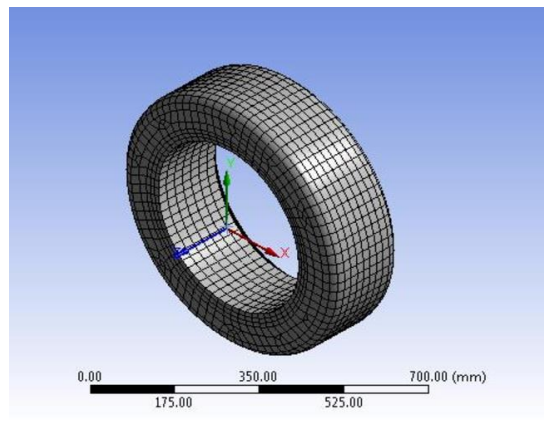


ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΟΝΟΜΑ: ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΕΠΩΝΥΜΟ: ΛΟΥΦΟΠΟΥΛΟΣ

ΑΜ: 43790



ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ  
**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΔΟΜΩΝ  
ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΩΤΡΩΝ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

Τσολάκης Αντώνιος

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΞΕΤΑΣΗΣ:

1. Τσολάκης Αντώνιος

2. Ράπτης Κωνσταντίνος

3. Θεοδορακάκος Ανδρέας

## Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 .....	8
Τύποι ελαστικών .....	8
Συμπαγή ελαστικά.....	9
Προδιαγραφές ελαστικών.....	13
Ελαστικά χιονιού .....	14
Ο ορισμός της πρόσφυσης.....	15
Κεφάλαιο 2 .....	18
Δομές ελαστικού .....	18
Ανατομία ελαστικών .....	18
Τα μέρη ενός ελαστικού – Ορολογία .....	19
Διαδικασία κατασκευής ελαστικού .....	20
Κατασκευή .....	20
Βουλκανισμός.....	21
Σύγκριση χειμερινού καλοκαιρινού και ελαστικού όλων των εποχών.....	22
Θερινά ελαστικά.....	22
Χειμερινά ελαστικά.....	22
Ελαστικά για όλες τις εποχές.....	23
Χαρακτηριστικά και ένωση καουτσούκ .....	23
Κεφάλαιο 3 .....	25
Μηχανικές ιδιότητες ελαστικών .....	25
Εισαγωγή .....	25

Μηχανικές ιδιότητες των ελαστικών .....	26
Παραμόρφωση των ελαστικών .....	26
Δυσκαμψία του ελαστικού κατά τον κατακόρυφο άξονα .....	27
Δυσκαμψία των ελαστικών κατά τον διαμήκη άξονα .....	27
Πλευρική δυσκαμψία ελαστικών .....	27
Τάσεις και παραμορφώσεις .....	28
Πρόσφυση και πέδηση .....	29
Χαρακτηριστικά κατά τη διαδικασία αλλαγής πορείας .....	34
Γωνία Camber .....	35
Τριβή ελαστικού οδοστρώματος .....	37
Κεφάλαιο 4 .....	39
Νέοι τύποι ελαστικών .....	39
Έξυπνα ελαστικά .....	39
Ελαστικά χωρίς αέρα .....	41
Η τεχνολογία της NASA για ελαστικά χωρίς αέρα σε εφαρμογές στον πλανήτη μας .....	41
Τα πλεονεκτήματα των πνευματικών ελαστικών για επίγεια οχήματα .....	44
Απουσία κλαταρισμένου ελαστικού .....	44
Ανυπαρξία αναγκαιότητας για τη χρήση ρεζέρβας .....	45
Πλεονεκτήματα για οχήματα βαρέως τύπου .....	45
Μείωση των εκπομπών ρύπων .....	46
Περιβαλλοντικά οφέλη .....	46
Κεφάλαιο 5 .....	47
Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων FEA .....	47
Γενικές πληροφορίες .....	47
Ιστορία της μεθόδου .....	48
Η βασική ιδέα .....	49
Χρήση του πακέτου ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων ANSYS .....	50
Κεφάλαιο 6 Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης .....	51

6.1 Προσομοίωση πρώτη .....	52
6.2 Προσομοίωση δεύτερη .....	62
6.3 Προσομοίωση 3.....	64
Προσομοίωση 4.....	65
Προσομοίωση 5.....	66
Προσομοίωση 6.....	67
Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα .....	69
Βιβλιογραφία .....	70

---

# Πίνακας εικόνων

---

Εικόνα 1 : Άμαξα τύπου Hanson. Το πρώτο όχημα που χρησιμοποίησε φυσικά ελαστικά [1]	9
Εικόνα 2: Σύγκριση ελαστικού με σαμπέλα και χωρίς.....	11
Εικόνα 3: Σύγκριση ζάντας για ελαστικό με σαμπρέλα (δεξιά) και χωρίς σαμπρέλα (αριστερά). Σε κάθε περίπτωση φαίνεται η διαμόρφωση της ζάντας ανάλογα με τον τύο ελαστικού. [4]	11
Εικόνα 4: Φθορά οδοστρώματος από ελαστικά με καρφιά εξαιτίας φρεναρίσματος εκτακτου ανάγκης. [5].....	14
Εικόνα 5: Οι περιπτώσεις της στατικής τριβής και της τριβής ολισθησης [6] .....	16
Εικόνα 6 : Τα επιμέρους τμήματα που απαρτίζουν ένα ελαστικό [7] .....	18
Εικόνα 7: Διαδικασία κατασκευής ελαστικών [8] .....	21
Εικόνα 8: Σύγκριση θερινών χειμερινών και όλων των εποχών.....	23
Εικόνα 9: Ελαστικά με πόρους για την επιπλέον απομάκρυνση του νερού.[11] .....	24
Εικόνα 10: Σύστημα Συντεταγμένων Ελαστικών σύμφωνα με το SAE [16] .....	29
Εικόνα 11: Συμπεριφορά ενός ελαστικού όταν έχει πρόσφυση [17] .....	30
Εικόνα 12: Συμπεριφορά ενός ελαστικού όταν έχει πρόσφυση [17] .....	31
Εικόνα 13: Η παραμόρφωση ενός ελαστικού κατά τη διαδικασία εναλλαγής πορείας .....	34
Εικόνα 14: Εγκάρσια δύναμη που δημιουργείται λόγω της γωνίας camber.....	36
Εικόνα 15: Έξυπνα ελαστικά και οι λειτουργίες τους από την εταιρεία Continental [23] .....	40
Εικόνα 16: Όχημα τύπου Rover Από την υπάρχουσα αποστολή στον Άρη [24] .....	42
Εικόνα 17: Πλέγμα ελαστικού χωρίς αέρα της NASA[26]. .....	43
Εικόνα 18: Διαστάσεις μοντέλου .....	51
Εικόνα 19: Επιβολή δύναμης στο ελαστικό .....	52
Εικόνα 20: Διακριτοποίηση ελαστικού .....	52
Εικόνα 21: Στατιστικά στοιχεία διακριτοποίησης.....	52
Εικόνα 22: Μέγεθος πεπερασμένων στοιχείων για την διακριτοποίηση.....	53

Εικόνα 23:Επιβολή πάκτωσης στα δύο ελευθέρα άκρα του ελαστικού.....	53
Εικόνα 24:Μηχανικές ιδιότητες ελαστικού.....	53
Εικόνα 25: Μηχανικές ιδιότητες ελαστικού.....	54
Εικόνα 26: Ολική μετατόπιση ελαστικού.....	55
Εικόνα 27: ολική μετατόπιση ελαστικού.....	55
Εικόνα 28: ολική μετατόπιση ελαστικού.....	55
Εικόνα 29: ολική μετατόπιση ελαστικού.....	56
Εικόνα 30: ολική μετατόπιση ελαστικού.....	56
Εικόνα 31: ολική μετατόπιση ελαστικού.....	57
Εικόνα 32: Ισοδύναμη ελαστική τάση.....	57
Εικόνα 33: Ισοδύναμη ελαστική τάση.....	58
Εικόνα 34: Ισοδύναμη ελαστική τάση.....	58
Εικόνα 35: Ισοδύναμη ελαστική τάση-διατμητική.....	59
Εικόνα 36: Ισοδύναμη ελαστική τάση-διατμητική.....	59
Εικόνα 37: Ισοδύναμη ελαστική τάση-διατμητική.....	59
Εικόνα 38: Ισοδύναμη ελαστική τάση-διατμητική.....	60
Εικόνα 39:Συντελεστής ασφαλείας.....	60
Εικόνα 40: Συντελεστής ασφαλείας.....	61
Εικόνα 41: Ισοδύναμη τάση VonMises.....	61
Εικόνα 42:Μηχανικές ιδιότητες ελαστικού.....	62
Εικόνα 43:Επιβολή φορτίου 2000N.....	62
Εικόνα 44: Συνολική μετατόπιση.....	63
Εικόνα 45:Ισοδύναμη τάση Von Mises.....	63
Εικόνα 46: Μέγιστη διατμητική τάση.....	63
Εικόνα 47: Συνολική μετατόπιση.....	64
Εικόνα 48:Ελαστική μεταμόρφωση.....	64
Εικόνα 49:Ισοδύναμη τάση Von Mises.....	64
Εικόνα 50: Συνολική μετατόπιση.....	65
Εικόνα 51: Ελαστική μεταμόρφωση.....	65
Εικόνα 52: Ισοδύναμη τάση Von Mises.....	66
Εικόνα 53: Συνολική μετατόπιση.....	66
Εικόνα 54: Ελαστική μεταμόρφωση.....	66
Εικόνα 55: Ισοδύναμη τάση Von Mises.....	67
Εικόνα 56: Συνολική μετατόπιση.....	67

