηλότερες πιο απότομες αρχικές κλίσεις σε σχέση με τις αρχικές κλίσεις των ψηλών γωνιών ολίσθησης. Έτσι, το πλάτος της μεταβατικής ζώνης μεταξύ καλώς ελεγχόμενης οδικής συμπεριφοράς και πιθανής απώλειας ελέγχου είναι μικρότερο σε σχέση με τη γωνία ολίσθησης για ελαστικά

μικρότερων διαστάσεων. Η στρέβλωση που προκαλεί το σχήμα του αποτυπώματος ώστε να γίνει τραπεζοειδές είναι ο κύριος λόγος του διαφορετικού αποτελέσματος.

Το παρακάτω σχήμα περιγράφει την πλευρική δύναμη ως συνάρτηση της γωνίας ολίσθησης. Είναι σχεδόν αντανακλαστική στο σημείο Fy=0. Στο σημείο α=0, η πλευρική δύναμη Fy δεν είναι τυπικά μηδενική. Αυτό είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της συμπεριφοράς του ελαστικού που σχετίζεται με τη συμπεριφορά στο κέντρο εφαρμογής.



Εικόνα 5.12: Πλευρική δύναμη ως συνάρτηση της γωνίας ολίσθησης .

Μία αρνητική πλευρική δύναμη συνδέεται με μία θετική γωνία ολίσθησης δηλ μια θετική γωνία ολίσθησης σχετίζεται με μια αριστερή στροφή. Επίσης μια θετική πλευρική δύναμη συνδέεται με μία αρνητική γωνία ολίσθησης.

Η αύξηση της πλευρικής δύναμης με γωνία ολίσθησης είναι μια σύνθετη μη γραμμική συνάρτηση. Το μέγεθος της FY του ελαστικού αυξάνεται και στη συνέχεια μειώνεται με παρόμοιο τρόπο, όπως στην επιμήκη πέδηση. Καθώς η γωνία ολίσθησης γίνεται μεγάλη, όλο και περισσότερη επιφάνεια επαφής εμπλέκεται στην ολίσθηση και έτσι θα δημιουργηθεί μια μέγιστη τιμή πλευρικής δύναμης σε κάποια γωνία ολίσθησης. Η ολοένα αυξανόμενη γωνία ολίσθησης επιφέρει και μεγαλύτερη πλευρική δύναμη για κάποιο όριο γωνίας. Από εκεί και μετά οι περαιτέρω αυξανόμενες γωνίες ολίσθησης αρχίζουν να μειώνουν την πλευρική δύναμη.

Οι αλλαγές στο φορτίο παράγει μια αλλαγή στο σχήμα στην κλίση της καμπύλης. Η στρεπτική ακαμψία δηλ στη γωνία αυξάνεται γενικά με το φορτίο, αλλά ο ρυθμός αύξησης μειώνεται όσο αυξάνεται το φορτίο.

Όμοιας μορφής καμπλύλες έχουμε και από τον υπολογισμό βασή της magic formoula .

Η ροπή ''ευθυγράμμισης'' σε συνάρτηση με τη γωνία ολίσθησης στο παρακάτω σχήμα, είναι επίσης συμμετρική σε σχέση με το σημείο MZ = 0. (ply steer)



Εικόνα 5.13: Ροπή ''ευθυγράμμισης'' σε μία μόνο κανονική δύναμη ως συνάρτηση της γωνίας ολίσθησης

Η απόλυτη τιμή κλίσης της καμπύλης της ροπής ''ευθυγράμμισης'' σε μηδενική γωνία ολίσθησης ονομάζεται συνήθως δυσκαμψία ''ευθυγράμμισης''. Αυτή είναι μια σημαντική παράμετρος για τον προσδιορισμό της γραμμικής συμπεριφοράς υποστροφής των οχημάτων η οποία εξαρτάται από το φορτίο.

Η εξάρτηση της ροπής ευθυγράμμισης με γωνία ολίσθησης είναι μια πολύπλοκη μη γραμμική συνάρτηση. Το μέγεθος των M_Z σε γωνία ολίσθησης λίγων βαθμών αυξάνεται και μετά μειώνεται. Οι καμπύλες των M_Z αυξάνονται και αυτές συναρτήσει του φορτίου. Καθώς η γωνία ολίσθησης γίνεται μεγάλη, η ροπή μειώνεται και φαίνεται πως η θέση της πλάγιας δύναμης, κινείται πιο κοντά στο κέντρο των αξόνων ή και να το ξεπερνά.

Παρόμοιας κλίσης καμπύλες ακολουθούν και το διάγραμμα από τον υπολογισμό με την magic Formula.

Εικόνα 5.14: Ροπή ''υπερστροφής'' συναρτήσει γωνίας ολίσθησης και φορτίου για ένα ελαστικό λόγου διαστάσεων α) 75 β) 45



Η ροπή της ''υπερστροφής'', δεν εξαρτάται μόνο από τη γωνία ολίσθησης αλλά και την ακτίνα φόρτισης-κυλισης ελαστικού συναρτήσει της γωνίας ολίσθησης , κλίσης, πίεσης και της αναλογίας διαστάσεων ελαστικού οι οποίες δημιουργούν μια καμπύλη του μαλακώματος- παραμόρφωσης του ελαστικου. Η στρέβλωση που προκαλεί το σχήμα του αποτυπώματος ώστε να γίνει τραπεζοειδές είναι ο κύριος λόγος του διαφορετικού

αποτελέσματος. Επίσης καθώς αυξάνεται το φορτίο, η πλευρική μετατόπιση του πέλματος επαφής γίνεται επίσης σημαντική πηγή ροπής ''υπερστροφής''.

5.6.2 ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΜΟΝΟ ΜΕ ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ

Η απόκριση σταθερής κατάστασης στις μεταβολές της γωνίας κλίσης δεν διαφέρει ως προς το χαρακτήρα με την αύξηση του φορτίου. Έτσι, τα αποτελέσματα για ένα μόνο φορτίο επαρκούν για την κατανόηση της βασικής λειτουργίας. Στις παρακάτω εικόνες για ένα τυπικό ακτινικό ελαστικό με κανονικό προφίλ πέλματος φαίνονται οι αλλαγές συναρτήσει της γωνίας κλίσης (η γωνία ολίσθησης α= 0), αν και το ακριβές μέγεθος των αποκρίσεων θα ποικίλει όπως προηγουμένος ανάλογα με το μέγεθος, την αναλογία διαστάσεων κλπ.



Εικόνα 5.15: Πλευρική δύναμη σε μία μόνο κανονική δύναμη ως συνάρτηση της γωνίας κλίσης

Η απόκριση της πλευρικής δύναμης στη γωνία κλίσης στην παρακάτω εικόνα είναι πολύ ασθενέστερη από την απόκριση στη γωνία ολίσθησης, εικόνα 5.12.

Μια θετική αλλαγή στη γωνία κλίσης (τροχού) συνδέεται με μια θετική αλλαγή στην πλευρική δύναμη. Αυτό είναι το αντίστροφο της κατάστασης με γωνία ολίσθησης όπου η αρνητική πλευρική δύναμη συνδέεται με μια θετική γωνιακή ολίσθηση.

Η πλευρική δύναμη στη γωνία κλίσης μηδενός δεν είναι μηδέν, λόγω δυνάμεων έλξης. Μία από τις δυνάμεις έλξης είναι η ply steer και η άλλη είναι η κωνικότητα.

Το υπολογιστικό μοντέλο από την magic formula δίνει ευθεία ίδιας κλίσης αλλά δεν υπολογίζει την απόκλιση από το μηδέν διότι δεν περιλαμβάνει τις δυνάμεις έλξεις.



Εικόνα 5.16: Ακτίνα τροχού υπό φορτίο μίας μόνο κανονικής δύναμης ως συνάρτηση της γωνίας κλίσης

Η ακτίνα τροχού υπό φορτίο αυξάνεται με την αύξηση της γωνίας κλίσης, αντί να μειώνεται, όπως συμβαίνει στην περίπτωση της γωνίας ολίσθησης.



Εικόνα 5.17: Ροπή '' υπερστροφής'' σε μια ενιαία κανονική δύναμη ως συνάρτηση της γωνίας κλίσης

Βασικά, η τραπεζοειδής αναμόρφωση του αποτυπώματος οδηγεί τη γραμμή δράσης της δύναμης που κινείται εκτός του κέντρου του πέλματος προς την κατεύθυνση προς την οποία το ελαστικό είναι κεκλιμένο (μπορεί να φτάσει αρκετά mm για κάθε βαθμό γωνίας κλίσης). Μια μηδενική κλίση δημιουργεί επίσης ροπή M_X.

Εικόνα 5.18: Ροπής ''ευθυγράμμισης'' μιας ενιαίας κανονικής δύναμης ως συνάρτηση της γωνίας κλίσης



Η ροπή ''ευθυγράμμισης'' έχει θετική κλίση στις γωνία κλίσης. Εδώ το όφσετ σε μηδενική κλίση δημιουργεί αδύναμη ροπή ''ευθυγράμμισης''.

Το υπολογιστικό μοντέλο από την magic formula δίνει ευθεία ίδιας κλίσης αλλά δεν υπολογίζει την απόκλιση από το μηδέν διότι δεν περιλαμβάνει τις δυνάμεις λόγο όφσετ.

5.6.3 ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΕΣ ΓΩΝΙΕΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΣΗΣ

Ο βαθμός στρέβλωσης της γωνίας ολίσθησης από την ταυτόχρονη παρουσία μιας γωνίας κλίσης αυξάνεται καθώς αυξάνεται η γωνία κλίσης αλλά εξαρτάται από την προδιαγραφή του ελαστικού (μέγεθος, αναλογία διαστάσεων, δομικές λεπτομέρειες φορτίο και πίεση αέρα).

Στα παραδείγματα, το ελαστικό είναι κεκλιμένο θετικά, έτσι ώστε η πλάγια δύναμη που δημιουργείται από την κλίση να κατευθύνεται αρνητικά. Έτσι, η πλάγια δύναμη που παράγεται με κλίση αυξάνει την πλευρική δύναμη που παράγεται από θετική γωνία ολίσθησης στο σύστημα άξονα ελαστικών.



Εικόνα 5.19: Επίδραση της γωνίας κλίσης στην πλευρική δύναμη ως συνάρτηση της γωνίας ολίσθησης

Η πλευρική δύναμη, εικόνα 5.19, δείχνει τρία χαρακτηριστικά που οφείλονται στην ασύμμετρη συμπεριφορά παρουσία συνδυασμένων γωνιών ολίσθησης και κλίσης. Η γωνία κλίσης αντισταθμίζει τα δεδομένα κοντά στη μηδενική γωνία ολίσθησης, όπως φαίνεται στην εικόνα 5.15. Η πρόσθεση των επιδράσεων των γωνιών ολίσθησης και κλίσης, ισχύει μόνο σε χαμηλές γωνίες ολίσθησης και κλίσης ενώ η συμπεριφορά σε υψηλότερες γωνίες είναι πιο πολύπλοκη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το ελαστικό έχει ξεπεράσει τα όρια της μεγαλύτερης τριβής της πλευρικής ολίσθησης.

Όταν οι πλευρικές δυνάμεις λόγω της γωνίας ολίσθησης και της γωνίας κλίσης έχουν την ίδια διεύθυνση και δρουν προς την ίδια κατεύθυνση, η μέγιστη πλευρική δύναμη της καμπύλης είναι υψηλότερη και πιο έντονη από ό, τι μόνο στην περίπτωση της γωνίας ολίσθησης.

Το υπολογιστικό μοντέλο από την magic formula δίνει ίδιες κλίσεις με τα διαγράμματα από μετρήσεις.



Εικόνα 5.20: Επίδραση της γωνίας κλίσης στη ροπή ''υπερστροφής'' ως συνάρτηση της γωνίας ολίσθησης

Η ροπή ''υπερστροφής'', εικόνα 5.20, αντισταθμίζεται αρνητικά, όπως θα αναμενόταν για μια θετική γωνία κλίσης με βάση μόνο τα αποτελέσματα για την κλίση, όπως φαίνεται στην εικόνα 5.15. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η μετατόπιση είναι μεγαλύτερη όταν η διεύθυνση των πλευρικών δυνάμεων που προκαλούνται από τη γωνία ολίσθησης και τη γωνία κλίσης είναι ίδιες και η μετατόπιση είναι μικρότερη όταν βρίσκονται σε αντίθετες κατευθύνσεις.

Εικόνα 5.21: Επίδραση της γωνίας κλίσης στην ροπή ''ευθυγράμμισης '' της ως συνάρτηση της γωνίας ολίσθησης



Η ροπή ''ευθυγράμμισης ''στρεβλώνεται ασύμμετρα, όπως συμβαίνει και με την πλευρική δύναμη, με εξαίρεση ότι στην περίπτωση αυτή η ροπή ''ευθυγράμμισης'' είναι σημαντική.

Όταν οι ροπές ευθυγράμμισης έχουν διαφορετικές κατευθύνσεις, το μέγεθος της ροπής ''ευθυγράμμισης'' μειώνεται, σε σύγκριση με εκείνο για μια καθαρή γωνία ολίσθησης. Όταν οι ροπές ευθυγράμμισης είναι στην ίδια κατεύθυνση, το μέγεθος της ροπής ''ευθυγράμμισης'' αυξάνεται σε σχέση με εκείνο που παρατηρείται στην περίπτωση της καθαρής γωνίας ολίσθησης. Ίδιες κλίσεις διαγραμμάτων από τις μετρήσεις δίνει το μοντέλο της magic formula.

Εικόνα 5.22: Επίδραση της γωνίας κλίσης στην φόρτιση της ακτίνας κύλισης συναρτήσει της γωνίας ολίσθησης



Η εικόνα 5.18 έδειξε ότι η κατακόρυφη δυσκαμψία του ελαστικού αυξάνεται με την αυξανόμενη γωνία κλίσης. Αυτό εμφανίζεται στη συνδυασμένη περίπτωση, εικόνα 5.24, με αποτέλεσμα να αυξάνεται όταν οι συνιστώσες της πλευρικής δύναμης λόγω κλίσης και γωνιών ολίσθησης δρουν στην ίδια κατεύθυνση.

5.6.4 ΕΛΞΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΑΠΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟ

Η εικόνα 5.23 δείχνει την πλευρική δύναμη και την ροπή ''ευθυγράμμισης'' σε χαμηλή γωνία ολίσθησης για ένα ζεύγος ελαστικών στον εμπρόσθιο άξονα ενός αυτοκινήτου. Και καμία από αυτές δεν είναι μηδέν στη μηδενική γωνία ολίσθησης.

Εικόνα 5.23: Μικρή πλευρική δύναμη γωνίας ολίσθησης και ροπή ''ευθυγράμμισης'' που ασκείται στον εμπρόσθιο άξονα ενός αυτοκινήτου.



Ένα αυτοκίνητο κινείται ελεύθερα στην ευθεία χωρίς καμία επέμβαση από το τιμόνι και η ροπή ''ευθυγράμμισης'' είναι μηδενική. Το εμπρόσθιο τμήμα του οχήματος θα ωθηθεί προς τα πλάγια και θα δημιουργηθεί μια ροπή στροφής στο αυτοκίνητο. Σε αυτή την περίπτωση το αυτοκίνητο θα κινείται μόνο ευθεία κατά μήκος ενός ίσου δρόμου αν ο οδηγός ασκεί μια ροπή ευθυγράμμισης (διόρθωση διεύθυνσης) για να διατηρήσει μηδενική δύναμη- κατεύθυνση του αυτοκινήτου. Αν δεν διατηρηθεί αυτή η διόρθωση, το αυτοκίνητο μπορεί να αλλάξει λωρίδες έως ότου να παρασυρθεί έξω από το δρόμο. Επίσης αν οι ιδιότητες των ελαστικών δεν είναι ικανοποιητικές η διαδικασία διόρθωσηςευθυγράμμισης μέσω του τιμονιού θα εξακολουθήσει να είναι μη ικανοποιητική.

Αυτή η έλξη διεύθυνσης είναι το άμεσο αποτέλεσμα της παρουσίας υπολειπόμενης πλευρικής δύναμης στον μπροστινό άξονα όταν το τιμόνι αφήνεται να αναζητήσει την ελεύθερη θέση του.

Υπάρχουν δύο χαρακτηριστικά των ελαστικών που δημιουργούν την υπολειπόμενη πλευρική δύναμη.

Το πρώτο ονομάζεται κωνικότητα και είναι αποτέλεσμα της μικρής έκκεντρης εφαρμογής στο δρόμο του κέντρου ζώνης ελαστικού. Αυτό περιορίζει την ακτίνα κυλίσεως στην μια πλευρά του ελαστικού σε σχέση με την άλλη (ελαφρώς μικρότερη από την άλλη πλευρά). Με απλά λόγια το ελαστικό λειτουργεί σαν να είχε κωνική διατομή και αναπτύσσει πλευρική δύναμη και ευθυγραμμίζει τη ροπή σαν να έχει κλίση προς την πιο περιορισμένη πλευρά του ελαστικού. Η κατανομή των τιμών κωνικότητας ελαστικών δεν έχει μεγάλες διακυμάνσεις εικόνα 5.25. Η μέση τιμή είναι κοντά στο μηδέν, αλλά μπορεί να μην είναι ακριβώς μηδέν λόγω ασυμμετριών στην κατασκευή.



Εικόνα 5.24: Σχηματική κατανομή της κωνικότητας και της διαστρωμάτωσης

Εικόνα 5.25: Παραμόρφωση της ζώνης πέλματος στο λυγισμό



Μια άλλη επίδραση ονομάζεται ''διεύθυνση λόγο στρώσεων'' ply steer και δημιουργείται όταν η δομή του ελαστικού είναι ανισότροπη, προκαλώντας τη ζώνη του πέλματος σε διάτμηση όταν αναγκάζεται να γίνει επίπεδο αποτύπωμα ελαστικό, εικόνα 5.25. Η πρόσθετη επίπεδη διάτμηση συμβαίνει λόγω της αλλαγής της τάσης της καμπυλότητας του ιμάντα στη ζώνη επαφής του αποτυπώματος ελαστικού και άρα μια παραμένουσα ροπή ''διεύθυνση στρώσεων '' ή ροπή στρέψης δημιουργείται.

Η σπουδαιότητα των επιδράσεων της κωνικότητας και της ''διεύθυνση λόγο στρώσεων'' έχει οδηγήσει σε μια συνιστώμενη πρακτική του προσδιορισμού τους.

Εικόνα 5.26: Σχέδιο Plysteer



Η προκύπτουσα έλξη του τιμονιού εξαρτάται από τις ιδιότητες των ελαστικών, την ευθυγράμμιση της ανάρτησης και την τραχύτητα του δρόμου. Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων θέτουν όρια στις συνιστώσες της δύναμης έλξης για τους προμηθευτές ελαστικών τους.

Αυτά τα όρια κάνουν τα ''φαινόμενα έλξης λόγω '' διαχειρίσιμα από τους κατασκευαστές αυτοκινήτων, κατ αρχήν περιορίζοντας την κωνικότητα σε μια στενή λωρίδα γύρω στο μηδέν, έτσι ώστε να μπορούν να αγνοήσουν τα αποτελέσματά της.