Εικόνα 57: Ελαστική μεταμόρφωση.....	68
Εικόνα 58: Ισοδύναμη τάση Von Mises .....	68

## Κεφάλαιο 1

### Τύποι ελαστικών

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ελαστικών, αυτοί που είναι κατασκευασμένοι από μέταλλο και εκείνοι από καουτσούκ. Σε εφαρμογές σιδηροδρόμου, όπου η κίνηση πραγματοποιείται σε ατσάλινες ράγες που χαρίζουν μια ομαλή διαδρομή. Η επιλογή αυτή έχει σκοπό να μειώσει την αντίσταση κύλισης. Το μεταλλικό αυτό ελαστικό είναι βασικά ένα επίπεδο στεφάνι τοποθετημένο με σφιχτή εφαρμογή γύρω από την εξωτερική επιφάνεια του τροχού. Εκτός από τη χαμηλή αντίσταση κύλισης, τα άλλα χαρακτηριστικά του είναι αντοχή, αξιοπιστία και ο αργός ρυθμός φθοράς.

Από την άλλη πλευρά τα οχήματα που κινούνται ελεύθερα, όπως αυτοκίνητα, φορτηγά, λεωφορεία, ποδήλατα και αεροπλάνα χρειάζονται πρόσφυση ώστε να είναι εφικτή η αλλαγή πορείας σε στροφές, η ανάβαση σε δρόμους με απότομη κλίση, καθώς και η επιτάχυνση και η επιβράδυνση. Επομένως αυτά τα οχήματα χρησιμοποιούν ελαστικά προερχόμενα από καουτσούκ (φυσικής προέλευσης) ή από παράγωγα του πετρελαίου (συνθετικά ελαστικά) τα οποία παρέχουν τόσο υψηλή τριβή όσο και κάποια ικανότητα απορρόφησης των ανωμαλιών του οδοστρώματος όπως οι λακκούβες. Τα ελαστικά αυτά είναι δύο τύπων: (1) συμπαγή ελαστικά, στα οποία το ελαστικό τμήμα λειτουργεί για να μεταφέρει το φορτίο, να απορροφά τους κραδασμούς και να αντιστέκεται στην κοπή του πέλματος και την τριβή και (2) πνευματικά ελαστικά, στα το φορτίο και οι κραδασμοί που μεταφέρονται από κίνηση του οχήματος απορροφώνται κυρίως από το συμπιεσμένο αέρα που γεμίζει το ελαστικό. Τα πνευματικά ελαστικά χρησιμοποιούνται σχεδόν σε όλα τα οχήματα που κινούνται ελεύθερα λόγω της μεγαλύτερης ικανότητας απορρόφησης και άλλων πλεονεκτημάτων. Τα ελαστικά από συμπαγές καουτσούκ χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικά, σκαπτικά και αγροτικά οχημάτων καθώς και σε



στρατιωτικά οχήματα, εφαρμογές όπου τα ελαστικά ενδέχεται να κοπούν ή να τρυπηθούν.

## Συμπαγή ελαστικά

Ελαστικά από μασίφ καουτσούκ εισήχθησαν το 1881 στους τροχούς των αμαξών Hansom στο Λονδίνο. Παλαιότερα χρησιμοποιήθηκαν για πολλούς τύπους οχημάτων, αλλά τώρα εξαφανίστηκαν από αυτοκινητόδρομους λόγω της νομοθεσίας που απαγόρευε τη χρήση τους λόγω της φθοράς που προκαλούσαν στους δρόμους εκείνης της εποχής.

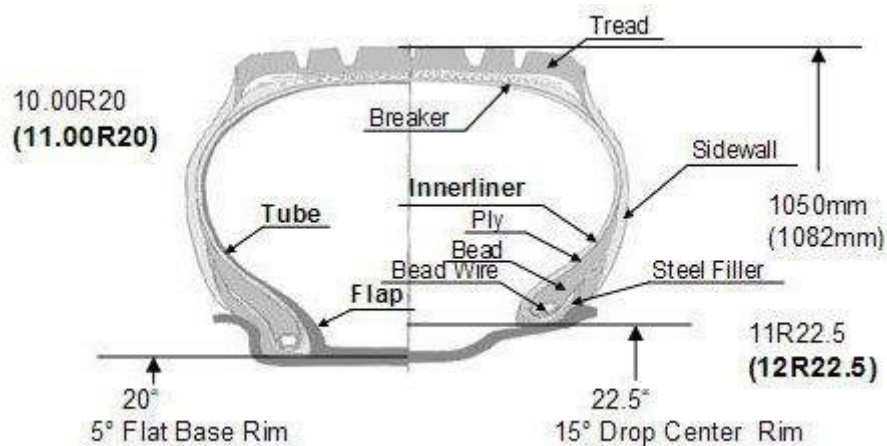


Εικόνα 1 : Άμαξα τύπου Hanson. Το πρώτο όχημα που χρησιμοποίησε φυσικά ελαστικά [1]

Στα μεγάλα μεγέθη ελαστικών των βαρέων οχημάτων αντικαταστάθηκαν από τα αντιστοιχα μεγάλα πνευματικά ελαστικά. Ωστόσο τα μικρά στερεά ελαστικά χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς σε βιομηχανικά οχήματα, τρακτέρ και σε καροτσια μεταφοράς. Τα στερεά ελαστικά προσκολλώνται συχνά απευθείας στον τροχό ή σε μια μεταλλική λωρίδα που εφαρμόζεται στην περιφέρεια του τροχού.

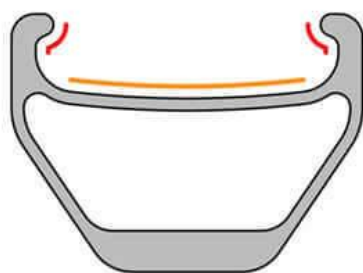
Το πνευματικό ελαστικό έχει σχεδιαστεί με μια αδιαπέραστη από τον αέρα επένδυση που τον περιέχει και συγκρατεί τον πεπιεσμένο αέρα στο εσωτερικό του. Αυτό το κάλυμμα διαθέτει ελαστικό τμήμα το επονομαζόμενο ως πέλμα που έχει σχεδιαστεί για να αντέχει ως ένα σημείο την κοπή και τη φθορά από την επαφή στο με το οδόστρωμα με σκοπό να επιτυγχάνεται η προστασία του ελαστικού από διάτρηση και απώλεια αέρα. Μια τέτοια δομή εξαρτάται εξ ολοκλήρου από τον πεπιεσμένο αέρα ώστε να μεταφέρει φορτίο ή να απορροφά τις ανωμαλίες του οδοστρώματος

Το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για πνευματικό ελαστικό εκδόθηκε στον Ρόμπερτ Γουίλιαμ Τόμσον [2] στην Αγγλία το 1845 για ένα ελαστικό από δέρμα γεμάτο αέρα. Αν και ένα σετ των "Aerial Wheels" της Thomson έτρεξε για 1.200 μίλια σε ένα αγγλικό αγώνα ποδηλασίας, τα ελαστικά στερεού τύπου του ίδιου εφευρέτη ήταν πιο δημοφιλή. και έτσι, για σχεδόν μισό αιώνα, τα πνευματικά ελαστικά αέρα ξεχάστηκαν. Η αυξανόμενη δημοτικότητα των ποδηλάτων στα τέλη του 19ου αιώνα αναβίωσε το ενδιαφέρον για το σχεδιασμό ελαστικών και το 1888 John Boyd Dunlop, απέκτησε διπλώματα ευρεσιτεχνίας σε ένα ελαστικό για ποδήλατα. Πνευματικά ελαστικά εφαρμόστηκαν για πρώτη φορά σε μηχανοκίνητα οχήματα από τον Γάλλο κατασκευαστή Michelin. Για περισσότερα από 60 χρόνια, τα πνευματικά ελαστικά είχαν σαμπρέλες για να περιέχουν τον πεπιεσμένο αέρα και τα εξωτερικά περιβλήματα για την προστασία σαμπρελών και την πρόσφυση του οχήματος. Στη δεκαετία του 1950, ωστόσο, τα ελαστικά χωρίς σαμπέλς που ενισχύονταν από εναλλασσόμενα στρώματα ή στρώματα από σύρματα έγιναν στάνταρ εξοπλισμός στα νέα αυτοκίνητα. Εκείνη τη δεκαετία, η Michelin παρουσίασε το ελαστικό radial-ply, το οποίο είναι πλέον στάνταρ για όλα τα αυτοκίνητα στις ανεπτυγμένες χώρες.



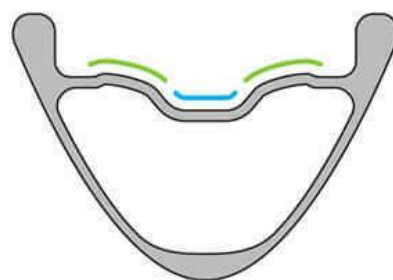
## Εικόνα 2: Σύγκριση ελαστικού με σαμπέλα και χωρίς

Τα πνευματικά ελαστικά συγκρατούνται συνήθως στον τροχό μέσω της χρήσης στεφανών από σύρμα που διαμορφώνονται στις άκρες των ελαστικών που εφάπτονται στην ζάντα του αυτοκινήτου. Τα άκρα των ελαστικών τοποθετούνται σε ένα διαμορφωμένο τοίχωμα στην περιφέρεια της ζάντας του τροχού και συγκρατούνται σταθερά στα άκρα αυτά από την πίεση που ασκείται μόλις το ελαστικό διογκωθεί με αέρα.



### **Non-Tubeless Rim**

- Hooked bead seat
- No shoulder
- No trough



### **Tubeless ENVE Rim**

- Hookless bead seat
- Shoulder for seal
- Trough for install

Εικόνα 3: Σύγκριση ζάντας για ελαστικό με σαμπρέλα (δεξιά) και χωρίς σαμπρέλα (αριστερά). Σε κάθε περίπτωση φαίνεται η διαμόρφωση της ζάντας ανάλογα με τον τύπο ελαστικού. [4]

Οι πιέσεις κυμαίνονται από περίπου 200 kilopascals για μεγάλα, μαλακά ελαστικά έως περίπου 700 kilopascals για εφαρμογές υψηλής πίεσης και μεγάλου φορτίου. Η πίεση ασκείται από στρώματα συρμάτων που είναι ενσωματωμένα σε ένα ελαστικό που με τη σειρά του χρησιμεύει για να συγκρατήσει τον αέρα, να προστατεύσει το σκελετό του ελαστικού και να παρέχει υψηλή τριβή με το έδαφος. Αυτός ο συνδυασμός είναι ο λόγος για τον οποίο τα ελαστικά πεπιεσμένου αέρα χρησιμοποιούνται ευρέως. Περισσότερα από 200 εκατομμύρια από αυτά κατασκευάζονται μόνο για μηχανοκίνητα οχήματα κάθε χρόνο, 90% για αυτοκίνητα και 10% για φορτηγά.

Τα ελαστικά πεπιεσμένου αέρα έχουν σχεδιαστεί για να επιτυγχάνουν πέντε βασικούς στόχους: χαμηλή αντίσταση κύλισης, χαμηλή κατακόρυφη ακαμψία (για απορρόφηση

της ανωμαλιών του οδοστρώματος), υψηλή τριβή ολίσθησης σε υγρές και ξηρές συνθήκες, υψηλή διαμήκη και πλευρική ακαμψία και αντοχή στη φθορά και ζημιές όπως κοπή, διάτρηση και γδάρισμα. Για την επίτευξη αυτών των στόχων, οι σχεδιαστές ελαστικών πρέπει να επιλέξουν κατάλληλους συνδυασμούς υλικών και κατασκευών, όπως εκείνοι που περιγράφονται παρακάτω.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, περίπου το 60% των ατόμων και των φορτίων μεταφέρονται με οχήματα που κινούνται με ελαστικά. Το πνευματικό ελαστικό παίζει όλο και πιο σημαντικό ρόλο στη ζωή του ανθρώπου. Ωστόσο, αυτή η κατάσταση επιτυγχάνεται λόγω της εξέλιξης των ελαστικών για περισσότερα από εκατό χρόνια από την αρχική εφεύρεση του πνευματικού ελαστικού από τον John Boyd Dunlop γύρω στο 1888. Η κατασκευή τους παρέχει άνετη οδήγηση και προβλέψιμη συμπεριφορά του οχήματος. Με την αυξανόμενη ζήτηση για το πνευματικό ελαστικό, έχουν γίνει πολλές βελτιώσεις με βάση την αρχική αντίληψη, όπως ο σκελετός ενίσχυσης ο βουλκανισμός, τα υλικά και η εισαγωγή του ελαστικού χωρίς σαμπρέλα κ.λπ.

Το ελαστικό απαιτείται να εκτελεί πολλαπλές λειτουργίες, όπως να παρέχει επίσης την επιθυμητή πέδηση / πρόσφυση και πλευρική δύναμη για το σύστημα ελέγχου του οχήματος. Επιπλέον, οι ανησυχίες σχετικά με τη σχέση μεταξύ ελαστικών και ανθρώπων και του περιβάλλοντος δημιουργούν υψηλότερες απαιτήσεις για την ανάπτυξη της τεχνολογίας ελαστικών. Τέτοιες είναι τα τροχαία ατυχήματα που προκαλούνται από αστοχία ελαστικών, η σπατάλη καυσίμου λόγω λανθασμένων πιέσεων των ελαστικών, η ρύπανση μέσω εκπομπών επιβλαβών ενώσεων κατά την κατασκευή των ελαστικών κ.λπ.

Παρά τις επιπτώσεις των ελαστικών στο περιβάλλον, το ζήτημα της ασφάλειας των οχημάτων υπήρξε πάντοτε σημαντικό για το αγοραστικό κοινό. Τα ελαστικά αποτελούν το σύνδεσμο μεταξύ του δρόμου και του οχήματος επομένως καθορίζουν την δυναμική συμπεριφορά του οχήματος. Η ενσωμάτωση έξυπνης τεχνολογίας στο ελαστικό θα μπορούσε να συμβάλει σημαντικά στην πρόβλεψη και την πρόληψη ατυχημάτων και, συνεπώς, να ενισχύσει τον σημαντικό ρόλο του ελαστικού στη βελτίωση της ασφάλειας των οχημάτων. Η απαίτηση είναι για ένα «έξυπνο ελαστικό» που ενσωματώνει ένα σύστημα ικανό να αισθανθεί την κατάσταση του, τις συνθήκες εργασίας και τις οδικές του συνθήκες και, στη συνέχεια, να συνεργαστεί με το σύστημα ελέγχου δυναμικής του οχήματος για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του οχήματος

καθώς και για την παροχή προειδοποιητικών πληροφοριών στον οδηγό όπως η χαμηλή πίεση του ελαστικού ή η φθορά του.

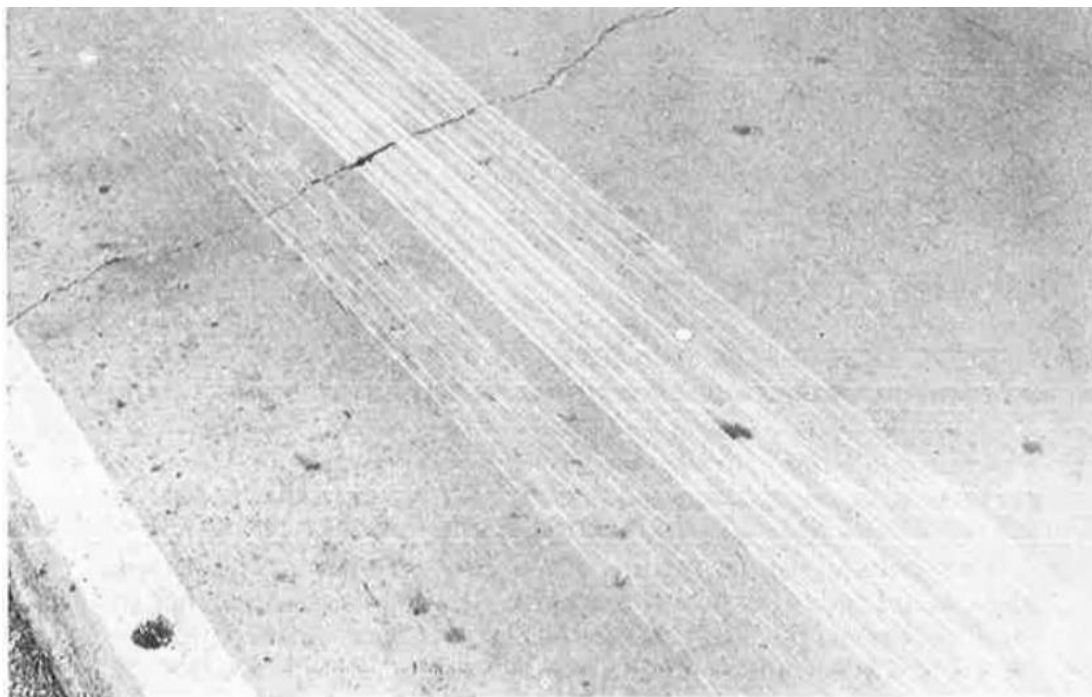
Ωστόσο, η υλοποίηση της τεχνολογίας των «έξυπνων ελαστικών» είναι μια σταδιακή διαδικασία. Το 2002, η κυβέρνηση των ΗΠΑ εξέδωσε το νόμο για το πέλμα των ελαστικών για να απαιτήσει την εγκατάσταση του συστήματος παρακολούθησης πίεσης ελαστικών σε ελαστικά προκειμένου να παρέχει προειδοποίηση στον οδηγό εάν η πίεση στο ελαστικό είναι σημαντικά χαμηλή. Το 2012, το συγκεκριμένο έγινε υποχρεωτικό στην Ευρωπαϊκή Ένωση για τη βελτίωση της ασφάλειας των οχημάτων και τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Ως εκ τούτου, το ελαστικό χρησιμοποιείται ως αισθητήρας για το ενεργό σύστημα ασφαλείας του οχήματος. Παρ' όλα αυτά, η ανάπτυξη της έξυπνης τεχνολογίας ελαστικών βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο, καθώς μόνο το σύστημα ελέγχου πίεσης έχει διατεθεί μέχρι τώρα στο εμπόριο. Η τεράστια δυνητική αγορά έξυπνης τεχνολογίας ελαστικών έχει αντλήσει σημαντικές επενδύσεις από διαφορετικές εταιρείες ελαστικών.