Η κατάσταση σε σχέση με τη ροπή 'διεύθυνση λόγο στρώσεων '' ply steer'' είναι πιο πολύπλοκη και λιγότερο ικανοποιητική. Κάθε κατασκευαστής ελαστικού καθορίζει μια επιτρεπόμενη ζώνη τιμών για τη ροπή αυτή ανάλογα με τη δική του φιλοσοφία σχεδίασης. Ορισμένοι κατασκευαστές αυτοκινήτων χρησιμοποιούν την παραμένουσα ευθυγράμμιση της ροπής ελαστικών (PRAT) για να εξουδετερώσουν την τραχύτητα του δρόμου. Γι αυτό το λόγο απαιτούν τα ελαστικά που τροφοδοτούνται να έχουν συγκεκριμένες τιμές ροπής ''υπολειπόμενης ευθυγράμμισης''' διεύθυνσης ''λόγο στρώσεων ''. Άλλοι κατασκευαστές αυτοκινήτων απαιτούν μηδενική τιμή PRAT, μέσα σε μια στενή ανοχή, και αντισταθμίζουν τα αποτελέσματα της οδού της οδού μόνο μέσω της ευθυγράμμισης της ανάρτησης.

Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα στο σχεδιασμό των ελαστικών με αποτέλεσμα οι κατασκευαστές ελαστικών να πρέπει να πανομοιότυπα σε όνομα ελαστικά προκειμένου να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των διαφόρων κατασκευαστών αυτοκινήτων. Αυτές οι διαφορές δεν είναι προφανείς στα καταστήματα ελαστικών ή στους αγοραστές. Με αποτέλεσμα να μπορεί να υπάρχουν προβλήματα έλξης όταν αντικαθίστανται τα ελαστικά της της πρώτης τοποθέτησης επειδή τα διαθέσιμα ελαστικά στην αγορά ανταλλακτικών μπορεί να μην ταιριάζουν με τα χαρακτηριστικά που καθορίζει ο κατασκευαστής αυτοκινήτων. [20]

5.7 ΚΙΝΗΣΗ Η ΠΕΔΗΣΗ ΣΕ ΕΥΘΕΙΑ ΓΡΑΜΜΗ

Η ελεύθερη κύλιση ενός τροχού παράγει πλευρικές δυνάμεις, ροπή ευθυγράμμισης και ροπή υπερστροφής σαν αποτέλεσμα στις γωνίες ολίσθησης και κλίσης.

Θα επικεντρωθούμε στη συμπεριφορά ενός ελαστικού με μηδενικές γωνίες ολίσθησης και γωνίας κλίσης του τροχού, που εφαρμόζεται ροπή Τ.

Η απόκριση του ελαστικού δίνεται με την καμπύλη της διαμήκους δυσκαμψίας και έχει ιδανική τιμή για k= 0. Στη δοκιμή πέδησης, η αρχική κλίση της καμπύλης, είναι η

''δυσκαμψία φρεναρίσματος'', ενώ στην οδήγησης, αναφέρεται ως ''δυσκαμψία οδήγησης'.



Εικόνα 5.27: Σύγκριση των διαμηκών δυνάμεων κίνησης και πέδησης

Η μέγιστη τιμή FX είναι μέγιστη επιμήκης δύναμη κατά τη διάρκεια του πειράματος. Η ακριβής θέση της κορυφής και του χαρακτηριστικού σχήματος της καμπύλης κοντά στην κορυφή εξαρτάται από την επιφάνεια δοκιμής και το σχεδιασμό του ελαστικού (αναλογία διαστάσεων, ένωση πέλματος, σχεδιασμός πέλματος, ακαμψία ζώνης κ.λπ.)

Επιπλέον παρατηρούμε στο διάγραμμα ότι η κορυφή της κίνησης δεν είναι συνήθως ίση με την κορυφή της πέδησης. Στο υψηλότερο φορτίο, το μέγεθος της μέγιστης διαμήκους δύναμης κατά την οδήγηση είναι πάνω από 4500N όταν το μέγεθος της μέγιστης διαμήκους δύναμης κατά την πέδηση δεν φθάνει τα 4000N. Η τοποθεσία των μεγαλύτερων τιμών είναι επίσης διαφορετική. Η μεγαλύτερη τιμή για την οδήγηση εμφανίζεται σε χαμηλότερη αναλογία ολίσθησης από την μεγαλύτερη τιμή πέδησης.

Η επίδραση στην οποία φαίνεται ότι η εφαρμογή ροπής στρέψης και η ροπή απελευθέρωσης δεν οδηγούν συνήθως στην ίδια καμπύλη απόκρισης FX (k) προκαλείται από θερμικές επιπτώσεις, διότι εάν το πέλμα υποστεί σοβαρή υπερθέρμανση, η επιφάνεια θα γίνει κολλώδης και ο φαινόμενος συντελεστής τριβής θα αλλάξει λόγω αλλαγής της πρόσφυσης.

Η διαμήκης δύναμη ολίσθησης είναι η τιμή του FX όταν ο λόγος ολίσθησης στην πέδηση γίνεται k=-1 (ο τροχός μπλοκάρει). Κατά την οδήγηση όταν ο τροχός περιστρέφεται το k μπορεί να υπερβεί το 1. Τέτοιες περιπτώσεις σπιναρίσματος έχουμε όταν εφαρμόζεται υπερβολική ροπή οδήγησης σε μια επιφάνεια.

Παρατηρώντας τις καμπύλες από τον υπολογισμό διαμήκων δυνάμεων μέσω της magic formula για απλή κύλιση ή από την περίπτωση της συνθετης κίνησης στην πρώτη περίπτωση δεν επ΄ εισέρχεται καποιος συντελεστής τριβής, ενώ στην δεύτερη περίπτωση υπάρχει δυνατότητα για διαφορετικους συντελεστές τριβής τόσο για διαμήκεις όσο και πλευρικούς.

ΣΗΜ : Από τα διαγράμματα των εικόνων 5.12, 5.13, 5,23 η αρχική κλίση της εξίσωσης

BCD όπως προκύπτει από την ανάλυση και τις σταθερές a_i για τις $B = \frac{a_3 * F_z^2 + a_4 * F_z}{C * D * e^{a_5 * F_z}}$,
$B = \frac{a_3 * \sin(a_4 * Arctan(a_5 * F_z))}{c * D} * (1 - a_{12} * |\gamma|), \qquad D = a_1 * F_z^2 + a_2 * F_z$, της magic formula εξαρτάται κυρίως από την μέγιστη τιμή D δηλαδή την εξάρτηση από το κατακόρυφο φορτίο του τροχού Fz. (οι διαφορές στις καμπύλες του stiffness προκύπτουν από αυτό). Επίσης όπως προκύπτει από την (21) μελέτη συσχέτησης συντελεστών M.F. και φυσικων ιδιοτήτων ελαστικού, (πίεση αέρα, διάμετρος ζάντας) οι παραπάνω διαφοροποιήσεις συντελούν οι B & C να είναι γραμμικά ατιστρόφως ανάλογοι έτσι ώστε το γινόμενο B*C να έχει αποκλήσεις μικρότερες από 5% και οι βασικές αλλαγές της αρχικής καμπύλης BCD να εξαρτώνται κυρίως από το D. [21] [22]

Έτσι στα παραπάνω διαγράμματα οι μεταβολές των τιμών είναι πολύ μικρές σε σχέση με τις υπολογισμένες από την M.F. και εξαρτώνται κυρίως από το φορτίο Fz

Εικόνα 5.28: Απόκριση διαμήκους δύναμης κατά την εφαρμογή και κατά την απελευθέρωση της ροπής πέδησης.



5.7.1 ΡΟΠΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ

Οι διαφορικές διαμήκεις δυνάμεις που επενεργούν στις δύο πλευρές ενός αυτοκινήτου ενώ κινείται σε ευθεία γραμμή, εφαρμόζουν μια ροπή εκτροπής στο όχημα. Το αποτέλεσμα είναι μια πλευρική απόκριση στη διεύθυνση της διαμήκους δύναμης.

Κατά τον σχεδιασμό των οχημάτων, ιδιαίτερα με εμπρόσθια κίνηση, γίνονται αρκετές μηχανικές προσπάθειες για την εξάλειψη ροπών εκτροπής ή επηρεασμών του συστήματος διεύθυνσης λόγω των διαμήκων δυνάμεων που εμφανίζονται κατά την επιτάχυνση ή την επιβράδυνση. Τα συστήματα αντιεμπλοκής κατά την πέδηση και τα συστήματα ελέγχου πρόσφυσης συμβάλλουν στον περιορισμό των ροπών στροφής λόγω της μεταβλητής τριβής κατά μήκος του δρόμου. Ενώ τα συστήματα ελέγχου σταθερότητας προξενούν σκόπιμα μια σταθερή ροπή στρέψης προκαλώντας μια επιθυμητή διαμήκη διαφορική δύναμη.

Έτσι λοιπόν στην ευθεία πορεία υπάρχουν επιδράσεις λόγω των διαφορών μεταξύ των ελαστικών ενός άξονα, ιδιαίτερα στα αυτοκίνητα με εμπρόσθιο κινητήριο άξονα, που μπορούν να δημιουργούν ανεπιθύμητες ροπές. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται ροπή στρέψης.

Τρεις είναι οι πιθανές πηγές δημιουργίας ροπών στρέψης που μπορούν να προέλθουν από διαφορές δυνάμεων στα ελαστικά: ακτίνα κύλισης, ταχύτητα στρέψης και διαφορετικές συνθήκες τριβής. Η πιο συνηθισμένη πηγή είναι η διαφορά μεταξύ της κυλινδρικής ακτίνας και της πλευράς. Εάν η διαφορά στην ακτίνα κύλισης μεταξύ του αριστερού και δεξιού ελαστικού είναι πολύ μικρή για να προκαλέσει τη λειτουργία του διαφορικού του αυτοκινήτου, αλλά εξακολουθεί να είναι σημαντική, το όχημα θα ακολουθήσει μια ακτίνα που ορίζεται από τη διαφορά της ακτίνας κυλίσεως. Σε ευθεία οδό, σχετικά μικρές διαφορές μπορεί να είναι σημαντικές.

5.8 ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΟΔΗΓΗΣΗ ΣΕ ΣΤΡΟΦΕΣ

Η πραγματική λειτουργία του οχήματος περιλαμβάνει στροφή (γωνίες ολίσθησης και γωνίες κλίσης) σε συνδυασμό με οδήγηση και πέδηση (εφαρμογή ροπής). Δεδομένου ότι το ελαστικό έχει περιορισμένη μόνο δυνατότητα να παράγει δύναμη τριβής, η δύναμη διάτμησης που προκύπτει δεν μπορεί απλώς να είναι το αθροιστικό διάνυσμα της πλευρικής δύναμης για συγκεκριμένη γωνία ολίσθησης και της διαμήκους δύναμης ολίσθησης του ελαστικού.

Αντίθετα, το ελαστικό παράγει ένα συνδυασμό πλευρικής και διαμήκους δύναμης που κατανέμει τη συνολική διαθέσιμη δύναμη διάτμησης με τρόπο που εξαρτάται από το σχεδιασμό του ελαστικού.

Η συνολική δύναμη διάτμησης είναι συνάρτηση του μεγέθους του διανύσματος διάτμησης (s) και του γωνιακού προσανατολισμού της σε σχέση με το σύστημα αξόνων των ελαστικών. Το διατμητικό διάνυσμα (κύκλος ολίσθησης) προέρχεται από το τρίγωνο ταχύτητας που υπάρχει στην αρχή του συστήματος άξονα ελαστικών, βλ. εικόνα 5.29

Εικόνα 5.29 Κύκλος ολίσθησης ανάλυση δυνάμεων και ταχυτήτων



Η ανάλυση του διατμητικού διανύσματος έχει ως εξής στις παρακάτω εξισώσεις. .

$Fx = (F) \cos \alpha$	(9)
$Fy = (F) \sin \alpha$	(10)

$$\mathbf{F} = \sqrt{F_{\chi}^2 + F_{\mathcal{Y}}^2} \tag{11}$$

$$\operatorname{Tan} \alpha = (F_Y / F_X) = (-\tan \alpha) / (F)$$
(12)

Η δύναμη διάτμησης, F (s, a), είναι συνάρτηση του μεγέθους (τιμής) του διανύσματος διάτμησης και του προσανατολισμού του και εμφανίζεται στη παραπάνω εικόνα σαν ένα μη κυκλικό τόξο. Έχοντας αυτό υπόψη και δουλεύοντας με μικρές γωνίες ολίσθησης έτσι ώστε το Sx να είναι περίπου ίσο με τον λόγο ολίσθησης, υπολογίζουμε συνήθως τις συνδυασμένες περιπτώσεις (χωρίς να υπολογίσουμε τη γωνία κλίσης).

Υπολογίζοντας τις αντίστοιχες δυνάμεις σε συνάρτηση της διαμήκους ολίσθησης έχουμε τις παρακάτω εξισώσεις

Το μέτρο της συνολικής διανυσματικής δύναμης του ελαστικού είναι μία συνάρτηση του μέτρου ολίσθησης *σ*.

Το μέτρο αυτό έχει τις εξής συνιστώσες:

$$\sigma_x = -\frac{\kappa}{1+\kappa} \tag{13}$$

$$\sigma_y = -\frac{tana}{1+\kappa} \tag{14}$$

Οι συνιστώσες αυτές συνθέτουν το μέτρο ολίσθησης:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\chi}^2 + \sigma_{y}^2} \tag{15}$$

Για τον υπολογισμό της διαμήκους και πλευρικής δύναμης F_x και F_y εισάγονται τα μέτρα του καθαρού φρεναρίσματος $F_{xo}(\sigma)$ και της καθαρής στροφής $F_{yo}(\sigma)$.

Έτσι, οι δυνάμεις υπολογίζονται από τις εξισώσεις:

$$F_{x} = -\frac{\sigma_{x}}{\sigma} * F_{xo}(\sigma)$$
(16)

$$F_{y} = -\frac{\sigma_{y}}{\sigma} * F_{yo}(\sigma)$$
⁽¹⁷⁾

Συνεπώς, επειδή οι δύο δυνάμεις είναι κάθετες μεταξύ τους, η συνολική δύναμη θα δίνεται από την εξίσωση:

$$F = \sqrt{F_{\chi}^2 + F_{y}^2}.$$
 (18)

Υπάρχουν Τουλάχιστον τρεις τρόποι χρησιμοποιούνται για τη λειτουργική ή γραφική αποτύπωση των συνδυασμένων περιπτώσεων.

Ο πρώτος, εικόνα 5.30, παρατηρούμε α) την πλευρική δύναμη Fy, β) τη διαμήκη δύναμη οδήγησης Fx, σε σταθερή γωνία ολίσθησης ως συνάρτηση του λόγου ολίσθησης.

Εικόνα 5.30: Πλευρική δύναμη σε γωνία ολίσθησης 4 ° και της διαμήκους δύναμης κίνησης ως συνάρτηση του λόγου ολίσθησης



Όπου παρατηρούμε ότι η πλευρική δύναμη σε μια σταθερή γωνία ολίσθησης πέφτει καθώς αυξάνεται ο λόγος ολίσθησης σχηματίζοντας καμπύλη σχήματος καμπάνας.

Εικόνα 5.31: Συμπεριφορά-απόδοση των καμπυλών Fy ,Fx σε ψηλές αναλογίες ολίσθησης λ κατά την οδήγηση ή πέδηση.



Ο δεύτερος, εικόνα 5.31, εμφανίζει την πλευρική δύναμη σε σταθερές γωνίες ολίσθησης ως συνάρτηση της διαμήκους δύναμης.

Το παραπάνω διάγραμμα έχει υπολογισθεί με την μαθηματική μέθοδο της συνδιασμένης οδήγησης.

Εικόνα 5.32: Πλευρική δύναμη σε γωνία ολίσθησης 4 °/ ή γωνίας κλίσης τροχού ως συνάρτηση της διαμήκους δύναμης.



Όπου παρατηρούμε ότι η πλευρική δύναμη σε μια σταθερή γωνία ολίσθησης, σε συνάρτηση με τη διαμήκη δύναμη, φτάνει στο μέγιστο και στη συνέχεια καμπυλώνει πίσω. Επίσης παρατηρούμε ότι για διαφορετικές κλίσεις του τροχού η διαμήκης δύναμη Fx παραμένει ίδια.

Ο τρίτος, εικόνα 5.32, εμφανίζει τη διαμήκη δύναμη ως συνάρτηση του λόγου ολίσθησης σε σταθερές γωνίες ολίσθησης.

Εικόνα 5.33: Διαμήκης δύναμη ως συνάρτηση του λόγου ολίσθησης φρεναρίσματος σε σταθερές γωνίες ολίσθησης.



Η επίδραση της συνδυασμένης ολίσθησης στη διαμήκη δύναμη, έχει σαν αποτέλεσμα η διαμήκης δύναμη να γίνει μέγιστη σε χαμηλότερες γωνίες ολίσθησης αλλά και σε όλο και υψηλότερες αναλογίες ολίσθησης, εικόνα 5,33-5.35. Δυστυχώς τα δεδομένα αυτά, δεν ταιριάζουν πάντα σε μικρές γωνίες ολίσθησης και συχνά η συμπεριφορά δεν είναι αυτή.

Εάν τα αποτελέσματα από δοκιμές εφαρμογής και απελευθέρωσης της ροπής σε διαφορετικές γωνίες ολίσθησης σχεδιαστούν μαζί, όπως στην εικόνα 5.36 το F(s, β) παρατηρούμε ότι το σχήμα της απόκρισης εξαρτάται από την δύναμη και αλλάζει με τη γωνία ολίσθησης. Έτσι, είναι απαραίτητα πολλά διαγράμματα για να αντιπροσωπεύουν τη συνδυασμένη κίνηση σε πραγματική λειτουργία.

Εικόνα 5.34a: Πλευρική δύναμη ως συνάρτηση της γωνίας ολίσθησης και της διαμήκους δύναμης



Το παραπάνω διάγραμμα έχει υπολογισθεί με την μαθηματική μέθοδο της συνδιασμένης οδήγησης.

Εικόνα 5.34β: κύκλος kann



Figure 2.31 Friction circle diagram, right-hand turn.

Εάν η σχέση Fy γραφεί συναρτήσει της Fx σε ένα συμμετρικό ελαστικό, για ένα δεδομένο μέγεθος ολίσθησης, όπου μόνο η γωνία ολίσθησης είναι η πηγή πλευρικής δύναμης, η προκύπτουσα καμπύλη αναφέρεται ως ελλειπτική τριβή.

Δυστυχώς, η ασυμμετρία καμπύλης και ελαστικών περιπλέκει σημαντικά την κατάσταση. Η εικόνα 5.37 είναι ένα ενδεικτικό παράδειγμα.

Εικόνα 5.35: Πλευρική δύναμη συναρτήσει διαμήκους δύναμης σε επίπεδο ολίσθησης, (s).



Στην περίπτωση αυτή το ελαστικό (τροχός) είναι διευθυντήριος και λειτουργεί σε θετική γωνία κλίσης, καθώς και σε θετικές και αρνητικές γωνίες ολίσθησης. Το διάγραμμα που προκύπτει είναι αρκετά ασύμμετρο. Οι καθαρές λειτουργίες στροφής: δεξιά β= 90 °, αριστερά β=270 °, έχουν διαφορετικά μεγέθη. Το ίδιο ισχύει για καθαρή οδήγηση, β= 0 °, και καθαρή πέδηση, β = 180 °.

Η εικόνα 5.36, η οποία δίνει το μέγεθος των δυνάμεων για κάθε τρόπο λειτουργίας όπως στην εικόνα 5.35, και δείχνει ότι το ασύμμετρο σχήμα μεταβάλλεται με την αναλογία ολίσθησης. Από άποψη μοντελοποίησης, ο F (s, β) εκφυλίζεται ουσιαστικά σε έναν κύκλο, καθώς η ολίσθηση, s πλησιάζει το 1.