## Προδιαγραφές ελαστικών

Τα ελαστικά που κατασκευάζονται σύμφωνα με τα πρότυπα της Βόρειας Αμερικής και της Ευρώπης φέρουν έναν κωδικό που δείχνει το μέγεθός τους και την αναμενόμενη απόδοση. Στο αμερικανικό σύστημα "P-metric", το μέγεθος των ελαστικών υποδεικνύεται, για παράδειγμα, με τον κωδικό P215 / 70R15, όπου το γράμμα P δηλώνει ένα ελαστικό επιβατικού οχήματος το 215 δηλώνει το πλάτος του ελαστικού σε χιλιοστά. Το 70 υποδηλώνει την αναλογία διαστάσεων, δηλαδή την αναλογία του ύψους του ελαστικού από το χείλος προς το πέλμα, σε σχέση με το πλάτος του. Το R 15 είναι διάμετρος της ζάντας σε ίντσες που θα τοποθετηθεί το συγκεκριμένο ελαστικό. Εκτός από το μέγεθος, μια βαθμολογία ταχύτητας δίνεται χρησιμοποιώντας έναν κωδικό γραμμάτων: S για μέγιστη ταχύτητα 180 km/h, T για 190 km/h H για 209 km/h V για 240 km/h και Z για περισσότερο από 240km/h. Δίνεται βαθμολογία φθοράς πέλματος για την αναμενόμενη διάρκεια ζωής του πέλματος ως ποσοστό αυτής για ένα τυπικό ελαστικό. Για παράδειγμα, η βαθμολογία 300 συνεπάγεται διάρκεια ζωής πέλματος τρεις φορές μεγαλύτερη από αυτή του ελαστικού αναφοράς.

## Ελαστικά χιονιού

Τα ελαστικά χιονιού έχουν πολύ βαθύ πέλμα για καλύτερη πρόσφυση στο χιόνι και τον πάγο. Θεωρητικά έχουν 50 τοις εκατό περισσότερη ικανότητα έλξης από τα καλοκαιρινά ελαστικά σε οδόστρωμα γεμάτο χιόνι και σχεδόν 30 τοις εκατό περισσότερο σε έντονο πάγο. Ωστόσο, για την ακινητοποίηση στον πάγο, τα ελαστικά χιονιού δεν έχουν κανένα πλεονέκτημα έναντι των κανονικών ελαστικών. Οι αντιολισθητικές αλυσίδες ελαστικών ή τα ελαστικά με καρφιά είναι τα καλύτερα για επιφάνειες πάγου. Τα τελευταία έχουν συνήθως περίπου 100 καρφιά από καρβίδιο του βολφραμίου που έρχονται σε επαφή με το δρόμο καθώς περιστρέφεται το ελαστικό. Λόγω της ζημιάς που λέγεται ότι προκαλούν οδικές επιφάνειες, απαγορεύονται σε ορισμένες περιοχές.[5]



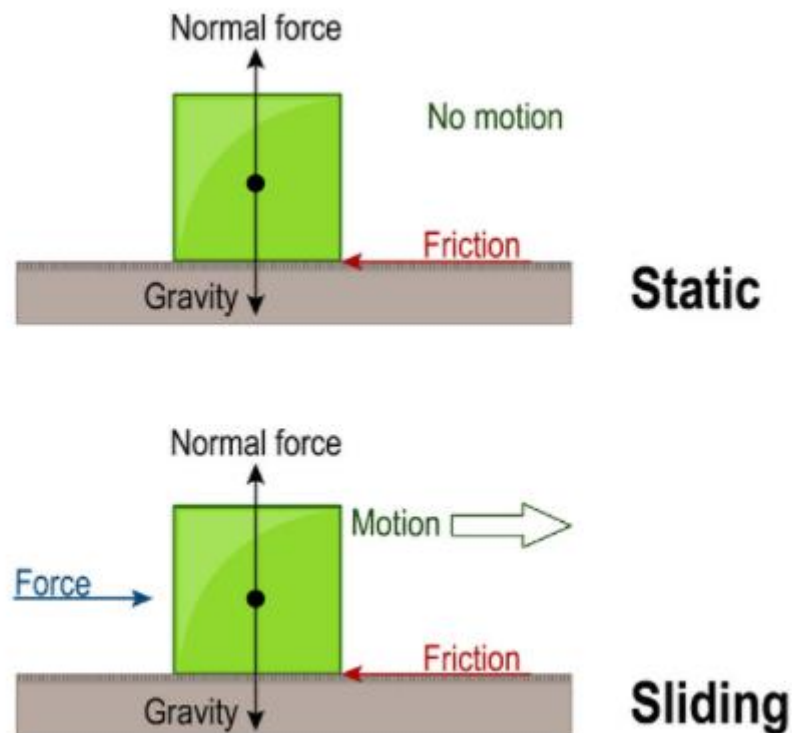
Εικόνα 4: Φθορά οδοστρώματος από ελαστικά με καρφιά εξαιτίας φρεναρίσματος εκτακτου ανάγκης. [5]

## Ο ορισμός της πρόσφυσης

Πριν εξετάσουμε σε βάθος το ελαστικό, εξηγούμε πώς είναι η κοινή αντίληψη της πρόσφυσης. Για να εξηγήσουμε την έννοια της πρόσφυσης εξετάζουμε ποιες καταστάσεις και πώς χρησιμοποιείται ο όρος σε καθημερινές καταστάσεις. Η γενική αντίληψη της καλής πρόσφυσης, είναι όταν δύο αντικείμενα με δυνάμεις παράλληλες στην περιοχή επαφής τους, δεν κινούνται το ένα σε σχέση με το άλλο. Αυτό πραγματοποιείται λόγω της δύναμη τριβής. Διαχωρίζουμε τη πρόσφυση ή το κράτημα όπως πολλές φορές αναφέρεται σε τρεις κατηγορίες χωρίς τριβή, με τριβή ολίσθησης και χωρίς καθόλου ολίσθηση. Στην περίπτωση της τριβής ολίσθησης υπάρχει κίνηση μεταξύ των 2 επιφανειών αλλά η δύναμη τριβής λειτουργεί ενάντια στην κατεύθυνση της κίνησης. Αυτή η δύναμη τριβής θα περιορίσει την ταχύτητα μετατρέποντας την κινητική ενέργεια σε θερμική ενέργεια θερμαίνοντας την επιφάνεια επαφής των 2 επιφανειών. Η πρόσφυση χωρίς καθόλου ολίσθηση πραγματοποιείται εκεί όπου υπάρχει αρκετή δύναμη τριβής για να αποτρέψετε οποιαδήποτε κίνηση μεταξύ των δύο αντικειμένων δηλαδή στη περίπτωση της στατικής τριβής. Αυτό σημαίνει ότι η δύναμη τριβής είναι μεγαλύτερη από τη δύναμη που προσπαθεί να μετακινήσει το αντικείμενο.

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα παράδειγμα για να κατανοήσουμε καλύτερα την πρόσφυση και την φυσική της πιέζοντας ένα κουτί. Το κουτί έχει πρόσφυση χωρίς ολίσθηση όταν δεν μπορεί να ξεκινήσει και έχει τριβή ολίσθησης όταν μπορεί να μετακινηθεί ασκώντας του μια πλευρική δύναμη. Τώρα μπορούμε να ρίξουμε μια πιο προσεκτική ματιά στο κουτί όταν μπορεί να κινείται. Ο λόγος για να συμβεί αυτό είναι ότι η δύναμη ώθησης υπερβαίνει τη δύναμη τριβής μεταξύ του κουτιού και του εδάφους. Αυτή η δύναμη τριβής είναι η αντίσταση των δύο επιφανειών στη σχετική κίνηση, η οποία μπορεί να έχει τη μορφή κύλισης ή σε αυτήν την περίπτωση ολίσθησης. Έχοντας υψηλή αντίσταση κατά της ολίσθησης, έχουμε καλό κράτημα. Στην εικόνα 5 στο πρώτο σχήμα η δύναμη τριβής (Friction) υπερβαίνει τη δύναμη έλξης (Force) και ως εκ τούτου, το κουτί δεν θα κινείται ενώ στο δεύτερο σχήμα συμβαίνει ακριβώς το ανάποδο με αποτέλεσμα τη κίνηση του κουτιού.





Εικόνα 5: Οι περιπτώσεις της στατικής τριβής και της τριβής ολισθησης [6]

Υπάρχουν δύο παράγοντες που αλλάζουν το επίπεδο τριβής : ο συντελεστής τριβής επιφανείας  $\mu$  και η κανονική δύναμη (Normal force) που ασκείται από το επίπεδο έδρασης του κουτιού σε αυτό ως δύναμη αντίδρασης από το βάρος του κουτιού που ασκείται στο δάπεδο. Αυτό φαίνεται στον τύπο τριβής

$$f \text{ τριβής} = \mu \text{ συντελεστής τριβής} \cdot N \text{ κανονική δύναμη}$$

Ο συντελεστής τριβής επιφανείας είναι η ικανότητα πρόσφυσης επιφανειών μεταξύ τους. Για παράδειγμα, ένα μαλακό κομμάτι από καουτσούκ έχει υψηλότερο συντελεστή τριβής έναντι μιας μεταλλικής πλάκας από ότι έχει μια επαφή μετάλλου με μέταλλο. Για να το εφαρμόσουμε στο παράδειγμα με το κουτί, θα έχουμε υψηλότερο συντελεστή τριβής εάν η επιφάνεια επαφής είναι στεγνή, σε σύγκριση με χαμηλότερο συντελεστή τριβής εάν καλύφθηκε με γράσο ή άλλο ολισθηρό υγρό. Η άλλη παράμετρος για την αύξηση της πρόσφυσης είναι η αύξηση της κανονικής δύναμης (N). Η κανονική δύναμη αντισταθμίζει το βάρος του κουτιού. Εάν το αντικείμενο



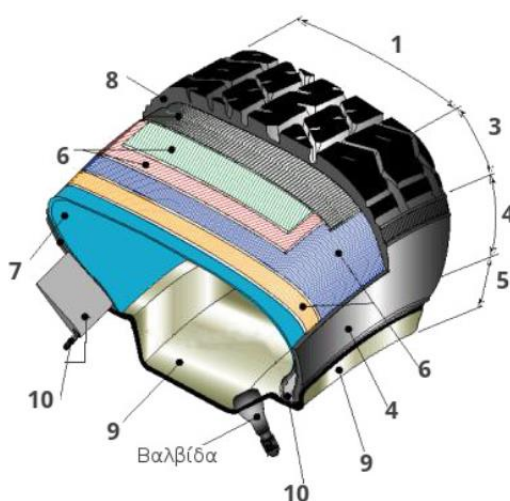
κάθεται σε επίπεδη επιφάνεια, η κανονική δύναμη θα είναι ίση με το βάρος που λειτουργεί κάθετα στην περιοχή επαφής των αντικειμένων. Εάν μια δύναμη που ασκείται στο πλάι του κουτιού το κάνει να κινείται, μπορείτε να εφαρμόσετε υψηλότερη κανονική δύναμη προσθέτοντας περισσότερο βάρος στο κουτί. Με αυτόν τον τρόπο αυξάνετε τη δύναμη τριβής μεταξύ του κουτιού και του εδάφους άρα και την αντίσταση των κουτιών για σχετική κίνηση.

## Κεφάλαιο 2

### Δομές ελαστικού

#### Ανατομία ελαστικών

Όλα τα συμβατικά ελαστικά αυτοκινήτων έχουν μια κοινή βασική γραμμή για τον τρόπο κατασκευής τους στις διάφορες εταιρείες κατασκευής ελαστικών. Κάθε εταιρεία πρέπει να ξεπεράσει τις ίδιες προκλήσεις όταν σχεδιάζει ένα ελαστικό. Τα ελαστικά προσπαθούν να επιτύχουν έναν συμβιβασμό μεταξύ του τι είναι κατάλληλο για τη διατήρηση επαρκούς επιπέδου πρόσφυσης στο δρόμο, δίνοντας παράλληλα στο αυτοκίνητο μια ασφαλή, προβλέψιμη και ευχάριστη διαδρομή. Πέρα από αυτό, το ελαστικό μπορεί να κατασκευαστεί ώστε να έχει διαφορετικές ικανότητες όπως μακροζωία, χαμηλή αντίσταση κύλισης, χαμηλή εκπομπή ήχου ή μέγιστη πρόσφυση υπό δεδομένες συνθήκες. Οι καταναλωτές γενικά ενδιαφέρονται να έχουν έναν αξιοπρεπές συνδυασμό όλων των αναφερόμενων χαρακτηριστικών. Τα διάφορα μέρη που απαρτίζουν τη δομή ενός ελαστικού έχουν τα δικά τους πλεονεκτήματα, αλλά επίσης συνεργάζονται για την παροχή ορισμένων χαρακτήρων ελαστικών, όπως π.χ. παροχή αντοχής για να διασφαλιστεί ότι η δομή του ελαστικού διατηρείται υπό πίεση και φορτίο.



Εικόνα 6 : Τα επιμέρους τμήματα που απαρτίζουν ένα ελαστικό [7]

## Τα μέρη ενός ελαστικού – Ορολογία

Τα εξαρτήματα του ελαστικού που αναφέρονται παρακάτω φαίνονται επίσης γραφικά στην εικόνα 7.

**Πέλμα (1):** Είναι το τμήμα του ελαστικού που έρχεται σε επαφή με το οδόστρωμα. Ανάλογα με τη γόμα (8) και το σχεδιασμό του προσφέρει κράτημα, απόσβεση κραδασμών, οικονομία στα καύσιμα και στο επίπεδο εξωτερικού θορύβου.

**Αυλάκωση (2):** Είναι οι βαθιές σχισμές στα τακούνια του πέλματος που βελτιώνουν το κράτημα επιτρέποντας στο ελαστικό να διαχέει το νερό και τη λάσπη. Οι μικρότερες αυλακώσεις στα τακούνια του πέλματος ονομάζονται περιφερειακές αυλακώσεις και παίζουν σημαντικό ρόλο στην πρόσφυση σε χιόνι και πάγο τους χειμερινούς μήνες.

**Ωμος (3):** Ο σχεδιασμός και η κατασκευή του παίζει σημαντικό ρόλο στο κράτημα του οχήματος στις στροφές. Είναι μια μικρή λοξή ακμή μεταξύ του πέλματος και του πλευρικού τοιχώματος.

**Πλευρικό τοίχωμα (4):** Παρέχει εγκάρσια σταθερότητα και αναγράφει τα χαρακτηριστικά του ελαστικού. Το πλευρικό τοίχωμα αναπτύσσεται από την έδραση έως το πέλμα και είναι κατασκευασμένο από πολύ χοντρό καουτσούκ.

**Εδράσεις (5):** Εξασφαλίζουν την αεροστεγανότητα μεταξύ της ζάντας (9) και του ελαστικού. Κατασκευάζονται από χαλύβδινο πλέγμα υψηλής αντοχής, το οποίο διαθέτει επικάλυψη από καουτσούκ.

**Ζώνη (6):** Παρέχουν ακαμψία και ενισχύουν την αντοχή του ελαστικού. Είναι υφασμένα φύλλα από χαλύβδινα σύρματα με επικάλυψη από καουτσούκ και είναι τοποθετημένα γύρω από το ελαστικό. Για επιπρόσθετη ανθεκτικότητα και βελτιωμένη αντίσταση στη διάτρηση, ορισμένα μοντέλα ελαστικών περιέχουν και ίνες κατασκευασμένες από Kevlar.

**Λινά (7):** Είναι τα στρώματα υφάσματος από τα οποία αποτελείται ο σκελετός του ελαστικού. Είναι κατασκευασμένα από ίνες πλεγμένες μεταξύ τους και επικαλυμμένες

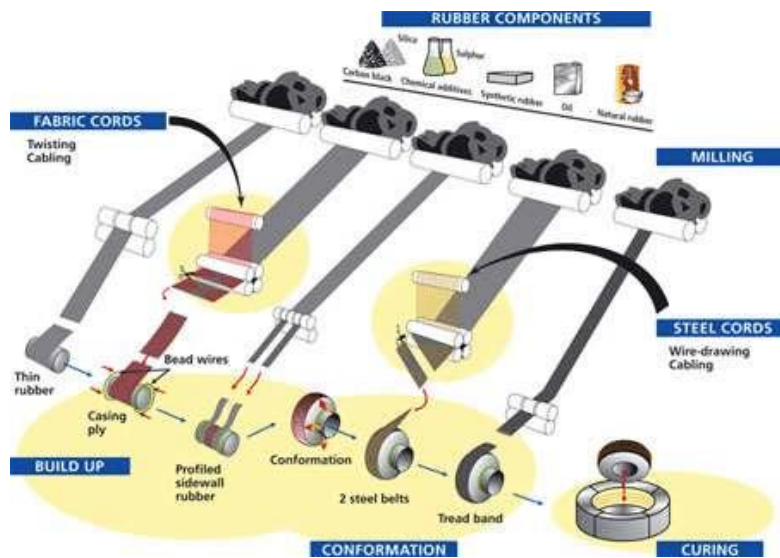
με καουτσούκ ώστε να επιτρέπουν στο ελαστικό να είναι εύκαμπτο χωρίς να αποκτά ελαστικότητα. Το υλικό που κάνει ανθεκτικό το ελαστικό είναι το στρώμα που ονομάζεται λινό σκελετού και απλώνεται κατευθείαν πάνω από την εσωτερική επένδυση του ελαστικού.