Εικόνα 5.36: Δύναμη τριβής, F, έναντι μεγέθους ολίσθησης, s, για ελαστικό P205 / 60HR13 σε γωνία κλίσης 3 $^\circ$



Η ροπή ευθυγράμμισης ως συνάρτηση της στροφής της οδήγησης ή της πέδησης είναι ένα πιο δύσκολο μαθηματικό πρόβλημα απ ότι η πλευρική δύναμη. Το Mz σε σχέση με Fx, εικόνα 5.37, δεν είναι μια απλή λειτουργία γιατί οτιδήποτε επηρεάζει (κλίση τροχού) την πλευρική θέση του προκύπτοντος διανύσματος της διαμήκους δύναμης Fx θα επηρεάσει και τη ροπή ευθυγράμμισης. [20] [23] [21] [22] [24]

Εικόνα 5.37 α): Ροπή ευθυγράμμισης ως συνάρτηση της γωνίας ολίσθησης και της διαμήκους δύναμης



Εικόνα 5.37β) Επιδραση της διαμήκους δύναμης (παραλλαγή 2φορτίων) στην δύναμη και στην ροπή επαναφοράς -ευθυγράμμισης



Η κλίση μπορεί να έχει τεράστιες επιπτώσεις στην ροπή Mz. Αυτό απεικονίζεται στην εικόνα 5.38, όπου η γωνία κλίσης είναι -3⁰.

Εικόνα 5.38: Ροπή ευθυγράμμιση ως συνάρτηση του λόγου ολίσθησης



5.8.1. ΣΥΝΔΙΑΣΜΕΝΗ ΟΛΙΣΘΗΣΗ ΚΑΙ MAGIC FORMULA

Η Michelin στη MAGIC FORMULA περιγράφει την επίδραση της συνδυασμένης ολίσθησης στα χαρακτηριστικά της πλευρικής και της διαμήκους δύναμης εισάγοντας παράγοντες στάθμισης βαρήτητας G οι οποίοι όταν πολλαπλασιάζονται με τους αρχικούς της απλής (καθαρής) ολίσθησης παράγουν τα αποτελέσματα αλληλεπίδρασης του κ σε Fy και του α σε Fx.

5.39 λειτουργία συνάρτησης βάρους για τις συνδυασμένες διαμήκεις και πλευρικές δυνάμεις ολίσθησης



Οι εξισώσεις στάθμισης βάρους G έχουν σχήμα λόφου. Παίρνουν την τιμή **1** στην ειδική περίπτωση καθαρής ολίσθησης (κ ή α ίση με το μηδέν). Όταν, για παράδειγμα, σε μια δεδομένη γωνία ολίσθησης εισάγεται ένα μη υπάρχον αυξανόμενο φρένο ολίσθησης, η σχετική συνάρτηση σταθμίσης για το Fy μπορεί πρώτα να εμφανίσει μια ελαφρά αύξηση μεγέθους (μεγαλύτερη από **1**) αλλά σύντομα θα φτάσει στο ανώτατο όριο, μετά από το οποίο θα ακολουθήσει μια συνεχής μείωση.

Η συνηθισμένη έκδοση της Magic Formula χρησιμοποιείται για να αντιπροσωπεύει τη λειτουργία σε σχήμα «λόφου»:

$G=D \cos \{C \arctan (Bx)\}$

(19)

G είναι ο συντελεστής στάθμισης και το x είναι είτε κ είτε tana.

Ο συντελεστής D αντιπροσωπεύει την μέγιστη τιμή (κορυφής) ελαφρώς αποκλίνουσα από τη μονάδα αν υπάρξει οριζόντια μετατόπιση.

Το C καθορίζει το ύψος της βάσης του λόφου και το B επηρεάζει την οξύτητα της καμπύλης. Ο συντελεστής B αποτελεί τον κύριο παράγοντα για το σχήμα της συνάρτησης στάθμισης βάρους.

Στην συνάρτηση προστήθεται και ο συντελεστής σχήματος Ε. Αυτή η επέκταση φαίνεται να βελτιώνει την προσέγγιση, ιδίως σε μεγάλα επίπεδα ολίσθησης (G πρέπει να παραμείνει θετική για όλες τις ολισθήσεις). [24]

Για την πλευρική δύναμη παίρνουμε τους ακόλουθους τύπους:

$$\mathbf{F}\mathbf{y} = \mathbf{G}_{\mathbf{y}\mathbf{k}} \, \mathbf{F}_{\mathbf{y}\mathbf{o}} + \mathbf{S}_{\mathbf{v}\mathbf{y}\mathbf{k}} \tag{20}$$

με τη συνάρτηση στάθμισης να εκφράζεται τώρα έτσι ώστε να ισούται με την ενότητα σε κ=0:

$$\mathbf{G}_{yk} = \frac{COS\left[C_{yk}\arctan(B_{yk}K_s)\right]}{COS\left[C_{yk}\arctan(B_{yk}SH_{yk})\right]}$$
(21)

(C > 0)

όπου

 $\mathbf{K}\mathbf{S} = \mathbf{K} + \mathbf{S}_{\mathrm{Hyk}} \tag{22}$

 $\mathbf{B}\mathbf{y}\mathbf{k} = \mathbf{r}_{\mathrm{By1}}\cos\left[\arctan\left\{\mathbf{r}_{\mathrm{By2}}\left(\tan\alpha - \mathbf{r}_{\mathrm{By3}}\right)\right\}\right]$ (23)

 $\mathbf{C}_{\mathrm{yk}} = \mathbf{r}_{\mathrm{Cy1}} \tag{24}$

 $\mathbf{S}_{\mathrm{Hyk}=\,\mathbf{r}_{\mathrm{Hy1}+}\,\mathbf{r}_{\mathrm{Hy2}}\,\mathrm{dfz}}\tag{25}$

 $\mathbf{S}_{Vyk} = \mathbf{D}_{Vy\kappa} \sin \left[\mathbf{r}_{Vy5} \arctan \left(\mathbf{r}_{Vy6} \, \mathbf{\kappa} \right) \right]$ (26)

 $\mathbf{D}_{Vyk} = \boldsymbol{\mu} \mathbf{y} \, \mathbf{F} \mathbf{z} \, (\mathbf{r}_{Vy1} + \mathbf{r}_{Vy2} \, dfz + \mathbf{r}_{Vy3} \, \boldsymbol{\gamma}) \cos \left[\arctan \left(\mathbf{r}_{Vy4} \, \tan \alpha \right) \right]$ (27)

με dfz τη μη διαστατική αύξηση του κατακόρυφου φορτίου σε σχέση με το (προσαρμοσμένο) ονομαστικό φορτίο.

Vc μεγέθους της ταχύτητας του κέντρου επαφής του τροχού C

Vcx, y οι συνιστώσες της ταχύτητας του κέντρου επαφής του τροχού C

Vsx, y οι συνιστώσες της ταχύτητας ολίσθησης Vs (του σημείου S)

Vr (= $\text{Re}\Omega$ = Vcx-Vsx) προς τα εμπρός ταχύτητα κύλισης,

Vo ταχύτητα αναφοράς (=% (gRo)

Ro αφόρτωτη ακτίνα ελαστικού

Re ακτίνα κύλισης

Ω ταχύτητα περιστροφής τροχού

ρz ακτινική παραμόρφωση του ελαστικού (> 0 αν συμπίεση)

Fzo ονομαστικό φορτίο

F'zo προσαρμοσμένο ονομαστικό φορτίο

5.8.2 ΠΑΡΟΔΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ (α, γ, Τ).

Σε σταθερή κατάσταση τα δεδομένα (α, γ, Τ) είναι εντελώς επαρκή για να περιγράψουμε τη συμπεριφορά των ελαστικών. Αλλά δεν είναι απολύτως επαρκή για να περιγράψουμε τις δυνάμεις και τις ροπές σε ορισμένες δυναμικές ή παροδικές καταστάσεις, όπως η ανώμαλη δόνηση, όπου δυναμική απόκριση του ελαστικού είναι υψίστης σημασίας, ή σε βίαιους ελιγμούς ανατροπής, όπου η συμπεριφορά υστέρησης του ελαστικού γίνεται σημαντική.

Η γρήγορη αλλαγή των μεταβλητών χρήσης των ελαστικών (α, γ, Τ) οδηγεί σε μια χρονικά μεταβαλλόμενη ισχύ των ελαστικών και την ροπή απόκρισης, λόγω της ευέλικτης δομής του ελαστικού. Ετσι οι πολύπλοκες παραμορφώσεις ενός ελαστικού δημιουργούν μια σταθερή κατάσταση δυνάμεων και ροπών. Αυτές οι παραμορφώσεις δεν συμβαίνουν στιγμιαία και χαρακτηρίζουν την δυναμική απόκριση του ελαστικού.

Σημείωση α) Από πειραματικές δοκιμές ταχύτητας προκύπτει ότι : α) Καθώς αυξάνεται η ταχύτητα δοκιμής, το ελαστικό σκληραίνει. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της δυσκαμψίας σε στροφές και ευθυγραμμίσεις, εικόνα 5.43 και συνεπώς αναμένεται μια παρόμοια αύξηση στη διαμήκη ακαμψία. Αυτό θα προκαλέσει την αύξηση των πλευρικών και των διαμηκών δυνάμεων σε χαμηλότερες γωνίες ολίσθησης ή αναλογίας ολίσθησης.

Εικόνα 5.40: Επίδραση της ταχύτητας δοκιμής στην πλευρική δύναμη και στη ροπή ευθυγράμμισης λόγω γωνίας ολίσθησης



Σημείωση β) Η διαμήκης δύναμη ολίσθησης, εικόνα 5.42 είναι αντιστρόφως ανάλογη της ταχύτητας δοκιμής σε στεγνό δρόμο. Έτσι, η μειούμενη (πίσω) κλίση τόσο της διαμήκους δύναμης όσο και της πλευρικής δύναμης θα γίνει πιο απότομη όσο αυξάνεται η ταχύτητα.

Εικόνα 5.41: Συντελεστές πέδησης σε οκτώ υφές οδοστρώματος για τρεις ενώσεις καουτσούκ ως συνάρτηση της ταχύτητας ολίσθησης



Αυτές οι αλλαγές θα επιμηκύνουν την πλευρική και τη διαμήκη δύναμη των επιφανειών σε σχέση με την ταχύτητα, δημιουργώντας μια πιο έντονη κορυφή όπως φαίνεται στην εικόνα 5.42.

Εικόνα 5.42 : Αναμενόμενη στρέβλωση είτε πλευρικής είτε διαμήκους δύναμης σε σχέση με την ταχύτητα



Είναι φανερό ότι για τις περιπτώσεις ολίσθησης η ανταπόκριση της κάμψης του ελαστικού, που είναι οι άξονες στον κύκλο ολίσθησης, εικόνα 5.33, θα έχει σαν συνέπεια να αλλάξει το σχήμα της ''έλλειψης τριβής'' καθώς αυξάνεται η ταχύτητα. Έτσι, η συνδυασμένη συμπεριφορά κίνησης εξαρτάται από την ταχύτητα.

Επίσης η μείωση της δυσκαμψίας στροφής εξαρτάται από την απόσταση και το μέγεθος γωνίας ολίσθησης δηλ. το επίπεδο πλευρικής δύναμης, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 5.43. Φαίνεται ότι μετά από κάποια απόσταση σε μια δεδομένη γωνία ολίσθησης, η δυσκαμψία στη στροφή σταθεροποιείται και παύει να αλλάζει. [20]

Εικόνα 5.43: Μείωση του συντελεστή δυσκαμψίας σε στροφές, σε διάφορες γωνίες ολίσθησης και αποστάσεις κύλισης



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟ ΧΕΙΡΙΣΜΟ ΚΑΙ ΤΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

<u>6.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ</u>

Τα ελαστικά παράγουν δυνάμεις ελέγχου σε καταστάσεις όπως η οδήγηση, το φρενάρισμα στη διαμήκη κατεύθυνση και η στροφή σε πλευρική κατεύθυνση - που επηρεάζουν την κίνηση αλλά και το χειρισμό του οχήματος. Η απόκριση του οχήματος στην κίνηση του τιμονιού, εξαρτάται κυρίως από τις δυνάμεις στροφής που δημιουργούνται στην επαφή ελαστικού-οδού. Για ορισμένες κατηγορίες οχημάτων οι δυνάμεις στροφής, εάν η τριβή του ελαστικού είναι αρκετά μεγάλη, μπορούν να λειτουργήσουν ως μοχλός στην ανατροπή του οχήματος.

Για να κατανοήσουμε την απόκριση ενός αυτοκινήτου θα αναλύσουμε πρώτα μερικές απλοποιημένες γεωμετρικές διευθύνσεις. Αρχικά θεωρούμε στροφές χαμηλής ταχύτητας με συνέπεια οι αδρανειακές δυνάμεις και οι επιταχύνσεις να είναι αμελητέες. Στην περίπτωση αυτή, τα ελαστικά λειτουργούν με ουσιαστικά μηδενική γωνία ολίσθησης με μόνο τη γωνία οδήγησης του τροχού.

Σε ένα όχημα, και οι τέσσερις τροχοί περιστρέφονται γύρω από ένα κοινό κέντρο περιστροφής έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η τριβή παραμόρφωσης ή η πλευρική ολίσθηση στο αποτύπωμα του ελαστικού. Η υπερβολική τριβή οδηγεί σε αυξημένη φθορά των ελαστικών και απαιτεί διόρθωση διεύθυνσης από τον οδηγό. Η απλούστερη απεικόνιση της έννοιας ενός κοινού κέντρου στροφής για ένα όχημα δύο αξόνων δίνεται στην παρακάτω εικόνα





Εδώ θεωρητικά είναι δυνατόν να επιτευχθεί κύλιση χωρίς πλευρική ολίσθηση των ελαστικών, έχοντας τους δύο εμπρόσθιους τροχούς να παραμένουν παράλληλοι μεταξύ τους ενώ περιστρέφονται γύρω από έναν κατακόρυφο άξονα (στροφής) διαμέσου μιας γωνίας διευθύνσεως δ_f, για μια ακτίνα στροφής R για μια δεδομένη βάση τροχού L. Όταν το R >> L, που είναι η συνηθισμένη περίπτωση, μπορούμε να υποθέσουμε

$$\delta_f = L \, / \, R$$

(1)

Η γωνία οδήγησης είναι η γωνία μεταξύ του επιπέδου τροχού και του διαμήκους άξονα του οχήματος. Είναι φανερό ότι καθώς αυξάνεται η γωνία διεύθυνσης, η ακτίνα στροφής μειώνεται. Φυσικά, δεν είναι εφικτό να υπάρχει σε ένα όχημα ένας περιστρεφόμενος εμπρόσθιος άξονας όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα.

Εικόνα 6.2. Παράλληλη γεωμετρία διεύθυνσης



Έτσι σε ένα όχημα ο εμπρόσθιος άξονας παραμένει παράλληλος προς τον οπίσθιο άξονα σε στροφή χαμηλής ταχύτητας. Τα εμπρόσθια ελαστικά θα παραμείνουν παράλληλα το ένα προς το άλλο καθώς περιστρέφονται κάθετα και η κίνηση εκτροπής του εμπρόσθιου άξονα μηδενίζεται. Η εικόνα 6.2 απεικονίζει την παράλληλη γεωμετρία διεύθυνσης. Η κίνηση που παράγεται είναι αποτέλεσμα ενός μη κοινού κέντρου περιστροφής με ταυτόχρονη τριβή παραμόρφωσης των ελαστικών.

Εικόνα 6.3. Γεωμετρία διεύθυνσης Ackermann



Η γεωμετρία του Ackermann που φαίνεται στην εικόνα 6.3 εξαλείφει τα παραπάνω προβλήματα και ο εμπρόσθιος άξονας παραμένει παράλληλος προς τον οπίσθιο άξονα για ένα όχημα σε στροφή, ενώ οι τροχοί περιστρέφονται ξεχωριστά γύρω από τους κατακόρυφους πείρους σε σχέση με τον εμπρόσθιο άξονα. Στην παραπάνω εικόνα υπάρχει ένας απλός μηχανισμός διεύθυνσης. Οι άξονες (μουαγιέ) AL και BR για τους οποίους περιστρέφονται οι τροχοί είναι μέρος των αρθρώσεων τιμονιού CAL και DBR, αντίστοιχα. Αυτές οι αρθρώσεις συνδέονται στον εμπρόσθιο άξονα με βασικούς πείρους στα Α και B που επιτρέπουν την περιστροφική κίνηση. Οι δύο αρθρώσεις διεύθυνσης με τη σειρά τους συνδέονται με τη ράβδο σύνδεσης- μπάρα τιμονιού CD στο C και D. Επειδή η ράβδος σύνδεσης είναι μικρότερη από την απόσταση μεταξύ των άκρων AB του κεντρικού άξονα, ο εσωτερικός τροχός θα γυρίσει μια μεγαλύτερη γωνία διευθύνσεως δι από τη γωνία δο του εξωτερικού τροχού. Αυτή η διάταξη επιτρέπει στον μπροστινό άξονα να παραμείνει παράλληλος στον οπίσθιο άξονα, με κάθε τροχό ελαστικού να κυλάει γύρω από ένα κοινό κέντρο στροφής.

Υπάρχουν δύο διαφορετικές εξισώσεις που προκύπτουν από το σύστημα διεύθυνσης Ackermann:

Cot
$$\delta o - \cot \delta i = t / L$$
 (2)
kat
 $(\delta i + \delta o) / 2 = \delta f = L / R$ (3)

Η εξίσωση 2, βασιζόμενη αποκλειστικά στη γεωμετρία, καθορίζει τη σχέση μεταξύ των γωνιών διεύθυνσης δι και δο με το μεταξόνιο L και το μετατρόχιο t που ελαχιστοποιεί το τρίψιμο των ελαστικών.

Η εξίσωση 3 ορίζει μια μέση μπροστινή γωνία διευθύνσεως δf που αποτελεί τη βάση της παρακάτω ανάλυσης (6.2) που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τα χαρακτηριστικά χειρισμού σταθερής κατάστασης ενός αυτοκινήτου. Ωστόσο, η εξίσωση 3 πρέπει να επεκταθεί ώστε να περιλαμβάνει συμπιεσμένα ελαστικά - δηλαδή ελαστικά που λειτουργούν σε γωνία ολίσθησης - προκειμένου να προσδιοριστεί ποσοτικά η έννοια της υποστροφής. [25]

<u>6.2 ΥΠΟΣΤΡΟΦΗ ΚΑΙ ΥΠΕΡΣΤΡΟΦΗ</u>

Σε αυτή την ενότητα, αναλύεται η σχέση μεταξύ της δύναμης στροφής και της γωνίας ολίσθησης με εξισώσεις που περιγράφουν την επίδραση των ελαστικών στη συμπεριφορά του οχήματος σε σταθερή κατάσταση (σε διαφορετικές χρονικές περιόδους). Η συμπεριφορά χειρισμού βασίζεται στην κίνηση σε κυκλική διαδρομή με σταθερή ταχύτητα του οχήματος. Ωστόσο, ο 2ος νόμος του Νεύτωνα που εφαρμόζεται στο επίπεδο κίνησης κάθετο προς την ακτίνα διαδρομής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη σημαντικών παραμέτρων χειρισμού της απόδοσης χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η μεταβατική (εξαρτώμενη από το χρόνο) απόκριση ή η ροπή αδρανείας του οχήματος και των ελαστικών του. Αυτή η προσέγγιση απλοποιεί σε μεγάλο βαθμό την ανάλυση στο ότι οι αλγεβρικές και όχι οι διαφορικές εξισώσεις κίνησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να κατανοήσουμε τα βασικά στοιχεία της κατευθυντικής συμπεριφοράς των εμπρός-κατευθυνόμενων τροχών, των οχημάτων παντός εδάφους και των 4 Χ 4.

Όταν ένα όχημα κινείται σε καμπύλη σε υψηλές ταχύτητες, η φυγόκεντρη δύναμη που ενεργεί επί του αυτοκινήτου τείνει να παράγει ολίσθηση ή ενδεχόμενη ανατροπή του στο όριο πρόσφυσης των ελαστικών στο δρόμο. Ετσι αυτή είναι η συμπεριφορά του οχήματος πριν από την ολίσθηση ή την ανατροπή του, όπου η φυγόκεντρη δύναμη εξισορροπείται από τις δυνάμεις στροφής που δημιουργούνται στην επαφή ελαστικού-οδού.