**Νεύρωση (10):** Πολλά ελαστικά διαθέτουν μια ενισχυμένη νεύρωση που διατρέχει το κέντρο τους για πρόσθετη αντοχή και ενίσχυση.

## Διαδικασία κατασκευής ελαστικού

### Κατασκευή

Η κατασκευή ενός ελαστικού περιλαμβάνει δυο στάδια: Αρχικά κατασκευάζεται ο σκελετός και στη συνέχεια τα ενισχυτικά λινά. Η συναρμολόγηση του σκελετού ξεκινάει από έναν περιστρεφόμενο κύλινδρο με ελαστικό κέντρο, που επιτρέπει τις άκρες του κυλίνδρου να ενωθούν. Ένα λεπτό στρώμα συνθετικού καουτσούκ απλώνεται στον κύλινδρο και πάνω του τοποθετείται ένα περίβλημα που περιέχει μια στρώση από λεπτά, παράλληλα νήματα για αντοχή. Η στρώση αυτή δεν επιτρέπει στο ελαστικό να παραμορφωθεί στις υψηλές ταχύτητες περιστροφής, αλλά είναι και αρκετά ελαστική, ώστε να απορροφά ανωμαλίες του δρόμου, όπως λακκούβες και σαμαράκια. Στη συνέχεια τοποθετούνται δυο στεφάνια από συρματόσχοινο ή kevlar και το περίβλημα διπλώνεται γύρω από αυτά. Τα στεφάνια πλέον είναι το σημείο που το ελαστικό «κλειδώνει» στη ζάντα. Πολλά στρώματα ακόμα, που μπορεί να είναι πάνω από 10, απλώνονται και ο σκελετός «φουσκώνεται» για να πάρει το κατάλληλο σχήμα. Έτσι ολοκληρώνεται το πρώτο στάδιο κατασκευής. Το δεύτερο στάδιο ξεκινά με την τοποθέτηση ενισχυτικών νημάτων από αραμίδιο ή kevlar, τα οποία συμβάλουν στη αντοχή και τη διατήρηση του σχήματος του σκελετού. Τα νήματα στρώνονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να σχηματίζονται τρίγωνα. Επιπλέον ενισχυτικά φύλλα τοποθετούνται πάνω από τις στρώσεις των νημάτων προσθέτοντας σταθερότητα και μηχανική αντοχή.



Εικόνα 7: Διαδικασία κατασκευής ελαστικών [8]

## Βουλκανισμός

Ο βουλκανισμός είναι η χημική επεξεργασία του καουτσούκ με θείο κατά την οποία όλα τα υλικά από καουτσούκ ενσωματώνονται με τα ενισχυτικά νήματα. Το ελαστικό τοποθετείται σε ένα καλούπι, όπου τυπώνονται οι διάφορες σημάνσεις και διαμορφώνεται το σχέδιο της χάραξης με τη βοήθεια καυτού νερού και ατμού. Η διαδικασία του βουλκανισμού είναι εντελώς αυτοματοποιημένη και γίνεται σε θερμοκρασίες μεταξύ 60 και 90 βαθμών Κελσίου, ενώ διαρκεί από 9 έως 15 λεπτά ανάλογα με το μέγεθος, το βάρος και τον τύπο του ελαστικού. [9]

## Ποιοτικός

## έλεγχος

Τα ελαστικά ελέγχονται σε κάθε στάδιο παραγωγής προκειμένου να διασφαλίζεται ότι πληρούνται όλα τα πρότυπα ποιότητας που έχει καθορίσει ο κατασκευαστής, αλλά και οι προδιαγραφές που ορίζονται βάση νομοθεσίας. Ο ποιοτικός έλεγχος γίνεται αμέσως μόλις το ελαστικό βγει από τη γραμμή παραγωγής. Αρχικά το ελαστικό ελέγχεται οπτικά, ενώ στο τελικό στάδιο οι μηχανικοί χρησιμοποιούν εξελιγμένα μηχανήματα προσομοίωσης, προκειμένου να διασφαλίσουν ότι κάθε ελαστικό λειτουργεί σωστά και είναι ασφαλές. Το ελαστικό πατά σε έναν κυλιόμενο διάδρομο και περιστρέφεται σε

ταχύτητες που θα αντιμετωπίσει κατά τη χρήση του. Ειδικά λέιζερ ελέγχουν την απόδοση του ελαστικού με και χωρίς φορτίο, προκειμένου να σιγουρευτούν ότι η κατασκευή έγινε με τον σωστό τρόπο. Αν κάποιο ελαστικό δεν πληροί τις απαραίτητες προδιαγραφές, σημαδεύεται και καταστρέφεται. [10]

## Σύγκριση χειμερινού καλοκαιρινού και ελαστικού όλων των εποχών

### Θερινά

### ελαστικά

Τα θερινά ελαστικά σχεδιάζονται για βέλτιστη απόδοση σε θερμοκρασίες πάνω από 7 °C. Αυτά τα ελαστικά συνήθως χρησιμοποιούν ένα μαλακό μείγμα καουτσούκ που παρέχει καλό κράτημα και χειρισμό τόσο σε στεγνό όσο και σε βρεγμένο δρόμο. Ωστόσο, αυτό το ίδιο μείγμα κάνει τα θερινά ελαστικά λιγότερο κατάλληλα σε χειμερινές καιρικές συνθήκες με θερμοκρασίες κάτω από 7 °C.

### Χειμερινά ελαστικά

Η νομοθεσία ορισμένων ευρωπαϊκών χωρών απαιτεί από τους οδηγούς να τοποθετούν χειμερινά ελαστικά. Ωστόσο, ακόμα και αν οι χειμώνες είναι ήπιοι, τα ελαστικά που είναι ειδικά σχεδιασμένα για ψυχρά κλίματα μπορούν να προσφέρουν μεγαλύτερη πρόσφυση και έλεγχο στις κρύες μέρες του χειμώνα. Προσφέρουν πιο ασφαλή οδήγηση σε θερμοκρασίες κάτω από τους 7 °C. Επιπλέον η απόδοση των χειμερινών σας ελαστικών βελτιώνεται όσο πέφτει η θερμοκρασία. Τα χειμερινά ελαστικά είναι κατασκευασμένα από υλικό με ειδική σύνθεση, με υψηλή περιεκτικότητα σε πυρίτιο, που καθιστά ευκολότερο τον έλεγχο του οχήματος σε κρύο οδόστρωμα, επιτυγχάνοντας καλύτερη εκκίνηση, ακινητοποίηση και αλλαγή πορείας από τα αντίστοιχα θερινά ελαστικά ή τα ελαστικά για όλες τις εποχές.

Αυτό επιτυγχάνεται διότι τα χειμερινά ελαστικά διαθέτουν φαρδιά τακούνια στο και επιπρόσθετα κοψίματα στο πέλμα που ονομάζονται "περιφερειακές αυλακώσεις", οι οποίες δίνουν επιπλέον κράτημα στους χειμερινούς δρόμους και απομακρύνουν το συσσωρευμένο χιόνι. Ορισμένα χειμερινά ελαστικά διαθέτουν καρφιά για ακόμα πιο ισχυρό κράτημα: αυτό είναι πολύ σημαντικό σε περιοχές όπου εμφανίζεται σκληρός πάγος καθ' όλη τη διάρκεια του χειμώνα.

## Ελαστικά για όλες τις εποχές

Τα ελαστικά για όλες τις εποχές προσφέρουν ένα συμβιβασμό μεταξύ της απόδοσης ειδικών θερινών και χειμερινών ελαστικών. Αποτελούν μια επιλογή για περιοχές με ήπιο χειμώνα (ελαφρά χιονόπτωση, με θερμοκρασίες να πέφτουν σπάνια κάτω από το μηδέν). Τα ελαστικά για όλες τις εποχές της οφείλουν να πληρούν υψηλά πρότυπα απόδοσης σε χειμερινές συνθήκες και φέρουν τις ίδιες ενδείξεις «M+S». Αυτό σημαίνει ότι είναι αποδεκτά για χειμερινή χρήση όπου τα χειμερινά ελαστικά απαιτούνται από το νόμο.