Οι δυνάμεις στροφής με τη σειρά τους παράγουν γωνίες ολίσθησης στα ελαστικά όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα όπου:

Εικόνα 6.4 Αντιπροσωπευτική τάση στρέψης ελαστικών συναρτήση γωνίας ολίσθησης



Fy = δύναμη στροφής

α = γωνίαολίσθησης

Ca = ακαμψία στροφής (αρχική κλίση καμπύλης)

Σημειώστε ότι η δύναμη Fy παραμένει κάθετη στο επίπεδο τροχού σε ελιγμούς στροφής και θεωρείται ότι είναι μηδέν όταν η γωνία ολίσθησης α είναι μηδέν. Η κατεύθυνση πορείας συμπίπτει με την κατεύθυνση του διανύσματος ταχύτητας του συγκροτήματος ελαστικού-τροχού.

Στο κανονικό εύρος των παραμέτρων χρήσης, η δυσκαμψία Ca αυξάνεται με την αύξηση του φορτίου του τροχού, της πίεσης αέρα, του πλάτους της ζάντας, της φθοράς του πέλματος και άλλων παραγόντων που επηρεάζονται από τη γεωμετρία της διατομής του ελαστικού και τα χαρακτηριστικά της εσωτερικής κατασκευής του.

Παραδόξως, η Ca είναι σχετικά μη ευαίσθητη στην ταχύτητα του οχήματος και στα συστατικά σύνθεσης πέλματος (γίνεται μεγαλύτερη σε ψηλότερες γωνίες ολίσθησης όπου η σχέση "Fy vs a" γίνεται μη γραμμική).

Οι μονάδες γωνιακής δυσκαμψίας είναι (lb / deg) ή N / radian. Η γωνιακή δυσκαμψία περιστασιακά αναφέρεται ως δύναμη στροφής. Η γωνιακή δυσκαμψία διαιρούμενη με το φορτίο του τροχού είναι γνωστή ως συντελεστής στροφής. Ο συντελεστής στροφής αναφέρεται μερικές φορές ως πλάγια δύναμη. Επίσης καθώς το φορτίο του τροχού αυξάνεται, η γωνιακή δυσκαμψία ενός ελαστικού αυξάνεται ενώ μειώνεται ο συντελεστής στροφής. Οι τιμές της φόρτισης και της εξαρτώμενης από την πίεση γωνιακής ακαμψίας κυμαίνονται από 100 lb/deg για ένα (bias ply) ελαστικό επιβατικού αυτοκινήτου, σε μεγέθη που υπερβαίνουν τα 400 lb / deg για ένα ακτινικό ελαστικό.

Για τους σκοπούς αυτής της ανάλυσης, θεωρούμε μόνο τη γραμμική περιοχή ελαστικού για το οποίο ισχύει

Fy = Ca a

(4)

Η καμπύλη της δύναμης στροφής - γωνίας ολίσθησης για τα περισσότερα ελαστικά επιβατικών αυτοκινήτων μπορεί να θεωρηθεί ότι παραμένει γραμμική σε περίπου τέσσερις βαθμούς γωνίας ολίσθησης (η οποία είναι γενικά περίπου 0,3g πλευρικής επιτάχυνσης).

Σημειώστε, ωστόσο, ότι για ένα όχημα σε στροφή με τέσσερα πανομοιότυπα ελαστικά, οι γωνίες ολίσθησης θα διαφέρουν από αριστερά προς τα δεξιά καθώς και από εμπρός προς τα πίσω, ανάλογα με το ύψος της πλευρικής μεταφοράς φορτίου και των φορτίων εμπρόσθιου / οπίσθιου άξονα (εικόνα 6.5). Η γνώση των χαρακτηριστικών στροφής των ελαστικών, της γεωμετρίας του οχήματος και των συνθηκών λειτουργίας επιτρέπει την εκτίμηση κάθε μιας από τις τέσσερις γωνίες ολίσθησης για ένα δεδομένο επίπεδο πλευρικής επιτάχυνσης.

Εικόνα 6.5 Διακύμανση των γωνιών ολίσθησης των ελαστικών (από αριστερά προς τα δεξιά και από εμπρός προς τα πίσω) για ένα όχημα με ταχύτητα



Για τους σκοπούς της μεταγενέστερης ανάλυσης, οι δυσκαμψίες των αριστερών και δεξιών στροφών του ελαστικού συνδυάζονται στον εμπρόσθιο και στον οπίσθιο άξονα, αντίστοιχα, για να παράγουν το επονομαζόμενο "μοντέλο ποδηλάτου" όπως φαίνεται σχηματικά στην παρακάτω εικόνα

Εικόνα 6.6 Μοντέλο ποδηλάτου



Στο μοντέλο αυτό ισχύει ότι η εμπρόσθια ταχύτητα του οχήματος (διεύθυνση οδήγησης) σε κάθε σημείο είναι κάθετη στην ακτίνα στροφής και ότι οι δυνάμεις στροφής είναι κάθετες στο επίπεδο του εμπρός και πίσω τροχού. Οι γωνίες ολίσθησης μετριούνται μεταξύ του επιπέδου τροχού και του διανύσματος ταχύτητας. Το κέντρο περιστροφής βρίσκεται κάθετα προς τα διανύσματα ταχύτητας στο εμπρόσθιο και οπίσθιο τροχό (ελαστικό). Με την ακτίνα στροφής πολύ μεγαλύτερη από το μεταξόνιο μπορούμε εύλογα να υποθέσουμε μικρές διαφορές στις γωνίες του εσωτερικού και του εξωτερικού ελαστικού και να δηλώσουμε σαν αντιπροσωπευτική τη μέση γωνία (δi + δo) / 2 ως δf τη γωνία κίνησης του μπροστινού τροχού.

Κατά τη στροφή ενός οχήματος, η γωνία διεύθυνσης δεν είναι ίση με τη γωνία ολίσθησης του ελαστικού. Επίσης οι γωνίες ολίσθησης στα πίσω ελαστικά ενός οχήματος παράγουν επίσης τις δυνάμεις που απαιτούν χειρισμούς οδήγησης - όπως και τα μπροστινά ελαστικά - αλλά παράγουν τέτοιες πλευρικές δυνάμεις χωρίς να επιφέρουν δυνάμεις διεύθυνσης.

Από την εικόνα 6.6 μπορεί να ληφθεί η γεωμετρική σχέση (εξίσωση Ackermann) που περιλαμβάνει γωνίες ολίσθησης στο μπροστινό και πίσω μέρος του οχήματος.

$$\delta f = L/R + (\alpha_f - \alpha_r) \tag{5}$$

Οι δυνάμεις στροφής των εμπρός και πίσω ελαστικών είναι

$$F_{yF} = \frac{w}{g} \frac{v^2}{R} \frac{l_2}{L} (6) \text{ kat } F_{yr} = \frac{w}{g} \frac{v^2}{R} \frac{l_1}{L} (7)$$

Οι δε κατανομές βάρους σε στατικές συνθήκες για τους εμπρός και πίσω τροχούς είναι

$$W_{\rm F} = \frac{w l_2}{2L} (8) \, \kappa \alpha i \, Wr = \frac{w l_1}{2L} (9)$$

Συνεπώς οι (6) και (7) μετασχηματίζονται $F_{yF} = 2W_F \frac{v^2}{gR}$ (10) και $F_{yr} = 2W_r \frac{v^2}{gR}$ (11)

Για ορισμένο εύρος τιμών, η γωνία ολίσθησης και η δύναμη στροφής μπορεί να θεωρηθεί ότι σχετίζεται γραμμικά για μια σταθερή δυσκαμψία στροφής συνεπώς οι γωνίες ολίσθησης a_f, και ar, δίνονται από τους παρακάτω τύπους

$$a_{F} = \frac{F_{yf}}{2C_{af}} = \frac{w_{F v^{2}}}{C_{aF gR}} (12) \quad a_{r} = \frac{F_{yr}}{2C_{ar}} = \frac{w_{r v^{2}}}{C_{ar gR}} (13)$$

Caf, Car = ακαμψία στροφών σε μπροστινά και πίσω ελαστικά.

Εξισορροπώντας τις δυνάμεις στροφής του ελαστικού με την πλευρική αδρανειακή δύναμη που δρα μέσω του κέντρου βάρους του οχήματος, η εξίσωση 5 μπορεί να ξαναγραφεί ως εξής $\delta f = (L/R) + ((Wf/2Caf) - (Wr/2Car))V^2/gR$ (14)

με άλλους όρους όπως ορίστηκαν προηγουμένως. Η τοπική τιμή της επιτάχυνσης λόγω βαρύτητας υποδηλώνεται με το "g" και την ταχύτητα προώθησης του οχήματος από ν.

Η έκφραση στις παρενθέσεις στην Εξίσωση 6 συμβολίζεται συχνά με το σύμβολο Kus και αναφέρεται ως συντελεστής υποστροφής από τον Wong λόγω της κατανομής βάρους του οχήματος και των ελαστικών -

$$Kus = ((Wf/2Caf) - (Wr/2Car))$$

(15)

(16)

(17)

Ο παραπάνω συντελεστής υποστροφής είναι αδιάστατος αλλά εκφράζεται συχνά σε μοίρες αντί σε ακτίνια. Κάθε όρος στη δεξιά πλευρά αυτής της εξίσωσης- με διαστάσεις φορτίου που διαιρούνται με δυσκαμψία στροφής- αναφέρεται συχνά ως γωνία συμμόρφωσης.

Οι εξισώσεις 5 και 6 μπορούν πλέον να συνταχθούν εκ νέου με τις εξής μορφές:

$$\delta f = (L/R) + (Kus V^2/g R)$$

ή

 $\delta f = L/R + Kus (a_y / g)$

όπου ay είναι η πλευρική επιτάχυνση σταθερής κατάστασης.

Ο συντελεστής υποστροφής που ορίζεται από την Εξίσωση 7 εξαρτάται αποκλειστικά από τα εμπρός και πίσω φορτία άξονα και την ακαμψία στροφής του ελαστικού. Ενώ η στρεπτική δυσκαμψία εξαρτάται από πολλές κατασκευαστικές μεταβλητές κατασκευής των ελαστικών, τον άμεσο ή έμμεσο έλεγχο του οδηγού και την πίεση του αέρα. Στην πραγματικότητα, ο ευκολότερος τρόπος για να αλλάξουν τα χαρακτηριστικά υποστροφής ενός αυτοκινήτου είναι να αλλάξει η πίεση των ελαστικών.

Σημειώστε ότι ο συντελεστής Kus μπορεί να είναι θετικός, αρνητικός ή μηδενικός. Εάν είναι θετικός, το όχημα υποστρίβει με ελεγχόμενη συμπεριφορά οδήγησης. Δίνει μια αίσθηση οδήγησης σταθερότητας και προβλεψιμότητας.

Αν είναι αρνητικός, το όχημα υπερστρέφει και τείνει να χειριστεί με έναν αντιδιαισθητικό τρόπο (ανάποδο τιμόνι). Δίνει μια αίσθηση αστάθειας και μια συνεχής ανάγκη για διόρθωση κατά τη διάρκεια της οδήγησης.

Όταν το Kus είναι μηδέν, το οποίο είναι ισοδύναμο με τις γωνίες ολίσθησης που είναι ίσες μπροστά και πίσω, η γωνία διευθύνσεως δf που απαιτείται για την περιστροφή μιας γωνίας μειώνεται στην εξίσωση χαμηλής ταχύτητας Ackermann, $\delta f = L / R$.

Η μεταβολή του εμπρόσθιου και του οπίσθιου στατικού φορτίου των αξόνων στην εξίσωση 15 για την προσαρμογή της μετατόπισης φορτίου λόγω της πέδησης ή της επιτάχυνσης ή για την εκτίμηση της αεροδυναμικής ανύψωσης, δεν συνιστάται. Εντούτοις, η μεταφορά φορτίου που συμβαίνει π.χ. στον εμπρόσθιο άξονα, ενώ πατάμε το γκάζι κατά την είσοδο σε μια στροφή αυξάνει τη δυσκαμψία των εμπρός ελαστικών και τη μειώνει στο πίσω μέρος. Αυτή η ενέργεια μετατοπίζει την ισορροπία χειρισμού του οχήματος προς την υπερστροφή. Επιπλέον, εάν υπάρχουν και επιμήκεις δυνάμεις λόγω πέδησης ή οδήγησης, μειώνεται η ικανότητα του ελαστικού να παράγει πλευρικές γωνιακές δυνάμεις και μειώνεται αναλόγως η δυσκαμψία στροφής του ελαστικού, Ca.

Έτσι οι εξισώσεις 16 και 17 συχνά σχεδιάζονται για να εξηγήσουν γραφικά την κατάσταση της υποστροφής, της υπέρβασης και της ουδέτερης κίνησης. Η γωνία οδήγησης (δf) απεικονίζεται σχηματικά ως συνάρτηση της ταχύτητας του οχήματος (v) στην εικόνα 6.7



Εικόνα 6.7 Σχέση μεταξύ γωνίας στροφής ταχύτητας οχήματος (εξίσωση 16)

και ως συνάρτηση της πλευρικής επιτάχυνσης (ay / g) στην εικόνα 6.8.



Εικόνα 6.8: Σχέση μεταξύ γωνίας στροφής και πλευρικής επιτάχυνσης (εξίσωση 17)

Όπως φαίνεται σε αυτές τις εικόνες, η γωνία διευθύνσεως δf αυξάνεται καθώς η ταχύτητα και η επιτάχυνση αυξάνονται για τα οχήματα που υποστρέφουν. Για τα οχήματα που υπερστρέφουν, η γωνία στροφής μειώνεται για τις ίδιες συνθήκες. Επίσης, τα οχήματα υποστροφής μπορούν να έχουν την τάση να υπερβαίνουν τις υψηλότερες πλευρικές επιταχύνσεις (διακεκομμένη γραμμή που φαίνεται στην εικόνα 6.8).

Οι μετρήσεις της στρεπτικής δυσκαμψίας του ελαστικού σε ελεγχόμενο εργαστηριακό περιβάλλον δοκιμής, σε συνδυασμό με την κατανομή του βάρους του οχήματος, δεν αρκούν, για να ποσοτικοποιηθούν τα χαρακτηριστικά υποστροφής / υπερστροφής ενός αυτοκινήτου χρησιμοποιώντας μόνο την εξίσωση 7. Απαιτούνται συμπληρωματικοί υπολογισμοί για τους οποίους τα δεδομένα δεν είναι άμεσα διαθέσιμα, ή μπορούν να διεξαχθούν οδικές μετρήσεις οχημάτων.

Μπορούμε να πάρουμε μια χρήσιμη έκφραση, σε συνδυασμό με την οδική δοκιμή με την παράγωγο του δf στην εξίσωση 9 σε σχέση με ay - δηλ.

 $d\delta f/ d\alpha_y = K$

όπου K = Kus / g ορίζει την υποστροφή / υπερστροφή (με μονάδες μοιρών / g ή ακτίνια / g).

Μία από τις τυπικές δοκιμές για τον προσδιορισμό της υποστροφής συνήθως εκτελείται σε έναν ολισθηρό, δρόμο με σταθερή ακτίνα με διαφορετικές σταθερές ταχύτητες του οχήματος. Κατά τη δοκιμή, μετριέται η εμπρόσθια ταχύτητα του οχήματος, η πλευρική επιτάχυνση και η γωνία του τιμονιού. Η γωνία οδήγησης δf μπορεί να υπολογιστεί από τη γωνία του τιμονιού διαιρούμενη με το λόγο μετάδοσης του συστήματος διεύθυνσης ή απο εξελιγμένα όργανα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση του δf απευθείας στον τροχό. Για πιο εξελιγμένες δυναμικές αναλύσεις, μπορεί να ληφθεί ο ρυθμός περιστροφής καθώς και η γωνία κύλισης (ως συνάρτηση του χρόνου).

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που στις οδικές δοκιμές μπορούν να επηρεάσουν τις δυνάμεις που αναπτύσσονται σε μια στροφή συμπεριλαμβανομένης της γωνίας καμπυλότητας του ελαστικού, της πλευρικής μεταφοράς φορτίου, της συμμόρφωσης της ανάρτησης κλπ. Όλα αυτά επηρεάζουν την κατευθυντήρια συμπεριφορά ενός οχήματος - αν και δεν αναφέρονται ρητά στην Εξίσωση 15. Αυτοί οι επιπρόσθετοι παράγοντες γενικά δρουν για να μετατοπίσουν το ισοζύγιο ελέγχου σε περισσότερη υποστροφή.

Η σημασία της Εξίσωσης 15 (που δεν περιέχει αυτούς τους παράγοντες) έγκειται στο γεγονός ότι υποδηλώνει τη μεταβολή στην κατεύθυνση απόκρισης ενός οχήματος που μπορεί να συμβεί εν λειτουργία λόγω αλλαγών στα χαρακτηριστικά στροφής του ελαστικού π.χ., απώλεια αέρος, φθορά πέλματος ή αφήματος του γκαζιού.

Τα οχήματα για χρήση σε αυτοκινητόδρομους είναι σχεδιασμένα να υποστρέφουν (2 deg / g ή περισότερο) έτσι ώστε οι οδηγοί να στρίβουν όσο απαιτείται το τιμόνι για να ακολουθήσουν την επιθυμητή πορεία. Η ποσότητα υποστροφής που σχεδιάζεται σε ένα όχημα εξαρτάται από την αντίληψη του κατασκευαστή σχετικά με τις απαιτήσεις και τις δεξιότητες του πελάτη. Έτσι, ένα όχημα σχεδιασμένο με μέτριο επίπεδο υποστροφής μπορεί να αντιμετωπίσει υπερβολική μετατόπιση σε ορισμένες περιπτώσεις κατά τη διάρκεια της οδήγησης λόγω αλλαγών στα χαρακτηριστικά στροφών του ελαστικού ή φορτίσεων του άξονα.

Λειτουργώντας πέρα από το εύρος της γραμμικής περιοχής των ελαστικών, σε πλευρικές επιταχύνσεις που υπερβαίνουν τα 0,3g μπορεί επίσης να αλλάξει την ισορροπία ενός αυτοκινήτου υποστροφής σε υπερστροφή (βλ. εικόνα 6.8).

Είναι χρήσιμο σε αυτό το σημείο να συνοψίσουμε κάποιες από τις γνωστές ιδιότητες των ελαστικών που επηρεάζουν τη δυσκαμψία στροφής Ca και συνεπώς, το χειρισμό του οχήματος. Για παράδειγμα, η δυσκαμψία στροφής ενός ακτινωτού ελαστικού επιβατικών αυτοκινήτων μπορεί να αυξηθεί μεταξύ άλλων από :

- α) μείωση της αναλογίας διαστάσεων
- β) αύξηση του πλάτους της ζώνης
- γ) την ακαμψία στην περιοχή των συρμάτων στο χείλος της ζάντας
- δ) μείωση του βάθους πέλματος
- ε) μείωση του όγκου κενών του πέλματος.

Αυτές οι αλλαγές μπορούν να μειώσουν την ποιότητα οδήγησης του ελαστικού και σε ορισμένες περιπτώσεις (π.χ. αύξηση του πλάτους της ζώνης) μπορεί να επηρεάσουν δυσμενώς τη μακροπρόθεσμη ανθεκτικότητα. Επιπλέον, η δυσκαμψία ενός υφιστάμενου ελαστικού σε ένα συγκεκριμένο όχημα μπορεί να αυξηθεί με:

- α) αύξηση του αέρα πίεσης
- β) αύξηση του φορτίου ελαστικών
- γ) αύξηση του πλάτους της ζάντας
- δ) αύξηση της γωνίας κάμψης
- ε) αφαίρεση του καουτσούκ από το πέλμα.