Εικόνα 8: Σύγκριση θερινών χειμερινών και όλων των εποχών.

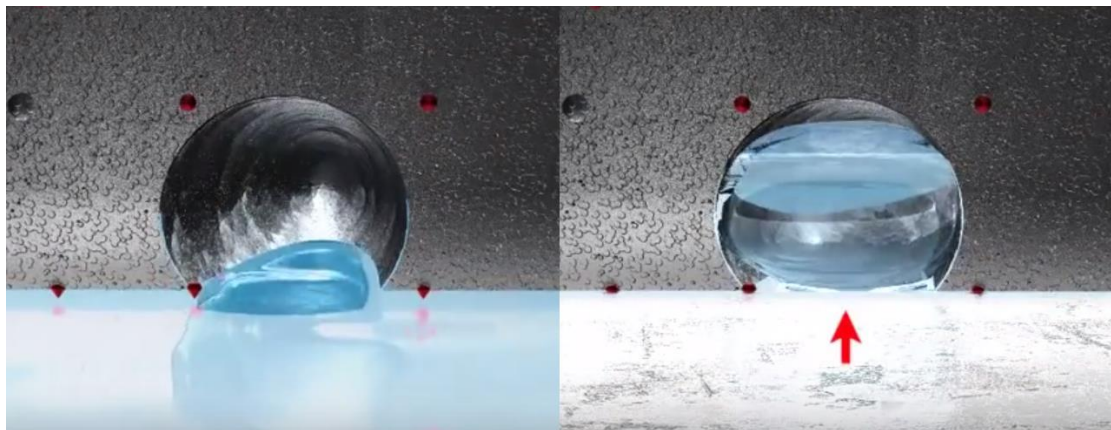
## Χαρακτηριστικά και ένωση καουτσούκ

Όπως προαναφέρθηκε η ελαστική σύνθεση είναι πιο μαλακή στα χειμερινά ελαστικά από τα καλοκαιρινά ελαστικά. Αυτό συμβαίνει επειδή κάθε ένωση έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί βέλτιστα σε ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασίας. Όταν η θερμοκρασία μειώνεται κάτω από μια συγκεκριμένη τιμή, που ορίζεται από την ένωση, το υλικό κατασκευής του ελαστικού φθάνει σε θερμοκρασία μετάβασης «γυαλιού» όπως ονομάζεται χαρακτηριστικά. Αυτό που συμβαίνει κάτω από αυτήν τη θερμοκρασία είναι ότι το υλικό κατασκευής σκληραίνει καθώς τα μόρια κινούνται λιγότερο γεγονός που προκαλεί μείωση του συντελεστή τριβής μειώνοντας τη πρόσφυση στο δρόμο και είναι ένας από τους κύριους λόγους για τους οποίους τα καλοκαιρινά ελαστικά λειτουργούν άσχημα σε χειμερινές συνθήκες ψύχους. Ένα πιο χειμερινό ελαστικό μπορεί να παραμορφωθεί ώστε να ταιριάζει καλύτερα με το δρόμο



σε σύγκριση με τα σκληρά καλοκαιρινά ελαστικά που είναι πιθανό να ακουμπούν πάνω στις μικρές ατέλειες του δρόμου. Κάθε ένωση έχει τη δική της θερμοκρασία μετάβασης γυαλιού, που φυσικά είναι χαμηλότερη για τα χειμερινά ελαστικά σε σύγκριση με τα θερινά ελαστικά. Για αυτό το λόγο συνιστάται γενικά να χρησιμοποιούνται τα χειμερινά ελαστικά σε θερμοκρασίες κάτω των 7 βαθμών Κελσίου λόγω αυτής της διαφοράς χαρακτηριστικών καουτσούκ σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Το υλικό κατασκευής των χειμερινών ελαστικών από ορισμένους κατασκευαστές περιλαμβάνει πόρους σε όλο το πάχος του ελαστικού. Αυτοί οι πόροι απορροφούν το φιλμ νερού που δημιουργείται στην επιφάνεια του δρόμου όταν το χιόνι λιώνει λόγω του ήλιου ή της πίεσης επαφής με το οδόστρωμα. Με την απορρόφηση αυτών των πόρων από το νερό, το πέλμα έχει καλύτερη επαφή με το δρόμο, μειώνοντας τις πιθανότητες υδρολίσθησης χαρίζοντας έτσι περισσότερη πρόσφυση. Στην εικόνα Δύο φωτογραφίες που τραβήχτηκαν από ένα βίντεο επίδειξης που έκανε η Bridgestone Tires, δείχνει πώς λειτουργούν αυτοί οι πόροι



Εικόνα 9: Ελαστικά με πόρους για την επιπλέον απομάκρυνση του νερού.[11]



## Κεφάλαιο 3

### Μηχανικές ιδιότητες ελαστικών

#### Εισαγωγή

Στο επόμενο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η σημασία των μηχανικών ιδιοτήτων για την εφαρμογή της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων στη διαδικασία δημιουργίας στατικής ανάλυσης ενός ελαστικού. Οι μηχανικές ιδιότητες των ελαστικών, συμπεριλαμβανομένης της παραμόρφωσης των ελαστικών, της δύναμης και της τριβής, εισάγονται πρώτα. Μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση της υπάρχουσας έξυπνης τεχνολογίας ελαστικών πραγματοποιείται για να δώσει καλύτερη εικόνα για τα πλεονεκτήματα των ελαστικών του μέλλοντος.

Ορισμένες διαφορετικές προοπτικές σχετικά με τα χαρακτηριστικά των ελαστικών έχουν μελετηθεί από πειράματα και προσομοιώσεις τις τελευταίες δεκαετίες. Ως αποτελεσματική προσέγγιση για την μοντελοποίηση ελαστικών λαμβάνονται υπόψη οι μηχανικές συμπεριφορές των ελαστικών ώστε να μπορούν να παρέχονται ακριβείς προβλέψεις σχετικά με τις συμπεριφορές των ελαστικών κάτω από ποικίλες οδικές συνθήκες [12]. Μοντέλα ελαστικών, λαμβάνονται υπόψη για τη διερεύνηση της δύναμης που ασκείται κατά τον διαμήκη άξονα και της πλευρικής δύναμης των ελαστικών. Η μοντελοποίηση της δυναμικής συμπεριφοράς των ελαστικών μπορεί να παρέχει καλύτερη κατανόηση της απόδοσης των ελαστικών για βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των ελαστικών και βελτίωση της δυναμικής του οχήματος. Πρόσφατα, με τις αυξανόμενες ανησυχίες για το ζήτημα της ασφάλειας των οχημάτων, απαιτείται ακριβής εκτίμηση και έλεγχος της συμπεριφοράς των ελαστικών για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη συστημάτων ενεργητικής ασφάλειας οχημάτων. Η έξυπνη τεχνολογία ελαστικών παρέχει μια εφικτή λύση σε αυτήν την απαίτηση. Ως οι κύριες εκφράσεις της συμπεριφοράς των ελαστικών, Η δύναμη που ασκούν τα ελαστικά στο οδοστρώμα και η τριβή των ελαστικών / δρόμου είναι δύσκολο να μετρηθούν, αλλά είναι δυνατόν να εκτιμηθούν με τις προκύπτουσες παραλλαγές άλλων μηχανικών ιδιοτήτων των ελαστικών, όπως η παραμόρφωση των ελαστικών.

Η έξυπνη τεχνολογία ελαστικών βρίσκεται ακόμη στα αρχικά στάδια ανάπτυξης και δεν έχουν υπάρξει δοκιμασμένα προϊόντα στην αγορά. Κατά συνέπεια, υπάρχει τεράστιο περιθώριο ανάπτυξης έξυπνων προϊόντων τεχνολογίας ελαστικών στην αγορά. Για την ανάπτυξη έξυπνης τεχνολογίας ελαστικών καθώς και για το ενεργό σύστημα ασφαλείας των οχημάτων ιδίως στα οχήματα αυτόνομης οδήγησης απαιτείται διεξοδική μελέτη της σχέσης μεταξύ της δύναμης των ελαστικών και των συνεπαγόμενων πολλαπλών παραλλαγών των υπόλοιπων μηχανικών ιδιοτήτων των ελαστικών μέσα από πειράματα και μοντελοποίηση [13]. Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζονται πρώτα οι κύριες μηχανικές ιδιότητες του πνευματικού ελαστικού, οι οποίες διερευνήθηκαν σε αυτή τη πτυχιακή εργασία. Περιλαμβάνουν την παραμόρφωση των ελαστικών, τις παράγουσες δυνάμεις και τη τριβή των ελαστικών / δρόμου.

## Μηχανικές ιδιότητες των ελαστικών

Το ελαστικό του οχήματος έχει τόσο περίπλοκη δομή και συμπεριφορά που είναι αδύνατο να καλυφθούν όλες οι θεματικές μηχανικές ιδιότητες του ελαστικού σε αυτήν την ενότητα. Προκειμένου να παρέχονται πληροφορίες για τα επόμενα κεφάλαια σχετικά με την ανάπτυξη έξυπνης τεχνολογίας, εξετάζονται εδώ οι σχετικές [14] και κυρίαρχες μηχανικές ιδιότητες των ελαστικών.