Για να αυξηθεί η συμπεριφορά υποστροφής ενός υπάρχοντος συστήματος ελαστικών:

- α) αύξηση των πιέσεων των πίσω ελαστικών,
- β) αύξηση του φορτίου του εμπρόσθιου άξονα
- γ) τοποθέτηση ελαστικών με υψηλότερο Ca στο πίσω μέρος.[25] [26] [27]

<u>6.3 ANATPOПH</u>

Εάν οι πλευρικές δυνάμεις παράγουν μια αρκετά μεγάλη ροπή γύρω από το κέντρο βάρους ενός οχήματος, αυτό θα μετακινηθεί γύρω από έναν διαμήκη άξονα. Όταν οι πλευρικές δυνάμεις οφείλονται σε στροφές κατά τη διάρκεια ελιγμών στο δρόμο, η ανατροπή ονομάζεται "αναστρέψιμη" εάν οι πλευρικές δυνάμεις προκύψουν λόγω εμποδίου στο δρόμο (όπως ένα κράσπεδο), η ανατροπή ονομάζεται ''μη αναστρέψιμη''.

Εικόνα 6.9 Δυνάμεις που δρουν σε ένα όχημα σε στροφή πριν από την ανατροπή



Η εικόνα 6.9 δείχνει τις δυνάμεις που επενεργούν σε ένα όχημα σε σταθερή στροφή με ένα αντίστροφο διάνυσμα αδρανείας που κατευθύνεται μακριά από το κέντρο στροφής. Καθώς αυξάνεται η ταχύτητα ή μειώνεται η ακτίνα στροφής, συμβαίνει πλευρική μεταφορά φορτίου δηλαδή το κανονικό φορτίο Fzi στα εσωτερικά ελαστικά μειώνεται ενώ το κανονικό φορτίο Fzo στα εξωτερικά ελαστικά αυξάνεται. Οι δυνάμεις στροφής των ελαστικών συμπεριφέρονται με παρόμοιο τρόπο. Εάν ο συντελεστής τριβής μεταξύ ελαστικού και οδού είναι αρκετά μεγάλος, οι δυνάμεις στροφής στα εμπρός και πίσω εξωτερικά ελαστικά δρουν ως άξονας περιστροφής γύρω από τον οποίο η αδρανής (φυγοκεντρική) δύναμη τείνει να περιστρέφει το όχημα στο επίπεδο κύλησης μακριά από το κέντρο στροφής. Με άλλα λόγια, η κατεύθυνση προς τα αριστερά σε μια στροφή προκαλεί το όχημα να κυλήσει προς τα δεξιά και αντίστροφα.

Την στιγμή της αρχικής ανύψωσης του ελαστικού του τροχού είναι Fzi = 0 και η ισορροπία των ροπών είναι

ay /g = t / 2h

όπου t είναι το πλάτος τροχιάς του οχήματος και h είναι το ύψος του κέντρου βάρους του οχήματος. Η εξίσωση 11 ονομάζεται όριο ανατροπής ή συντελεστής στατικής σταθερότητας (SSF). Οι συντελεστές στατικής σταθερότητας που προβλέπονται από αυτό το μοντέλο απλής μηχανικής κυμαίνονται από 0,4 για βαρέα φορτηγά έως 1,7 για σπορ αυτοκίνητα. Όσο χαμηλότερος είναι ο SSF, τόσο μεγαλύτερη είναι η τάση για ανατροπή δηλαδή, οχήματα με υψηλότερες τιμές SSF είναι ασφαλέστερα.

Από το διάγραμμα του ελεύθερου σώματος μπορούμε να έχουμε και την εξίσωση για να δείξει ότι:

ay $/g = \mu$

όπου μ είναι ο συντελεστής τριβής μεταξύ του ελαστικού και της επιφάνειας του οδοστρώματος. Συνεπώς, οι επιφάνειες με μεγάλο μ κάνουν αναστρέψιμη την εκτέλεση ανατροπής, ενώ οι χαμηλές επιφάνειες μ προωθούν την πλευρική ολίσθηση του οχήματος.

Ενώ οι ιδιότητες των ελαστικών δεν εμφανίζονται ρητά σε καμία από τις εξισώσεις ανατροπής, υπάρχουν κάποιοι σιωπηλοί παράγοντες. Για παράδειγμα:

α) οι μικρές μεταβολές της πίεσης διόγκωσης παράγουν πολύ μικρές αλλαγές στο όχημα π.χ. το ύψος και ενδεχομένως ο συντελεστής τριβής του ελαστικού και του δρόμου δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για να μεταβάλει σημαντικά την τάση ανατροπής ενός οχήματος.

β) οι μεγάλες μειώσεις της πίεσης (~ 25%) θα τείνουν να μειώνουν τη δύναμη στροφής που διατίθεται για μη αναστρέψιμη ανατροπή καθώς και η δυσκαμψία στροφής του ελαστικού (επηρεάζοντας τη συμπεριφορά υποστροφής). Ωστόσο, τέτοιες μεγάλες μειώσεις πίεσης επηρεάζουν δυσμενώς την αντοχή του ελαστικού, την αντίσταση κύλισης, την υδρολίσθησης και τη συμπεριφορά υψηλών ταχυτήτων.

γ) φθορά των ελαστικών, π.χ. το ύψος του οχήματος ελαφρώς μειώνεται, αυξάνοντας έτσι οριακά το SSF.

δ) οδήγηση σε υγρό καιρό, ο συντελεστής τριβής επιφάνειας οδού μειώνεται, αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα ολίσθησης του οχήματος σε ανατροπή σε ελιγμούς οδήγησης.

ε) με την τοποθέτηση τροχών με αρνητικό offset στον εμπρόσθιο και τον οπίσθιο άξονα, το πλάτος του οχήματος αυξάνεται με τον τρόπο αυτό αυξάνοντας αισθητά το SSF.

στ) με το σχεδιασμό ενός οχήματος για την προσαρμογή ελαστικών μικρότερης συνολικής διαμέτρου, π.χ. το ύψος του κέντρου βάρους μειώνεται και ο SSF αυξάνεται. [25] [26]

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η παρούσα εργασία έχει σαν αντικείμενο την περιγραφή και τις μηχανικές ιδιότητες Ελαστικών Συμβατικών Οχημάτων, την ανάλυση των δυνάμεων πρόσφυσης επί του οδοστρώματος και τη συσχέτιση τους με τον χειρισμό ενός οχήματος σε διάφορες συνθήκες οδήγησης.

Ετσι σαν στόχο της εργασίας έθεσα αρχικά την προσέγγιση στην τεχνολογία κατασκευής αλλά και την συμπεριφορά των ελαστικών λόγω των φυσικών τους ιδιοτήτων. Από αυτό πιστεύω ότι αναδείχθηκαν οι πολυπλοκότητες αλλά και οι συμβιβασμοί που πρέπει να γίνουν για την επίτευξη αντικρουόμενων απαιτήσεων όπως η ακαμψία, αντοχή, ανθεκτικότητα, πρόσφυση, φθορά, σκληρότητα.

Υπάρχουν αρκετά μοντέλα πρόβλεψης της συμπεριφοράς των ελαστικών που στηρίζονται τόσο σε θεωρητικά όσο και σε εμπειρικές-πειραματικές μετρήσεις με βάση στατικές ή δυναμικές καταπονήσεις. Εδώ πρέπει να αναφέρω ότι ενώ υπάρχουν αρκετές αναφορές πάνω σε αυτές τις τεχνικές δεν υπάρχουν αντίστοιχα αναλυτικές μετρήσεις ή αναλυτική περιγραφή των μεθόδων αυτών αλλά μια γενική περιγραφή των μεθόδων και συγκριτικά διαγράμματα των τιμών αυτών με τα αποτελέσματα οδικών δοκιμών.

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι προσδιορισμού της συμπεριφοράς ενός ελαστικού, α) η magic formula που στηρίζεται στις δυναμικές πειραματικές μεθόδους και β) της σύνθετης ολίσθησης που είναι ένας πρώτος συνδυασμός του φυσικού-θεωρητικού μοντέλου και της δυναμικής πειραματικής μεθόδου magic formula και αναφέρεται μια σύνθετη ολίσθηση που είναι μια εξελιγμένη πειραματική μέθοδος εφαρμογής της magic formula. Και εδώ οι πιο πολλές τιμές μετρήσεων από πειραματικές δοκιμές που υπάρχουν είναι από την βιβλιογραφία του Pacejka δημιουργού της magic formula. Κατά την αντιπαραβολή των τιμών αυτών και των τιμών από το υπολογιστικό του μοντέλο βλέπουμε ότι ταιριάζουν.



Από την υπόλοιπη βιβλιογραφία τα αποτελέσματα διαγραμμάτων που παρουσιάζουν τις συμπεριφορές δυνάμεων και ροπών για συγκεκριμένα ελαστικά και τα αποτελέσματα μετά την μοντελοποίηση των ελαστικών αυτών στην εφαρμογή της magic formula, βλέπουμε να ταιριάζουν μεταξύ τους. Επίσης η εμπειρία της οδικής συμπεριφοράς του κάθε ενός μας δείχνει να συμφωνεί με την συμπεριφορά της magic formula. Οι μικρές αποκλίσεις που κάποιες φορές παρατηρούνται στα επιμέρους διαγράμματα δικαιολογούνται επαρκώς.

Πιστεύω όμως ότι στο μέλλον θα ήταν ευχής έργο από την ομάδα του μεταπτυχιακού, μια πειραματική καταγραφή σε όχημα με αντίστοιχα επιταχυνσιόμετρα τριών διευθύνσεων σε κάθε μουαγιέ τροχού και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών με την χρήση της magic formula. Βέβαια και τότε θα πρέπει να αναλυθούν και απαλυφθούν συνιστώσες συμπεριφοράς ελαστικών όπως δυνάμεις ροπής τροχών από το όφσετ των ζαντών ή της συνισταμένης δύναμης των ελαστικών λόγω των διαφορετικών στρωμάτων κατασκευής του. Τα αποτελέσματα αυτά όμως των μετρήσεων και της συμπεριφοράς των ελαστικών θα είναι ένας σημαντικός σύμβουλος στην αλλαγή γεωμετρικών στοιχείων της ανάρτησης και των χαρακτηριστικών των τροχών για την οδηγική συμπεριφορά του συγκεκριμένου οχήματος.

Γενικά με την χρήση και λήψη πιο ρεαλιστικών αποτελεσμάτων θα καταγραφούν πιο πιθανά προβλήματα αλλά και αντίστοιχες προτάσεις που μπορούν να οδηγήσουν στην σύνθεση μιας προτεινόμενης συμπεριφοράς του οχήματος.

Είδη η continental έχει προσανατολιστεί σε αυτή την κατεύθυνση όταν στην έκθεση αυτοκινήτου στη Φρανκφούρτη IIA 2017 παρουσίασε τις δύο παρακάτω λειτουργίες.

(η αντιπροσωπία στην Ελλάδα που απευθύνθηκα εξηγώντας τους λόγους και το θέμα της πτυχιακής μου ελάχιστες πληροφορίες μου έδωσε παραπέπτονας με στην μητρική continental) Τα στοιχεία που παραθέτω και που δείχνουν ποιές οι μελλοντικές τάσεις τα συγκέντρωσα από το διαδύκτιο.

Οι τεχνολογίες αυτές ονομάζονται ContiSense & ContiAdapt και ενσωματώνονται σε ένα πρωτότυπο σετ ελαστικών.

Η ContiSense βασίζεται σε ένα σύστημα εσωτερικών αισθητήρων, οι οποίοι υπολογίζουν το βάθος του πέλματος και την θερμοκρασία, για την αποφυγή ανεπιθύμητων φθορών που μπορεί να αποβούν μοιραίες στην οδήγηση.

Το ηλεκτρικά αγώγιμο ελαστικό επιτρέπει στους αισθητήρες να στέλνουν τα δεδομένα σε έναν ειδικό δέκτη, ο οποίος με τη σειρά του θα τα μετατρέπει σε ειδοποιήσεις, προκειμένου να λάβει ο οδηγός τις ανάλογες αποφάσεις.

Επίσης, οι μελλοντικές εκδόσεις της τεχνολογίας ContiSense θα είναι σε θέση να ανιχνεύουν ακόμα και τις συνθήκες του δρόμου (αν πχ. είναι βρεγμένος, χιονισμένος ή παγωμένος), υποδεικνύοντας τα ποσοστά επικινδυνότητας για την εκδήλωση ατυχήματος.

Η τεχνολογία **ContiAdapt** επεμβαίνει ακόμα περισσότερο στην συμπεριφορά του οχήματος, ρυθμίζοντας ενεργά την πίεση των ελαστικών, καθώς και το πλάτος του πέλματος, έτσι ώστε να «ταιριάζει» με τις συνθήκες του δρόμου. Στην παρούσα φάση εναλλάσσεται μεταξύ τεσσάρων διαβαθμίσεων: κανονικό, ολισθηρό, υγρό και ανομοιόμορφο οδόστρωμα. Με αυτό τον τρόπο η συγκεκριμένη τεχνολογία συμβάλει α) στην εξοικονόμηση καυσίμων, ρυθμίζοντας ιδανικά την επιφάνεια κύλισης του ελαστικού (μικρότερη/μεγαλύτερη), β) μειώνοντας ή αυξάνοντας – όπου αυτό είναι εφικτό – την τριβή.





Προς το παρόν η επιλογή αυτων των τεσσάρων προεπιλεγμένων θέσεων όπως φαίνεται από τις φωτογραφίες γίνεται από τον οδηγό.

Όμως αυτή η υιοθέτηση-προσαρμογή του ανάλογου για την περίσταση "αποτυπώματος" αλλά και χαρακτηριστικών του ελαστικού με την ενεργοποίηση α) διαφορετικών ζωνών πέλματος β) μεταβλητού πλάτους ζάντας και γ) πίεσης αέρα, στις επικρατούσες οδικές συνθήκες ή στις προτιμήσεις του οδηγού θα είναι στο μέλλον η επικρατούσα κατεύθυνση της βιομηχανίας ελαστικών αλλά και της αυτοκινητοβιομηχανίας.

Όπως ακριβώς συνέβει με την εξέλιξη της τεχνολογίας του ABS σε συστήμα ευστάθειας αυτοκινήτου. Οπου αισθητήρες κατεύθυνσης του άξονα διεύθυνσης αυτοκινήτου, γωνιών στροφής τιμονιού συναρτήση της ταχύτητας περιστροφής του τιμονιού, των στροφών μηχανής, της ταχύτητας του οχήματος αλλά και περιστροφής των τροχών παρέχει στο σύνολο του αυτοκινήτου ευστάθεια και κατευθυντικότητα δημιουργώντας ελεγχόμενες ολισθήσεις σε συγκεκριμένους τροχούς και ελεγχόμενες δυνάμεις πρόσφυσης σε άλλους έτσι ώστε να πετύχει την σωστότερη οδηγική συμπεριφορά. Μόνο που αυτή την φορά θα συμμετέχουν και τα ελαστικά των τροχών και οι μελλοντικές έρευνες έχουν απεριόριστο πεδίο έρευνας σ αυτό το θέμα.

Βέβαια πάντα οι **έξυπνες ιδέες**, έχουν και προβλήματά, όπως αυτή που φαίνεται να περιορίζει τη ζωή των ελαστικών (η ζώνη του πέλματος για στεγνή επιφάνεια θα φθαρεί ταχύτερα, πράγμα που ίσως σημαίνει ότι θα χρειάζεται να αντικατασταθούν τα λάστιχα, ενώ η ζώνη για υγρή και η ζώνη για ολισθηρή επιφάνεια θα έχουν φθαρεί λιγότερο). Όμως και εκεί κάποιος άλλος τομέας της κατασκευής ελαστικών θα λύσει το πρόβλημα με σκληρότερη γόμμα στην πρώτη ζώνη και ίσως πιο πολύπλοκη κατασκευή. Σχεδόν πάντα αυτό συμβαίνει στην επιστήμη μας και την εφαρμογή της για την εξυπηρέτηση των αναγκών του ανθρώπου, θυσίες επιλογών, πολυπλοκότητα και επιμονή.

ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΑΠΟ ΔΙΑΔΥΚΤΙΟ SITE

- I) 4crawler.com/Diesel/Tires.shtml
- II) assets2.sharewise.com/attachment/file/183568/Tire_Cord_and_Tire_Fabrics.
- III) patents.google.com/patent/EP0984866B1/en
- IV) bekaert.com/en/products/automotive/corner/steel-cord-for-tire-reinforcement
- V) ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0266353813002297-gr1.
- VI) tirerack.com/images/tires/tiretech/PI.Cinturato_P7_All_Season_Plus_Tread.
- VII) encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:
- VIII) images.slideplayer.com/14/4428004/slides
- IX) britannica.com/technology/melt-spinning-materials-processing
- X) britannica.com/technology/wet-spinning
- XI) man-made-fiber-spinning
- XII) srf.com/images/srf-product.jpg
- XIII) Tyre cord, technical texties
- XIV) bridgestone.co.in/TyreSizeDesignation.aspx
- XV) eng.ucy.ac.cy/krasia/polymers%202011.pdf
- XVI) madehow.com/images/hpm_0000_0001_0_img0206.jpg
- XVII) upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/85/Hydroplaning.svg/12 00px-Hydroplanning.svg
- XVIII) service manual scania
- XIX) slideplayer.com/slide/5933597/20/images/30/Generation+of+Overturning+ Mome
- XX) springer.com/gp/book/9783658039776

ΑΝΑΦΟΡΕΣ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] B.E. Lindenmuth "An overview of tire technology" in *The pneumatic tire* National Highway Traffic Safety Administration, ed. by A.N. Gent and J.D. Walter, Washington 2005.

[2] F. J. Kovac and M. B. Rodgers, "Tire Engineering", in *Science and Technology of Rubber*, 2nd Ed., ed. by J. E. Mark, B. Erman and F. R. Eirich, Academic Press, New York, 2011.

[3] E.T. McDonel "Tire cord and cord-to-rubbber bonding" in *The pneumatic tire* National Highway Traffic Safety Administration, ed. by A.N. Gent and J.D. Walter, Washington 2005.

[4] M Lewin, J. Preston, "3.1 Tires" High Technology Fibers, in *Handbook of Fiber Science and Technology III*, ed. by Marcel Dekker, NY, 1989.

[5] H. Brody "Synthetic Fibre Materials", in *Polymer Science and Technology Series*, ed. by John Wiley, NY, 1994.

[6] G.Riva, "Steel Cord Technology", in *Basic Tire Technology: Passenger and Light Truck*, Texas, 2000.

[7] J.Goodrich, "Steel Cord Technology", in *Basic Tire Technology: Medium and Heavy Duty Truck*, RI, 2001.

[8] O.Arkins, J.R. Peterson, "ITEC 96 Select", in Rubber and Plastic News, USA, 1997.

[9] A.N. Gent "Mechanical properties of rubber" in *The pneumatic tire* National Highway Traffic Safety Administration, ed. by A.N. Gent and J.D. Walter, Washington 2005.

[10] A. N. Gent "Engineering with Rubber: How to Design Rubber Components", 3nd Ed, ed. Hansen, Ohio, 2011.

[11] Ν. Ροζάκος, Π. Σπυρίδωνος, Δ Παπαγεωργίου "Τεχνική μηχανική-αντοχή υλικών" Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, 2011

[12] T.J. LaClair "Rolling resistance" in *The pneumatic tire* National Highway Traffic Safety Administration, ed. by A.N. Gent and J.D. Walter, Washington 2005.

[13] R. van der Steen, "Tyre/road friction modeling", Eindhoven University of Technology ,Department of Mechanical Engineering ,2007.

[14] Bharat Mohan Redrouthu, Sidharth Das, "Tyre modelling for rolling resistance"master's thesis, UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Göteborg, Department of Applied Mechanics, Göteborg, 2014.

[15] K.A. Grosch "Rubber friction and tire traction" in *The pneumatic tire* National Highway Traffic Safety Administration, ed. by A.N. Gent and J.D. Walter, Washington 2005.

[16] A. Schallamach "Skid Resistance and Directional Control" in *Mechanics of pneumatic tires*, ed. by Samuel K Clark , University of Michigan, 1974

[17] Stephen M. Padula. "Tire load capacity" in *The pneumatic tire* National Highway Traffic Safety Administration, ed. by A.N. Gent and J.D. Walter, Washington 2005.

[18] M. G. Pottinger. "Contact patch phenomena" in *The pneumatic tire* National Highway Traffic Safety Administration, ed. by A.N. Gent and J.D. Walter, Washington 2005.

[19] H. C. A. van Eldik Thieme and H. B. Pacejka "The Tire as a Vehicle Component" in *Mechanics of pneumatic tires*, ed. by Samuel K Clark , University of Michigan, 1974

[20] M. G. Pottinger. "Forces and moments" in *The pneumatic tire* National Highway Traffic Safety Administration, ed. by A.N. Gent and J.D. Walter, Washington 2005.

[21] Hans B. Pacejka "Tyre and Vehicle Dynamics" Second edition, Elsevier, Rotterdam 2002

[22] Egbert Bakker, lares Nuborg, Hans B Pacejka, "Tyre modeling for use in vehicle dynamics studies. SAE 870421", Volvo car corp. & Delft university technology. Rotterdam, 1987.

[23] J.Y. Wong, Handling characteristics of road vehicles"Theory of Ground Vehicles", Third Edition, ed by john Wiley, New York, 2001.

[24] J.A. Cabrera, A. Ortiz, E. Carabias and A. Simon, "An Alternative Method to Determine the Magic Tyre Model Parameters Using Genetic Algorithms" Department of Mechanical Engineering, University of Malaga, Malaga, 2004.

[25] Joseph. D. Walter"Tire properties that affect vehicle steady-state handling behavor" in *The pneumatic tire* National Highway Traffic Safety Administration, ed. by A.N. Gent and J.D. Walter, Washington 2005.

[26] H.C.A. Van Eldik Thieme "Cornering and camber experiments" in *Mechanics of pneumatic tires*, ed. by Samuel K Clark , University of Michigan, 1974

[27] Joop P. Pauwelussen, Wouter Dalhuijsen, Menno Merts, « Tyre dynamics, tyre as a vehicle component», Virtual Education in Rubber Technology HAN University 2007

[28] Jacob Svendenius, "Tire Modeling and Friction Estimation" Department of Automatic Control,Lund University,Lund Sweden,2007

[29] J.R. White, S.K. De, Rubber technologist's handbook, Rapra ltd, Shawbury UK, 2001

[30] William F Milliken and Douglas L Milliken "Race car vehicle dynamics", society of vehicle automotive engineers inc, USA,1995

[31] S.K. Clark, "Rolling resistance forces in pneumatic tires", Department of transportation, Michigan, 1976.

[32] Zorion Kareaga Laka, "Dynamic Stiffness and Damping Prediction on Rubber Material Parts, FEA and Experimental Correlation"ed. by Lea Artibai Ikastetxea S. Coop, 2016.

[33] Edward R. Terrill, Mark Centea, Larry R. Evans, James D. MacIsaac, "Dynamic Mechanical Properties of Passenger and Light Truck Tire Treads" DOT HS 811 270, Akron Rubber Development laboratory, Ohio, 2010

[34] B. Mashadi, H.Mousavi, M.Montazeri, Obtaining relations between the Magic Formula coefficients and tire physical properties, International Journal of Automotive Engineering Vol. 5, USA, 2015

[35] Καραογλανίδης Γεώργιος, «Αρχικός σχεδιασμός οχημάτων με κριτήριο την ευστάθεια », Διδακτορικη διατριβη ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη 2010

[36] Adams tire software, pac 2002 tire model, 2009

[37] I.J.M. Besselink, A.J.C. Schmeitz and H.B. Pacejka, "An improved magic formula / swift tyre model that can handle inflation pressure changes, MF 5.2" Department of Mechanical Engineering, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 2004

[38] M. S. Burhaumudin, P. M. Samin, H. Jamaluddin, R. Rahman, S. Sulaiman, "Modeling and Validation of Magic Formula Tire Model", International Conference on Automotive, Mechanical and Materials Engineering (ICAMME'2012)Penang,2012.

[39] Θωμάς Χονδρός, Σημειώσεις για το μάθημα «δυναμική ανάλυση οχημάτων» εκδόσεις πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 2007.

[40] Ε.Δ. Ντριβαλάς, « Ελαστικά αυτοκινήτου» πτυχιακή εργασία ΤΕΙ Πειραιά, Πειραιάς 2012.

ПАРАРТНМА

Σε αυτό το τμήμα παρουσιάζονται print screen με παραδείγματα από υπολογισμούς και διαγράμματα δυνάμεων που έχουν γίνει βασισμένα στις μελέτες του Hans B Pacejka, α) εφαρμογή της magic formoula και β) στο υπολογιστικό μοντέλο συνθετης κίνησης.

												~ ~										
	Α	В	С	D	Е	F	G	н	1	J.	к	L	м	N	0	Р	Q	R		3	т	
1			v = D * si	$in{C * Arct}$	tan[B * x ·	- E * (B *	x – Arcta	$n(B * x)$]}		Y = y	+ S.,		x = J	$X + S_h$		C = 1	$\pm (1 - \frac{2}{-})$	* Arcsin	$\frac{y_a}{z}$			
2			-	-	-							L			_		- π		D		L - B	
4	у	Y	х	X	В	С	D	Е	Sh	<i>S.</i> ,	y _a	x _m										-
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	1,9997	4.400,00	-81,96	0,00	0,00	2,00	3,00										
6	885,56	885,56	0,50	0,50	0,20	1,9997	4.400,00	-5,10	0,00	0,00	2,20	3,20					M	agic For	mula (X	vs Y)		
7	2.416,59	2.416,59	1,00	1,00	0,30	1,9997	4.400,00	0,09	0,00	0,00	2,40	3,40			5.000,00							
8	3.697,19	3.697,19	1,50	1,50	0,40	1,9996	4.400,00	0,92	0,00	0,00	2,60	3,60			4.500,00							
9	4.243,07	4.243,07	2,00	2,00	0,50	1,9996	4.400,00	1,11	0,00	0,00	2,80	3,80			4.000,00	1						
10	4.379,71	4.379,71	2,50	2,50	0,60	1,9996	4.400,00	1,14	0,00	0,00	3,00	4,00			3.500,00	1						
11	4.399,61	4.399,61	3,00	3,00	0,70	1,9995	4.400,00	1,14	0,00	0,00	3,20	4,20			3.000,00							
12	4.399,14	4.399,14	3,50	3,50	0,80	1,9995	4.400,00	1,13	0,00	0,00	3,40	4,40			2.500,00	-						
13	4.398,53	4.398,53	4,00	4,00	0,90	1,9995	4.400,00	1,12	0,00	0,00	3,60	4,60			2.000,00							
14	4.399,36	4.399,36	4,50	4,50	1,00	1,9995	4.400,00	1,11	0,00	0,00	3,80	4,80			1.500,00							
15	4.400,00	4.400,00	5,00	5,00	1,10	1,9994	4.400,00	1,10	0,00	0,00	4,00	5,00			1.000,00	1						
16	4.398,97	4.398,97	5,50	5,50	1,20	1,9994	4.400,00	1,09	0,00	0,00	4,20	5,20			500,00	/						
17	4.395,40	4.395,40	6,00	6,00	1,30	1,9994	4.400,00	1,08	0,00	0,00	4,40	5,40			0,00	<u> </u>						
18	4.388,89	4.388,89	6,50	6,50	1,40	1,9993	4.400,00	1,07	0,00	0,00	4,60	5,60			0,	00	5,00	10,00) 1	5,00	20,00	
19	4.379,37	4.379,37	7,00	7,00	1,50	1,9993	4.400,00	1,06	0,00	0,00	4,80	5,80										
20	4.366,94	4.366,94	7,50	7,50	1,60	1,9993	4.400,00	1,06	0,00	0,00	5,00	6,00										
21	4.351,83	4.351,83	8,00	8,00	1,70	1,9992	4.400,00	1,05	0,00	0,00	5,20	6,20										
22	4.334,27	4.334,27	8,50	8,50	1,80	1,9992	4.400,00	1,05	0,00	0,00	5,40	6,40										
23	4.314,55	4.314,55	9,00	9,00	1,90	1,9992	4.400,00	1,04	0,00	0,00	5,60	6,60										
-	< >	Γεν. Τί	πος& Στοι	επτική Ακο	αυψία 🕺	Διαμήκης Δι	ύναμη	Πλευρική Δύγα	xun Po	οπή Ευθυνα	σάμμισης		4									-

ΓΕΝΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ & ΣΤΡΕΠΤΙΚΗ ΑΚΑΜΨΙΑ (Α)

ΓΕΝΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ & ΣΤΡΕΠΤΙΚΗ ΑΚΑΜΨΙΑ (Β)

	0	Р	Q	R	S	т	U	V	N X	Y	Z	AA	AB	AC	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	_
1 2 3		$C = 1 \pm$	$(1-\frac{2}{\pi}*)$	$Arcsin \frac{y_a}{D}$)		$E = \frac{1}{2}$	$B * x_m - Ar$ $B * x_m - Ar$	$-\tan(\frac{\pi}{2C})$ $ctan(B * x_m)$, if ${\tt C}>1$		BC	$D_y = \frac{p_1 * s}{s}$	$in[2 * Arctor1 + p_3 * \gamma$	$m\left(\frac{F_x}{p_2}\right)]$							
4															BCDy	p_1	p_2	p_3	Fz	γ	
5					- (17)	0									0,000	2000	150	1	0	0	
6			IVIa	gic Formu	ia (X vs i	()			Στοει	ττική Ακαι	ιψία ως	ποος το	φοστίο		265,487	2000	150	1	10	0	
7	5.000,00							2500.000	L ep o	cent / mag		1000 00	4 op tto		524,017	2000	150	1	20	0	
8	4.500,00		******					2500,000							769,231	2000	150	1	30	0	
9	4.000,00					******		2000.000							995,851	2000	150	1	40	0	
10	3.500,00	1						2000,000				• • • • •	****		1200,000	2000	150	1	50	0	
11	3.000,00										·				1379,310	2000	150	1	60	0	
12	2.500,00	+						1500,000							1532,847	2000	150	1	70	0	
13	2.000,00									•					1660,900	2000	150	1	80	0	
14	1.500,00	1						1000,000							1764,706	2000	150	1	90	0	
15	1.000,00	1							•						1846,154	2000	150	1	100	0	
16	500,00	/						500,000	•						1907,514	2000	150	1	110	0	
17	0,00	L							•						1951,220	2000	150	1	120	0	
18	0,	00	5,00	10,00	15,00	20,00	25,0	0,000	•	50	100	150	200	250	1979,695	2000	150	1	130	0	
19									0	50	100	130	200	250	1995,249	2000	150	1	140	0	
20															2000,000	2000	150	1	150	0	
21															1995,842	2000	150	1	160	0	
22															1984,436	2000	150	1	170	0	
23															1967,213	2000	150	1	180	0	
-	•	Γεν. Τι	ύπος& Στ	ρεπτική Ακα	χμψία	Διαμήκης Δ	ύναμη Γ	Ιλευρική Δύνα	μη Ροπι	Ευθυγράμμ	σης	+ : •									F

ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗ (Α)

	А	В	С	D	Е	F	G	н	1	J.	К	L	М	N	0	Р	Q	R
1	$F_x = D$) * sin[C * .	Arctan(B	* <i>φ</i>)]	$\varphi =$	(1-E) * k	$\alpha + \left(\frac{E}{B}\right) * .$	Arctan(B	* k)	<i>C</i> =	1.65	D = a	$_{1}*F_{z}^{2}+a_{2}$	* F _z	B =	$=\frac{a_3*F_{\pi}^2}{C*D*}$	$+ a_4 * F_z$ $e^{a_5 * F_z}$	
3																		
4	F_x	φ	k	В	С	D	Ε	ai	F_z									
5	-5.645,08	-7,25	-10,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61	-21,300	5,50									
6	-5.645,53	-6,73	-9,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61	1.144,000			9000							
7	-5.622,39	-6,19	-8,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61	49,600			8000							
8	-5.562,55	-5,61	-7,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61	226,000			7000							
9	-5.444,43	-5,00	-6,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61	0,069			6000							
10	-5.231,86	-4,34	-5,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61	-0,006			5000						_	-
11	-4.864,53	-3,61	-4,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61	0,056			ش 4000					_		_
12	-4.247,42	-2,82	-3,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61	0,486			3000						_	_
13	-3.256,30	-1,94	-2,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61				2000							
14	-1.805,41	-0,99	-1,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61				1000							-
15	0,00	0,00	0,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61				0	/						
16	1.805,41	0,99	1,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61					0 4 8 12	16 20 24 28 3	32 36 40 44 4	48 52 56 60 64	68 72 76 80	84 88 92 96	;
17	3.256,30	1,94	2,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61								k			
18	4.247,42	2,82	3,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61											
19	4.864,53	3,61	4,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61					F2	=2kN	Fz=4kN -	Fz=6kN	Fz=8kN		
20	5.231,86	4,34	5,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61											
21	5.444,43	5,00	6,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61											
22	5.562,55	5,61	7,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61											
23	5.622,39	6,19	8,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61							EVINC	r			
- 24	E 645 50			0.00	1.000	- C+7 C0		-				0		FX VS	7			
	• •	Γεν. Τι	υπος& Στρι	επτικη Ακα	μψια Δ	ιαμηκης Δ	υναμη	Πλευρική Α	Δυναμη	Ροπή Ευθ	συγραμμιση	ς(+)	1					

$\Delta IAMHKH\Sigma \Delta YNAMH (B)$

	S	Т	U	v	W	X	Y	Z	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	A
1	E =	$a_6 * F_1$	$a_{7}^{2} + a_{7} * b_{7}^{2}$	$F_z + a_8$														8000				
2									_									6000				
3					10000														~		-	
4					8000													4000			-	
5					6000				-10	-1218,42	-2403,92	-3539,83	-4621,16	-5645,08				2000	Vier		1	
6					4000	200			-9	-1203,02	-2385,17	-3523,81	-4611,66	-5645,53	ž			0	A		T	
7					2000	1 and			-8	-1178,61	-2351,48	-3488,95	-4580,63	-5622,39	-15	-	10		9	5	10	15
8	,	<				See.		Diet Area	-7	-1141,54	-2296	-3425,9	-4516,66	-5562,55								
9		-15	-10	-5	2000 0	5	10	15	-6	-1086,67	-2208,47	-3319,97	-4401,41	-5444,43				4000				
10									-5	-1007,03	-2073,72	-3148,2	-4204,94	-5231,86				-6000				
11					-4000				-4	-893,815	-1870,47	-2875,78	-3879,29	-4864,53				-9000				
12					0000				-3	-737,691	-1572,39	-2454,79	-3353,08	-4247,42				-0000	k			
13					-8000				-2	-532,365	-1155,81	-1834,1	-2540,61	-3256,3								
14					-10000 k				-1	-280,722	-618,222	-994,219	-1393,9	-1805,41	-	Fz=1.1k	N — Fz=2.2	2kN — Fz	=3.3kN	Fz=4.4kN	Fz=5.5kl	N
15									0	0	0	0	0	0								
16				kN 🗕	Fz=4kN -			N	1	280,7217	618,2216	994,2186	1393,897	1805,409								
17									2	532,3651	1155,807	1834,096	2540,614	3256,296								
18									3	737,6912	1572,392	2454,794	3353,079	4247,417								
19									4	893,8153	1870,469	2875,782	3879,29	4864,534								
20									5	1007,029	2073,718	3148,203	4204,944	5231,864								
21									6	1086,674	2208,47	3319,975	4401,414	5444,427								
22									7	1141,54	2296,001	3425,904	4516,665	5562,549								
23									8	1178,611	2351,476	3488,955	4580,626	5622,393								
				0. Tanaaaa		1.				1000.000	Damé Euf	2522.007		Con con								
	•		εν. τύπος	,α Ζιρεπτ	ικη Ακαμι	φια Διο	μηκης Δυν	αμη ΙΙ/	ιευρικη Ζ	ιοναμή	POID EUC	υγραμμιση	s (+)									- P

$\Delta IAMHKH\Sigma \, \Delta YNAMH \, (\Gamma)$

	Α	В	С	D	Е	F	G	н	1	J	к	L	М	N	0	Р	Q	R
22	5.562,55	5,61	7,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61											
23	5.622,39	6,19	8,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61								_			
24	5.645,53	6,73	9,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61							FX VS F	¢ (
25	5.645,08	7,25	10,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61				2500							
26	5.236,95	12,21	21,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61					\frown						
27	5.195,45	12,63	22,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61				2000	/		_				
28	5.154,76	13,04	23,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61					/						
29	5.114,96	13,46	24,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61				1500 —							
30	5.076,09	13,87	25,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61											
31	5.038,18	14,28	26,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61				1000							
32	5.001,24	14,69	27,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61											
33	4.965,29	15,09	28,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61				500							
34	4.930,30	15,50	29,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61											
35	4.896,28	15,90	30,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61											
36	4.863,20	16,31	31,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61				0 3	6 9 121518	21242730333	6394245485	1545760636	56972757881	84879093969	9
37	4.831,05	16,71	32,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61											
38	4.799,80	17,11	33,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61											
39	4.769,43	17,51	34,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61											
40	4.739,91	17,91	35,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61											
41	4.711,22	18,31	36,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61											
42	4.683,34	18,71	37,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61											
43	4.656,24	19,11	38,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61											
44	4.629,88	19,50	39,00	0,20	1,6500	5.647,68	0,61											
AF	1 604 06	10.00	40.00		1 6500	- CAT CO		Danawa	A.ú. 1911	Domá Eu	Our o du una		1. [4]					

ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ (Α)

	Α	в	с	D	E	F	G	н	1	J	к	L	м	N	0	Р	Q	R	S	т	l 🔺
1 2	$F_y = D \ast$	sin[C * Ar	ctan(B * q	$\rho)] + \Delta S_v$	φ	= (1 - E)	$*(a + \Delta S)$	$(h) + \left(\frac{E}{B}\right) *$	Arctan[B	$*(a + \Delta S)$	n)]	C = 1.	.30	D = c	$F_{2}^{2} + a$	$_{2} * F_{z}$	B =	$a_3 * \sin(a$	4 * Arcta C * D	$\frac{n(a_5 * F_z))}{*} (1$	-
3																					וור
4	F_y	φ	α	В	С	D	Е	a _i	F_z	γ	ΔS_h	ΔS_v						8000			
5	-7.666,60	-28,59	-15,00	0,10	1,3000	7.668,86	-2,69	-22,100	9,60	0,00	0,00	0,000						6000			•
6	-7.667,36	-25,80	-14,00	0,10	1,3000	7.668,86	-2,69	1.011,000			0,00	0,000						0000			
7	-7.649,40	-23,09	-13,00	0,10	1,3000	7.668,86	-2,69	1.078,000			0,00	0,000						4000			•
8	-7.602,79	-20,48	-12,00	0,10	1,3000	7.668,86	-2,69	1,820			0,00	0,000						2000	1000		
9	-7.513,43	-17,98	-11,00	0,10	1,3000	7.668,86	-2,69	0,208			0,00	0,000			~			0	and a		
10	-7.362,16	-15,60	-10,00	0,10	1,3000	7.668,86	-2,69	0,000			0,00	0,000			-20	-15	-10	-50	5	10 1	5
11	-7.124,58	-13,35	-9,00	0,10	1,3000	7.668,86	-2,69	-0,354			0,00	0,000					•••••	-2000			
12	-6.772,92	-11,26	-8,00	0,10	1,3000	7.668,86	-2,69	0,707			0,00	0,000					*****	-4000			
13	-6.281,44	-9,32	-7,00	0,10	1,3000	7.668,86	-2,69	0,028			0,00	0,000					*****	-6000			
14	-5.635,67	-7,54	-6,00	0,10	1,3000	7.668,86	-2,69	0			0,00	0,000						0000			
15	-4.842,59	-5,94	-5,00	0,10	1,3000	7.668,86	-2,69	14,8			0,00	0,000						-8000 a			
16	-3.934,33	-4,50	-4,00	0,10	1,3000	7.668,86	-2,69	0,022			0,00	0,000									
17	-2.959,40	-3,22	-3,00	0,10	1,3000	7.668,86	-2,69	0			0,00	0,000				— •– F	z=2kN 🔫	Fz=4kN -	—e— Fz≈6kM	↓ —e—Fz=8kN	
18	-1.964,21	-2,07	-2,00	0,10	1,3000	7.668,86	-2,69				0,00	0,000									
19	-976,39	-1,01	-1,00	0,10	1,3000	7.668,86	-2,69				0,00	0,000									
20	0,00	0,00	0,00	0,10	1,3000	7.668,86	-2,69				0,00	0,000									
21	976,39	1,01	1,00	0,10	1,3000	7.668,86	-2,69				0,00	0,000						Fy vs	а		
22	1.964,21	2,07	2,00	0,10	1,3000	7.668,86	-2,69				0,00	0,000						6000			
23	2.959,40	3,22	3,00	0,10	1,3000	7.668,86	-2,69				0,00	0,000								*******	1
24	2 0 2 4 2 2	4.50	4.00	0.10	1 2000	7 000 00	2.00				0.00	0.000						4000			
	< F	Γεν. Τ	ύπος& Στρ	επτική Ακα	μψία	Διαμήκης Δ	ύναμη	Πλευρική Δ	Δύναμη	Ροπή Ευθ	θυγράμμιση	ς(+)									11

ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ (Β)



ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ (Γ)

	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	A
1	+ a11	$* F_z) * \gamma$																
2																		
1																		
- 4	n F		-15	-2261.01	2796 56	-5206 72	6510 22	7666.6						10000				
6			-13	2201,01	-3700,30	5200,72	-0510,35	7667.26						10000				
7			-14	-2205,15	-3002,2	5246.92	-0320,73	-7007,50						8000				
· ·			-13	-2277,20	-3017,34	5240,82	-0335,55	7602.70						6000	1			
•			-12	-2203,1	-3035,02	-3202,23	-0356,44	-7002,79						4000	100	*****	•••	
9			-11	-2292,08	-3840,11	-5270,18	-0510,1	-7513,43						2000	Acres	•••••	•••	
10	15		-10	-2297,27	-3854,82	-5264,56	-6460,31	-/362,16			2			0				
11	15		-9	-2299,06	-3855,01	-5235,31	-6352,4	-/124,58			-20	-15	-10	2000 0	5	10	15	20
12			-8	-2294,66	-3839,35	-5166,09	-6166,19	-6772,92						-4000				
13			-7	-2279,16	-3795,07	-5031,43	-5868,24	-6281,44						-6000				
14			-6	-2243,81	-3700,26	-4794,42	-5422,73	-5635,67						-8000				
15			-5	-2172,94	-3519,3	-4409	-4803,48	-4842,59						-10000				
16	2 -		-4	-2039,05	-3200,67	-3833,1	-4010,73	-3934,33						α				
17	_		-3	-1797,33	-2687,34	-3054,44	-3080,26	-2959,4										. –
18			-2	-1388,6	-1950,09	-2110,43	-2071,07	-1964,21				FZ=2.4KN -	+	N —@— FZ=	•bkn —	-z=7.8KN -		N
19			-1	-773,122	-1024,53	-1071,95	-1036,01	-976,392										
20	L		0	0	0	0	0	0										
21			1	773,1216	1024,525	1071,953	1036,007	976,3922										
22			2	1388,597	1950,093	2110,426	2071,075	1964,211										
23			3	1797,326	2687,336	3054,442	3080,257	2959,403										
- 14				2020 040	2200 667	2022.000	4010 700	2024 222										
	- • •	Γεν.	ιυπος& Στρε	πτικη Ακα	μψια	Διαμηκης Δι	υναμη	πλευρικη Δ	ιυναμη	νοπη Ευ	συγραμμιση	ς (+)	: 4					

ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ (Δ)



ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ (Ε)



ΡΟΠΗ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗΣ (Α)

	А	В	С	D	E	F	G	н	1	J	К	L	м	N	0	Р	Q	R	S	т	ι
1 2	$M_z = D *$	sin[C * A	rctan(B *	φ)] + ΔS_v	φ	= (1 - E)	$*(a + \Delta S_{b})$	$(1) + \left(\frac{E}{B}\right) *$	Arctan[B	$*(a + \Delta S_{h})$.)]	<i>C</i> = 2	.40	D = c	$a_1 * F_z^2 + c_z^2$	$a_2 * F_z$		$B = \frac{a_3}{C}$	$*F_z^2 + a_4 *$ $*D * e^{a_5 * F}$	$\frac{F_z}{z} * (1 -$	a ₁₂ *
3																					
4	M_z	φ	α	В	С	D	Ε	a _i	Fz	γ	ΔS_h	ΔS_v						250			
5	-7,59	-44,88	-15,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96	-2,720	2,20	0,00	0,00	0,000						200			
6	-7,29	-41,09	-14,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96	-2,280			0,00	0,000						150			
7	-6,93	-37,34	-13,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96	-1,860			0,00	0,000									
8	-6,49	-33,61	-12,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96	-2,730			0,00	0,000					11	- 50			
9	-5,94	-29,93	-11,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96	0,110			0,00	0,000			ş	-	dist.				199
10	-5,24	-26,29	-10,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96	-0,070			0,00	0,000			-20	-15	-10 -5	-50	1400 M	10	15
11	-4,33	-22,72	-9,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96	0,643			0,00	0,000						-100		1	
12	-3,11	-19,23	-8,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96	-4,040			0,00	0,000						-150			
13	-1,41	-15,85	-7,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96	0,015			0,00	0,000						-200			
14	1,04	-12,61	-6,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96	-0,066			0,00	0,000						-250			
15	4,63	-9,58	-5,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96	0,945			0,00	0,000						a			
16	9,76	-6,81	-4,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96	0,03			0,00	0,000									
17	15,73	-4,42	-3,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96	0,07			0,00	0,000				- e -F	z=2kN —	Fz=4kN —	-e— Fz=6kN		.N
18	17,98	-2,49	-2,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96				0,00	0,000									
19	11,35	-1,07	-1,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96				0,00	0,000									
20	0,00	0,00	0,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96				0,00	0,000						Mzve	2		
21	-11,35	1,07	1,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96				0,00	0,000						1412 13	a		
22	-17,98	2,49	2,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96				0,00	0,000						150			
23	-15,73	4,42	3,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96				0,00	0,000						-			
24	0.70	C 01	4.00		2 4000	10.10	2.00				0.00	0.000			II. I		· · · · · ·	100			

ΡΟΠΗ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗΣ (Β)



ΡΟΠΗ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗΣ (Γ)


ΡΟΠΗ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗΣ (Δ)

	А	в	С	D	E	F	G	н	1.1	J	К	L	м	N	0	Р	Q	R	S	т	L 🔺
16	9,76	-6,81	-4,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96	0,03			0,00	0,000									
17	15,73	-4,42	-3,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96	0,07			0,00	0,000				 -	Fz=2kN 🔫	Fz=4kN		:N	JkN
18	17,98	-2,49	-2,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96				0,00	0,000									
19	11,35	-1,07	-1,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96				0,00	0,000									
20	0,00	0,00	0,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96				0,00	0,000						N 4			
21	-11,35	1,07	1,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96				0,00	0,000						IVIZ \	/s a		
22	-17,98	2,49	2,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96				0,00	0,000						150			
23	-15,73	4,42	3,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96				0,00	0,000									
24	-9,76	6,81	4,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96				0,00	0,000						100			
25	-4,63	9,58	5,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96				0,00	0,000					1.2	I I			
26	-1,04	12,61	6,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96				0,00	0,000					1	50			
27	1,41	15,85	7,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96				0,00	0,000					×	0		1	
28	3,11	19,23	8,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96				0,00	0,000			-20	-15	-10	-5 0	5	10	15
29	4,33	22,72	9,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96				0,00	0,000						-50		1	
30	5,24	26,29	10,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96				0,00	0,000							\mathbf{X}	Z	
31	5,94	29,93	11,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96				0,00	0,000						-100		F	
32	6,49	33,61	12,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96				0,00	0,000									
33	6,93	37,34	13,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96				0,00	0,000						-150			
34	7,29	41,09	14,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96				0,00	0,000									
35	7,59	44,88	15,00	0,27	2,4000	-18,18	-2,96				0,00	0,000									
36																					
37																					
38																					
		Διαμήκτ	ης Δύγαμη	Πλευο	ική Δύναμη	Ροπή	Ευθυνοάμ	uugne (Combined	Slip Force	s Latera	L (+)	: 4								•

ΡΟΠΗ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗΣ (Ε)



ΣΥΝΘΕΤΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ (A)

										```											
	Α	В	С	D	E	F	G	н	1	J	K	L	м	N	0	Ρ	Q	R	S	т	U 🔄
1 2	$\sigma_x = \frac{1}{1}$	κ + κ	$\sigma_y^* = \frac{t}{1}$	$\frac{ana^*}{+\kappa}$	$\sigma^* = \sqrt{\sigma}$	$\sigma_{\chi}^2 + \sigma_y^{*2}$	$\alpha^* =$	$\alpha + \frac{C_{F_{\gamma}}(F_z)}{C_{F_a}(F_z)}$	$\frac{1}{2} * \gamma$	$C_{F_{\gamma}} =$	$c_5 * F_z$	$C_{\mathbf{F}_{\alpha}} = c$	$_1 * c_2 * F_{zo}$	* sin{2 * /	$\operatorname{Arctan}\left(\frac{1}{c_2}\right)$	$\frac{F_z}{*F_{zo}}$	$F_x =$	$\frac{\sigma_x * \mu_x *}{\sigma^* * \mu_{xo} *}$	$\frac{F_z}{F_{zo}} * F_{xo}(\sigma)$	$\binom{n}{eq}$	o
3																					
4	$\sigma_x$	κ	$\sigma_y^*$	a*	$\sigma^*$	α	$C_{F_{\gamma}}(F_z)$	$C_{F_a}(F_z)$	γ	C5	Fz	<i>c</i> ₁	<i>c</i> ₂	Fzo	$\mu_x$	$\mu_{xo}$	Fxo	$\sigma_{eq}^{x}$	$C_{F_k}(F_z)$	CFko	$\mu_y$
5	0	0	2,368026	4,312814	2,368026	4	2	25,57433	4	1	. 2	8	1,33	3	1,2	1,26	2,486427	2,486427	30	45	
6	0,833333	5	0,394671	4,312814	0,922068	4	2	25,57433	4	1	2	8	1,33	3	1,2	1,26	0,968172	0,968172	30	45	
7	0,909091	10	0,215275	4,312814	0,934232	4	2	25,57433	4	1	. 2	8	1,33	3	1,2	1,26	0,980944	0,980944	30	45	
8	0,9375	15	0,148002	4,312814	0,94911	4	2	25,57433	4	1	. 2	8	1,33	3	1,2	1,26	0,996566	0,996566	30	45	
9	0,952381	20	0,112763	4,312814	0,959033	4	2	25,57433	4	1	2	8	1,33	3	1,2	1,26	1,006985	1,006985	30	45	
10	0,961538	25	0,091078	4,312814	0,965842	4	2	25,57433	4	1	. 2	8	1,33	3	1,2	1,26	1,014134	1,014134	30	45	
11	0,967742	30	0,076388	4,312814	0,970752	4	2	25,57433	4	1	2	8	1,33	3	1,2	1,26	1,01929	1,01929	30	45	
12	0,972222	35	0,065778	4,312814	0,974445	4	2	25,57433	4	1	2	8	1,33	3	1,2	1,26	1,023167	1,023167	30	45	
13	0,97561	40	0,057757	4,312814	0,977318	4	2	25,57433	4	1	. 2	8	1,33	3	1,2	1,26	1,026184	1,026184	30	45	
14	0,978261	45	0,051479	4,312814	0,979614	4	2	25,57433	4	1	. 2	8	1,33	3	1,2	1,26	1,028595	1,028595	30	45	
15	0,980392	50	0,046432	4,312814	0,981491	4	2	25,57433	4	1	. 2	8	1,33	3	1,2	1,26	1,030566	1,030566	30	45	_
16	0,982143	55	0,042286	4,312814	0,983053	4	2	25,57433	4	1	. 2	8	1,33	3	1,2	1,26	1,032205	1,032205	30	45	
17	0,983607	60	0,03882	4,312814	0,984372	4	2	25,57433	4	1	. 2	8	1,33	3	1,2	1,26	1,033591	1,033591	30	45	_
18																					
19																					
20				Combin	od Clin E	orcoc															
21				COMDIN	ieu siip r	orces							111	re Forces							
22		6												6							
23		4												5							
- 14		Διαινόι	ατο Δύγματικ	План		Dom	i EnQuiroá	uugne l	Combined	Slin Ford	Later		: 4								

#### ΣΥΝΘΕΤΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ (Β)

	Q	R	s	т	U	v	w	х	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH
1 2	$F_x =$	$\frac{\sigma_x * \mu_x *}{\sigma^* * \mu_{xo} *}$	$\frac{F_z}{F_{zo}} * F_{xo}(o$	2. eq)	$\sigma_{eq}^{x} =$	$\frac{C_{F_k}(F_z) *}{C_{F_{k0}} *}$	$\frac{\mu_{xo} * F_{zo}}{\mu_x * F_z} *$	¢σ*	$F_y =$	$\frac{\sigma_y^* * \mu_y *}{\sigma^* * \mu_{yo} *}$	$\frac{F_z}{F_{zo}} * F_{yo}($	$\sigma_{eq}^{\mathcal{Y}})$	$\sigma_{eq}^{\mathcal{Y}} =$	$\frac{C_{F_a}(F_z) *}{C_{F_{ao}} *}$	$\frac{\mu_{yo} * F_{zo}}{\mu_y * F_z}$ ,	* σ*	$C_{F_k} =$	c ₈ * F _z
3																		
4	Fxo	$\sigma_{eq}^{x}$	$C_{F_k}(F_z)$	C _{Fko}	$\mu_y$	$\mu_{yo}$	Fyo	$\sigma_{eq}^y$	$C_{F_a}(F_z)$	$C_{F_{ao}}$	C ₈	$F_x$	$F_y$					
5	2,486427	2,486427	30	45	0,9	1	3,94671	3,94671	25,57433	25,57433	15	0	2,368026					
6	0,968172	0,968172	30	45	0,9	1	1,53678	1,53678	25,57433	25,57433	15	0,555556	0,394671					
7	0,980944	0,980944	30	45	0,9	1	1,557054	1,557054	25,57433	25,57433	15	0,606061	0,215275					
8	0,996566	0,996566	30	45	0,9	1	1,581851	1,581851	25,57433	25,57433	15	0,625	0,148002					
9	1,006985	1,006985	30	45	0,9	1	1,598389	1,598389	25,57433	25,57433	15	0,634921	0,112763					
10	1,014134	1,014134	30	45	0,9	1	1,609737	1,609737	25,57433	25,57433	15	0,641026	0,091078					
11	1,01929	1,01929	30	45	0,9	1	1,61792	1,61792	25,57433	25,57433	15	0,645161	0,076388					
12	1,023167	1,023167	30	45	0,9	1	1,624075	1,624075	25,57433	25,57433	15	0,648148	0,065778					
13	1,026184	1,026184	30	45	0,9	1	1,628863	1,628863	25,57433	25,57433	15	0,650407	0,057757					
14	1,028595	1,028595	30	45	0,9	1	1,632691	1,632691	25,57433	25,57433	15	0,652174	0,051479					
15	1,030566	1,030566	30	45	0,9	1	1,635818	1,635818	25,57433	25,57433	15	0,653595	0,046432					
16	1,032205	1,032205	30	45	0,9	1	1,638421	1,638421	25,57433	25,57433	15	0,654762	0,042286					
17	1,033591	1,033591	30	45	0,9	1	1,640621	1,640621	25,57433	25,57433	15	0,655738	0,03882					
18																		
19																6		
20							Comb	pined Sli	n									
21							conn	Sinca Sil	<u>,</u>							- 5-	-	
22							6								-			
23							<b>5</b>	-						/	-	4		
- 14	< >	<ul> <li>Διαμήκ</li> </ul>	κης Δύναμη	Πλευα	οική Δύναμη	Ροπ	ή Ευθυνράι	uuonc	Combined	Slip Forces	Later	al (+)	: 4					

### ΣΥΝΘΕΤΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ (Γ)





# ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΛΕΥΡΙΚΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ (Α)

1	$F'_y = \mu$	$\iota * F_y$															
2																	
3			F'				F	a	45.00								
5	249	579	- y 000	1 240	1 571	μ 0.2	926 7262		16.00								
5	240	1 105	1 7 7 7	2,260	2.000	0,5	1570 107		14.00	0							
7	4/4	1,105	2,721	2.305	3.000	0,7	2492.404		12.00	о							
	1 011	2.250	2.751	5.724	4.717	1,1	2462,404	2	10.00	о 🔛							
°	1.011	2.555	3.707	5.050	0.404	1,5	4211 222		₹ 8.00	o							
3	1.205	2.940	4.052	0.517	8.001	1,9	4211,252	4	 6.00								
10	1.489	3.475	5.460	7.440	9.431		4963,834	5	0.00								
11	1.678	3.916	6.154	8.392	10.629		5594,367		4.00	0	$\sim$						
12	1.827	4.262	0.097	9.133	11.568		6088,443		2.00	0							
13	1.936	4.517	7.098	9.679	12.260		6452,433	8		0	in an						
14	2.012	4.694	7.377	10.059	12.742		6706,206	9		1 2	3 4	1 5	6 7	8 9	10	11 12 1	13
15	2.062	4.812	7.562	10.311	13.061		6874,212	10					α				
16	2.094	4.886	7.677	10.469	13.261		6979,345			0		0.7			-		
1/	2.112	4.928	7.744	10.560	13.377		7040,265	<b>1</b> 2		μ=υ.	μ-	.0.7	-μ-1.1	μ-1		μ-1.5	
18																	
19																	
20	$F'_x = \mu$	$\iota * F_x$															
21												_					
22			<b>P</b> /						4.500	) (SINING (SIN							
22 23			$F'_x$			μ	F _x	k	4.500						ſ		
22 23		Πλευο	<i>F'</i> x	Ροπή	Ευθυνράμ		<i>F_x</i> Combined	k Slip Forces	4.500 4.000	efficient	÷	: 6			(	Horizontal (C	ateg
22 23		Πλευρ	<i>F</i> ['] _x ική Δύναμη	Ροπή	Ευθυγράμ	μ μισης ( )	F _x Combined	k Slip Forces	4.500 4.000 Lateral Force Coe	efficient	÷	: [	1		[	Horizontal (C	lategi
22 23 24 24	/NTE	Πλευρ ΕΛΕΣ	<i>F</i> '' ική Δύναμη ΔΤΗΣ	Ροπή ΠΛΕ	ευθυγράμ ΥΡΙκ	μ μισης ( ( ()	$F_x$ Combined	k Slip Forces ΣΘΗΣΗ	4.500 4.000 Lateral Force Coe Σ (B)	efficient	+	: 🕻	1		(	Horizontal (C	lategi
22 23 24 27 27 19	/NTE	Πλευρ ΕΛΕΣ	<i>F</i> 'x ική Δύναμη ΔΤΗΣ	ροπή ΠΛΕ	^{Ευθυγράμ}	μ μισης ( ( () ()	$F_x$ Combined	k Slip Forces ΣΘΗΣΗ	4.500 4.000 Lateral Force Coe Σ (B)	efficient	÷	: (			[	Horizontal (C	lategi
22 23 24 24 27 19 20	/NTE	Πλευρ ΕΛΕΣ	<i>F</i> ['] _x ική Δύναμη ΣΤΗΣ	ροπή ΠΛΕ	ευθυγράμ ΥΡΙκ	μ μισης ο ζΗΣ (	F _x Combined ΟΛΙΣ	k Slip Forces CΘHΣH	4.500 4.000 Lateral Force Coe	efficient	•	:				Horizontal (C	Catego
22 23 24 27 19 20 21	$F_x' = \mu$	Πλευρ ΕΛΕΣ α * F _x	<i>F</i> ['] _x ική Δύναμη ΣΤΗΣ	Ροπή ΠΛΕ	ευθυγράμ ΥΡΙΚ	μ μισης ( ΚΗΣ (	F _x Combined ΟΛΙΣ	k Slip Forces CΘΗΣΗ	4.500 4.000 Lateral Force Coo	2 efficient	÷	:				Horizontal (C	Categ
22 23 24 21 20 21 22	$F'_x = \mu$	Πλευρ ΕΛΕΣ ε * F _x	<i>F</i> ['] _x ική Δύναμη ΣΤΗΣ	Ροπή ΠΛΕ	ευθυγράμ ΥΡΙκ	μ μισης ( ζΗΣ (	F _x Combined ΟΛΙΣ	k Slip Forces ΣΘΗΣΗ	4.500 4.000 Lateral Force Cod [Σ (B) 4.500	efficient	•	: •				Horizontal (C	Catego
22 23 24 29 19 20 21 22 23	$F'_x = \mu$	Πλευρ EΛΕΣ $* F_x$	<i>F</i> ['] _x ική Δύναμη ΣΤΗΣ	Ροπή ΠΛΕ	ευθυγράμ ΥΡΙΚ	μ μισης ( ( ( ( μ	$F_x$ Combined DAIS $F_x$	k Slip Forces CΘHΣH	4.500 4.000 Lateral Force Cod Σ (B)	2 efficient	÷	:				Horizontal (C	Catego
22 23 24 29 20 21 22 23 24	$F'_{x} = \mu$	Πλευρ $E \Lambda E \Sigma$ $a * F_x$	<i>F</i> ['] _x ική Δύναμη ΣΤΗΣ <i>F</i> ['] _x	ροπή ΠΛΕ	ευθυγράμ ΥΡΙκ	μ μισης (ΗΣ μ 0,3	$F_x$ Combined OAIS $F_x$ 0	k Slip Forces ΣΘΗΣΗ	4.500 4.000 (Σ (Β) 4.500 4.500 4.500	efficient	•	: •				Horizontal (C	Catego
22 23 24 19 20 21 22 23 24 25	$F'_{x} = \mu$ $0$ 563	Πλευρ ΕΛΕΣ * * F _x 0 1.315	<i>F</i> ^κ _x μκή Δύναμη ΣΤΗΣ <i>F</i> ^κ _x 0 2.066	ο 0 2.817	ευθυγράμ ΥΡΙκ 0 3.568	μ μισης (ΗΣ 0,3 0,7	$F_x$ Combined OAIS $F_x$ 0 1878,125	k Slip Forces COH2H	4.500 4.000 Lateral Force Cod [Σ (B) 4.500 4.000 3.500	efficient	÷	: •				Horizontal (C	
22 23 19 20 21 22 23 24 25 26	$F'_{x} = \mu$ $0$ $563$ $658$	Πλευρ ΕΛΕΣ * F _x 0 1.315 1.534	<i>F</i> ['] _x μκή Δύναμη /THΣ <i>F</i> ['] _x 0 2.066 2.411	0 2.817 3.288	ευθυγράμ /ΥΡΙκ 0 3.568 4.164	μισης (	$F_x$ Combined Combined Combined Combined $F_x$ 0 1878,125 2191,818	k Slip Forces COH2H k 0 5 10	4.500 4.000 Lateral Force Cod Σ (B) 4.500 4.500 4.000 3.500 3.000 2.3.000	2 efficient	÷	: •				Horizontal (C	Categ
22 23 19 20 21 22 23 24 25 26 27	$F'_{x} = \mu$ 0 563 658 655		<i>F</i> ['] _x μ(ή Δύναμη ΣΤΗΣ <i>F</i> ['] _x 0 2.066 2.411 2.403	0 2.817 3.288 3.277	Eυθυγράμ YPIk 0 3.568 4.164 4.151	μ μισης ( μ 0,3 0,7 1,1 1,5	F _x Combined ΟΛΙΣ F _x 0 1878,125 2191,818 2184,521	k Slip Forces COH2H k 0 5 10 15	4.500 4.000 (2 (B) 4.500 4.000 4.000 3.500 2.500	2 efficient	÷	: •				Horizontal (C	Categy
22 23 23 24 20 21 22 23 24 25 26 27 28	$F'_{x} = \mu$ 0 563 658 655 636	0 1.315 1.534 1.485	<i>F</i> ['] _x μκή Δύναμη ΣΤΗΣ <i>F</i> ['] _x 0 2.066 2.411 2.403 2.334	0 2.817 3.288 3.277 3.182	Eυθυγράμ YPIk 0 3.568 4.164 4.151 4.031	μ μ μ μ 0,3 0,7 1,1 1,5 1,9	F _x Combined CAIS F _x 0 1878,125 2191,818 2184,521 2121,418	k Slip Forces COH2H k 0 5 10 15 20	4.500 4.000 Lateral Force Cool Σ (B) 4.500 4.000 3.500 2.500 2.000	efficient	÷	: •				Horizontal (C	
22 23 23 24 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29	$F'_x = \mu$ 0 563 658 655 636 615	ο Πλευρ ΕΛΕΣ 1.514 1.529 1.485 1.435	<i>F</i> ['] _x Δύναμη <b>THΣ</b> <i>F</i> ['] _x 0 2.066 2.411 2.403 2.334 2.256	0 2.817 3.288 3.277 3.182 3.076	Eυθυγράμ XPIK 0 3.568 4.164 4.151 4.031 3.896	μ μσης ( ( μ 0,3 0,7 1,1 1,5 1,9	<i>F_x</i> Combined <b>OAIS</b> <i>F_x</i> 0 1878,125 2191,818 2184,521 2121,418 2050,629	k Slip Forces COHSH k 0 5 10 15 20 25	4.500 4.000 Lateral Force Cod [Σ (B) 4.500 4.000 3.500 2.500 2.500 2.500	efficient	÷					Horizontal (C	
22 23 24 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30	$F'_x = \mu$ 0 563 658 635 636 615 595		F'_x           κή Δύναμη           ΣΤΗΣ           σ           0           2.066           2.411           2.403           2.334           2.256           2.182	Ропті ПАЕ 2.817 3.288 3.277 3.182 3.076 2.975	Eυθυγράμ YPIK 0 3.568 4.164 4.031 3.896 3.769	μ μυσης μ 0,3 0,7 1,1 1,5 1,9	F _x Combined OAIS F _x 0 1878,125 2191,818 2184,521 2121,418 2050,629 1983,584	k Slip Forces COH2H k 0 5 10 15 20 25 30	4.500 4.000 Lateral Force Cod Σ (B) 4.500 4.500 4.000 3.500 2.500 2.000 1.500 1.000	efficient [	÷					Horizontal (C	
22 23 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	$F'_{x} = \mu$ 0 563 655 636 615 595 577	0 1.315 1.534 1.485 1.485 1.485 1.389 1.389	F'_x           κή Δύναμη           ΣΤΗΣ           Γ           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -           -	0 0 2.817 3.288 3.277 3.182 3.076 2.975 2.885	Ευθυγράμ ΥΡΙΚ 0 3.568 4.164 4.151 4.031 3.896 3.769 3.654	μ μισης μ 0,3 0,7 1,1 1,5 1,9	<i>F_x</i> Combined <b>OAIZ</b> <i>F_x</i> 0 1878,125 2191,818 2184,521 2121,418 2050,629 1983,584 1923,01	k Slip Forces COH2H k 0 5 10 15 20 25 30 35	4.500 4.000 (2 (B) (2 (B) (2 (B) (2 (C) (2 (	efficient	•	: •				Horizontal (C	
22 23 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32	$F'_x = \mu$ 0 563 658 655 636 615 595 577 561	0 1.315 1.534 1.485 1.435 1.435 1.346 1.308	F''_x           κτή Δύναμη           ΣΤΗΣ           Γ           6           2.066           2.334           2.256           2.115           2.056	0 2.817 3.288 3.277 3.182 3.076 2.975 2.885 2.804	0 0 3.568 4.164 4.151 3.896 3.769 3.654 3.551	μ μισης ( μ 0,3 0,7 1,1 1,5 1,9	F _x Combined CAIS F _x 0 1878,125 2191,818 2191,818 2191,818 2191,818 2193,818 2193,818 2193,584 1923,054 1923,051 1869,114	k Slip Forces COH2H k 0 5 10 15 20 25 30 35 40	4.500 4.000 Lateral Force Core Σ (B) 4.500 4.500 4.000 3.500 2.500 2.500 1.500 1.500 1.000 5.00	efficient	÷					Horizontal (C	
22 23 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33	$F'_x = \mu$ 0 563 658 655 636 615 595 577 561 546		F''_x           κτ Δύναμη           CTHΣ           F''_x           0           2.066           2.411           2.403           2.356           2.115           2.056           2.056           2.056	0 0 2.817 3.288 3.277 3.182 3.076 2.975 2.884 2.804 2.804 2.732	2 Ευθυγράμ <b>ΥΡΙΚ</b> 0 3.568 4.164 4.151 4.031 3.896 3.769 3.654 3.551 3.461	μ μωης ( μ 0,3 0,7 1,1 1,5 1,9	F _x Combined OAIZ F _x 0 1878,125 2191,818 2184,521 2121,418 2050,629 1983,584 1923,01 1869,114 1869,114 1869,114 1869,114	k Slip Forces COHSH k 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45	4.500 4.000 Lateral Force Cod Σ (B) 4.500 4.000 3.500 2.500 1.500 1.500 1.000 5.500 0 0	2) efficient	÷	: (	k			Horizontal (C	
22 23 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 33 34	$F'_{x} = \mu$ 0 563 635 636 615 595 577 561 546 546 546	Πλευρ EΛΕΣ (* F _x ) (* F _x ) (	F''_x           κτή Δύναμη           CTHΣ           CTH2           C1           2.066           2.411           2.403           2.334           2.256           2.115           2.056           2.0056           2.0033           1.957	0 2.817 3.288 3.277 3.182 3.076 2.975 2.885 2.804 2.732 2.668	0 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	μ μισης ( μ 0,3 0,7 1,1 1,5 1,9	F _x Combined OAIS (0) 1878,125 2191,818 2184,521 2121,818 2184,521 2121,418 2050,629 1983,584 1923,011 1869,114 1821,343 18778,962	k Slip Forces COHSH k 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50	4.500 4.000 Lateral Force Cod Σ (B) 4.500 4.500 4.000 3.500 2.500 2.500 1.500 1.000 500 0	efficient	÷		k			Horizontal (C	
22 23 24 20 20 21 22 23 23 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35	$F'_x = \mu$ 0 563 658 655 636 615 595 577 561 546 534 534 534	CAE2 (* F _x ) (* F _x )	F' _x κή Δύναμη           ΥΤΗΣ           Γ           0           2.066           2.411           2.403           2.334           2.182           2.115           2.056           2.003           1.951	0 0 2.817 3.288 3.277 3.182 3.076 2.975 2.885 2.804 2.732 2.804 2.732 2.612	С Euθυγράμ YPIK 0 0 0 3.568 4.164 4.151 4.031 3.896 3.654 3.551 3.461 3.380 3.308	μ μισης (HΣ) ( 0,3 0,7 1,1 1,5 1,9	F _x Combined CAIS F _x 0 1878,125 2191,818 2184,521 2121,418 2050,629 1983,584 1923,01 1869,114 1821,343 1778,962	k Slip Forces COH2H k 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55	4.500 4.000 Lateral Force Coe Σ (B) 4.500 4.500 4.000 3.500 2.500 2.500 2.500 1.500 1.000 500 0	p p p p p p p p p p p p p p p p p p p	(+)	7	k k	μ=1.5		Horizontal (C	
22 23 7 7 19 20 21 22 23 23 23 23 23 23 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36	$F'_x = \mu$ 0 563 658 636 615 595 577 561 546 534 534 532 512	0 1.315 1.534 1.485 1.435 1.435 1.435 1.435 1.346 1.308 1.275 1.245 1.245 1.195	F' _x κή Δύναμη           ΣΤΗΣ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ       <	0 0 0 2.817 3.288 3.277 3.182 3.076 2.975 2.885 2.804 2.732 2.681 2.561	0 0 3.568 4.164 4.151 4.031 3.896 3.769 3.655 3.461 3.380 3.300 3.300 3.224	μ μισης ( μ 0,3 0,7 1,1 1,5 1,9	Fx           Combined           OAIS           Fx           0           1878,125           2191,818           2191,818           2194,818           2194,818           2194,818           2194,818           2194,818           2194,818           2194,818           2194,818           2194,818           1983,584           1983,584           1923,011           1869,114           1821,343           1778,627           1741,247           1707,551	k Slip Forces COH2H k 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60	4.500 4.000 Lateral Force Con Σ (B) 4.500 4.000 3.500 2.500 2.500 2.000 1.500 1.000 500 0	μ=0.3	(+)	· · · ·	k	μ=1.5		Horizontal (C	
22 23 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 30 31 32 33 33 34 35 36 37	$F'_x = \mu$ 0 563 658 655 5595 577 561 546 534 534 534 532 512 502	ο Πλευρ ΕΛΕΣ • * F _x 0 1.315 1.534 1.529 1.435 1.389 1.346 1.308 1.275 1.245 1.219 1.174	F''_x           κή Δύναμη           CTHΣ           CTH2           2.256           2.411           2.403           2.334           2.256           2.115           2.056           2.182           2.115           2.056           2.036           2.0051           1.957           1.915           1.845	0 0 0 2.817 3.288 3.277 3.182 3.076 2.975 2.885 2.804 2.732 2.668 2.612 2.561 2.516	0 ευθυγράμ <b>YPIK</b> 0 3.568 4.164 4.031 4.031 3.896 3.769 3.654 3.551 3.3461 3.380 3.308 3.244 3.187	μ μισης μ 0,3 0,7 1,1 1,5 1,9	F _x Combined OAIS (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)	k Slip Forces COHSH k 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65	4.500 4.000 Lateral Force Cod (Σ (B) 4.500 4.000 3.500 2.500 2.500 1.500 1.500 1.500 0.500 0.500 0.500	2 efficient μ=0.3	(+)	7	k k	μ=1.5		=1.9	
22 23 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 30 31 33 33 33 33 33 33 33 33 33 33 33 33	$F'_{x} = \mu$ 0 563 655 636 615 595 577 561 546 534 522 512 503 495	Πλευρ EΛΕΣ (* F _x ) (* F _x ) (	F''_x           κτή Δύναμη           CTHΣ           CTHΣ           0           2.066           2.411           2.403           2.334           2.256           2.115           2.056           2.013           1.957           1.915           1.878           1.845           1.815	0 2.817 3.288 3.277 3.182 3.076 2.975 2.885 2.804 2.732 2.668 2.612 2.561 2.516 2.516	0 Euθυγράμ XPIK 0 3.568 4.164 4.151 4.031 3.896 3.769 3.654 3.551 3.461 3.380 3.308 3.308 3.308 3.2244 3.135	μ μισης ( μ 0,3 0,7 1,1 1,5 1,9	F _x Combined OAIS (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)	k Slip Forces COHEN k 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 55 60 65 70	4.500 4.000 Lateral Force Cod Σ (B) 4.500 4.500 4.000 3.500 2.500 2.000 1.500 1.000 500 0	p efficient μ=0.3	(+)	7 <u> </u>	k			Horizontal (C	
22 23 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 33 34 35 35 36 37 38 39	$F'_x = \mu$ 0 563 658 655 636 615 595 577 561 546 534 534 534 534 534 534 534 534	CAES (* F _x ) (* F _x )	F' _x κή Δύναμη           Δύναμη           ΥΤΗΣ           0           2.066           2.411           2.403           2.334           2.182           2.115           2.056           2.003           1.957           1.878           1.845           1.815           1.788	0 0 2.817 3.288 3.277 3.182 3.076 2.975 2.885 2.804 2.732 2.668 2.612 2.561 2.516 2.516 2.438	С Euθυγράμ YPIK 0 0 3.568 4.164 4.151 4.031 3.896 3.654 3.551 3.461 3.380 3.308 3.308 3.244 3.187 3.135 3.088	μ μισης (ΗΣ) ( ( ( ( ( ( ( ( ( ( ( ( (	F _x Combined CAIS F _x 0 1878,125 2191,818 2184,521 2121,418 2050,629 1983,584 1923,01 1869,114 1821,343 1778,962 1741,247 1707,551 1677,316 1650,068 1655,069	k Slip Forces COHECH k 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 55 60 65 55 60 65 70 75	4.500 4.000 Lateral Force Coe Σ (B) 4.500 4.500 4.500 2.500 2.500 2.500 1.500 1.000 500 0	μ=0.3			k k			Horizontal (C	
22 23 19 20 21 22 23 24 25 26 26 27 28 29 30 31 32 33 34 33 34 33 34 35 36 36 37 37 38 39 40	$F'_x = \mu$ 0 563 658 636 615 595 595 595 577 561 546 534 534 534 534 546 546 546 546 546 546 546 54	CAE2 (* F _x ) (* F _x )	F' _x κή Δύναμη           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ           Γ	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2.817 3.288 3.277 3.182 3.076 2.975 2.854 2.668 2.612 2.516 2.516 2.475 2.438 2.4015 2.438 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 3.568 4.164 4.031 3.896 3.769 3.654 3.551 3.461 3.380 3.304 3.324 3.328 3.028 3.048 3.048	μ μωσης ( μ 0,3 0,7 1,1 1,5 1,9	Fx           Combined           OAIS           0           1878,125           2191,818           2121,418           2121,418           2050,629           1983,584           1923,01           1869,114           1821,343           1774,247           1707,551           1677,316           1655,068           1625,409           1603	k Slip Forces COHEN k 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 55 60 65 70 75 80	4.500 4.000 Lateral Force Cod (Σ (B) 4.500 4.000 3.500 2.500 2.500 2.500 1.500 1.000 500 0	P=0.3	(+)	7 — L	k k			=1.9	

512	1.195	1.878	2.561	3.244		1707,551	60					
503	1 174	1 8/15	2 516	3 187		1677 316	65					
505	1.1/4	1.045	2.510	5.167		1077,510	05					
495	1.155	1.815	2.475	3.135		1650,068	70					
488	1.138	1.788	2.438	3.088		1625,409	75					
481	1.122	1.763	2.405	3.046		1603	80					
475	1.108	1.741	2.374	3.007		1582,559	85					
400	1.005	1 700	2.240	2.071		1502.045	00	_			_	
·	Πλευρ	ική Δύναμη	Ροπή	Ευθυγράμ	μισης	Combined S	Slip Forces	Latera	Force Co	efficient	+	

.....