## Παραμόρφωση των ελαστικών

Τα ελαστικά μεταφέρουν διαφορετικά φορτία σε λειτουργία, συμπεριλαμβανομένης της πίεσης του αέρα που τα διογκώνει, εξωτερικά εφαρμοζόμενα και θερμικά φορτία. Λόγω της επίδρασης αυτών των φορτίων και της επαφής με το χείλος του τροχού και του δρόμου, το γεωμετρικό σχήμα του ελαστικού αλλάζει, γεγονός που σημειώθηκε ως παραμόρφωση. Αυτή η παραμόρφωση μπορεί να αναπαρασταθεί μετρώντας τη μετατόπιση επιλεγμένων σημείων στο ελαστικό. Η συγκεκριμένη σχέση μεταξύ μηχανικού φορτίου και μετατόπισης ελαστικών ορίζεται για να αντιπροσωπεύσει την ακαμψία της δομής των ελαστικών και την επίδραση της πίεσης πλήρωσης του ελαστικού. Ως αποτέλεσμα της παραμόρφωσης, αναπτύσσονται εσωτερικές τάσεις στην επιφάνεια και στη δομή του ελαστικού. Η μελέτη της συμπεριφοράς των

ελαστικών στα φορτία που του ασκούνται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει τη συμπεριφορά, την απόδοση και την αντοχή του ελαστικού [16].

### **Δυσκαμψία του ελαστικού κατά τον κατακόρυφο άξονα**

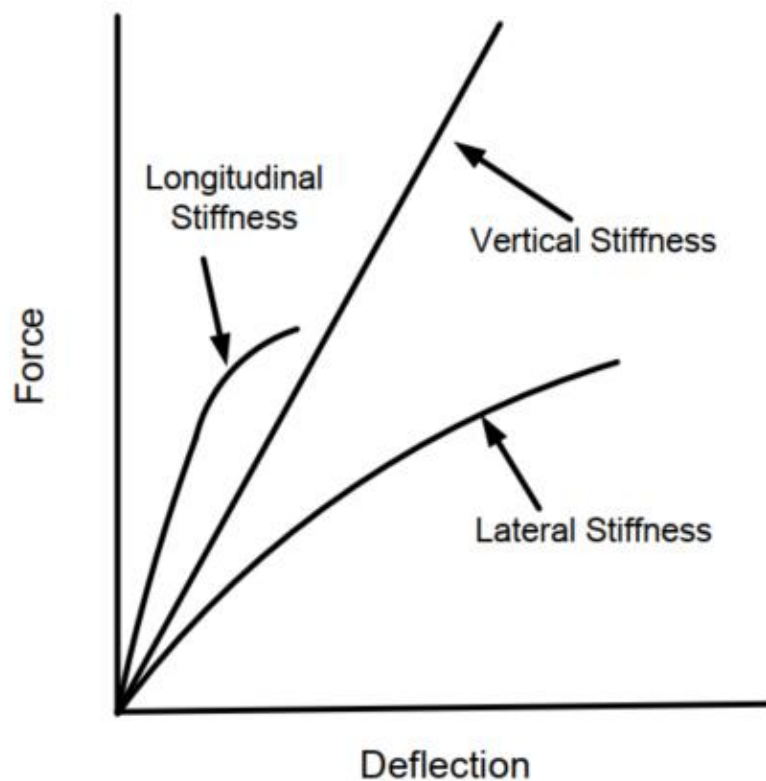
Η κατακόρυφη ακαμψία των ελαστικών ορίζεται ως ο λόγος της κατακόρυφης δύναμης των ελαστικών και της κάθετης παραμόρφωσης, που επηρεάζει τα χαρακτηριστικά κάθετης απορρόφησης των κραδασμών που υπόκειται το οχήματος επηρεάζοντας έτσι την οδική συμπεριφορά. Η στατική ακαμψία ενός μη κυλιόμενου ελαστικού μπορεί να μετρηθεί εφαρμόζοντας αργά την επιλεγμένη τιμή της κάθετης δύναμης και μετρώντας την παραμόρφωση, ή το αντίστροφο. Η δυναμική ακαμψία τόσο του ελαστικού όσο και του τροχαίου ελαστικού μπορεί να επιτευχθεί εφαρμόζοντας ημιτονοειδή διέγερση μικρού πλάτους στον άξονα του ελαστικού που καλύπτει ένα εύρος συχνοτήτων. Τόσο η κατακόρυφη στατική όσο και η δυναμική ακαμψία επηρεάζονται αναπόφευκτα από τον τύπο του ελαστικού, την πίεση διόγκωσης, το πλάτος της ζάντας κ.λπ.

### **Δυσκαμψία των ελαστικών κατά τον διαμήκη άξονα**

Η διαμήκης δυσκαμψία των ελαστικών ορίζεται συνήθως ως η αναλογία της διαμήκου δύναμης του ελαστικού και της διαμήκου παραμόρφωσης. Είναι σημαντικό για τη διερεύνηση της συνεχούς απορρόφησης των ανωμαλιών από την κίνηση του οχήματος στο δρόμο που θα προκαλέσουν ταλάντωση στα ελαστικά [13]. Η διαμήκης ακαμψία μετράται εφαρμόζοντας μια διαμήκη μετατόπιση ή περιστροφική γωνία στη ζάντα. Η τιμή μετατόπισης ή γωνίας είναι σχετικά μικρή πριν από την πλήρη ολίσθηση του ελαστικού. Στην περίπτωση περιστροφής, η διαμήκης ακαμψία είναι η διαμήκης δύναμη λόγω της γωνίας περιστροφής της ζάντας.

### **Πλευρική δυσκαμψία ελαστικών**

Η πλευρική ακαμψία των ελαστικών ορίζεται ως ο λόγος της πλευρικής δύναμης των ελαστικών και της πλευρικής παραμόρφωσης. Η πλευρική ακαμψία μετριέται για ελαστικό χωρίς κύλιση εφαρμόζοντας πλευρική μετατόπιση στο χείλος επαφής του ελαστικού με τη ζάντα. Η πλευρική δυσκαμψία των ελαστικών σχετίζεται με την ταλάντωση των ελαστικών σε πλευρικές παραμορφώσεις. Γενικά, ένα ελαστικό είναι πιο άκαμπτο κατά τη διαμήκη κατεύθυνση και λιγότερο άκαμπτο πλευρικά όπως

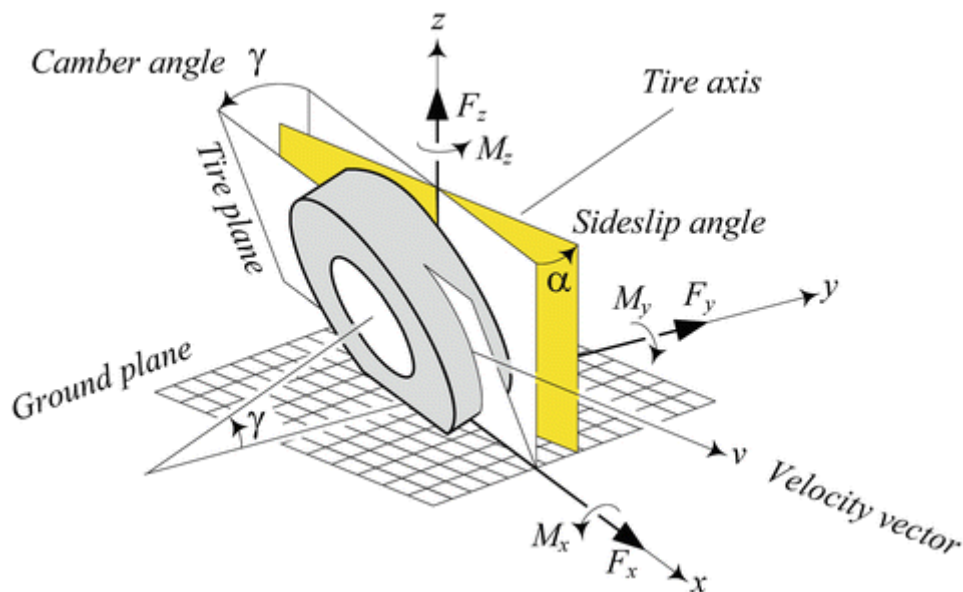


Διάγραμμα 1: Σύγκριση διαμήκου, κάθετης και πλευρικής δυσκαμψίας.[15]

## Τάσεις και παραμορφώσεις

Λόγω της πολυπλοκότητας της δομής και της των ιδιοτήτων των υλικών, οι τάσεις και οι παραμορφώσεις του ελαστικού του σε λειτουργία μπορούν να παρέχουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τη συμπεριφορά του ελαστικού του, ειδικά όταν αντιμετωπίζει ακραίες συνθήκες λειτουργίας όπως ψύχος, υψηλές θερμοκρασίες έντονους ρυθμούς οδήγησης κλπ. Η γνώση της κατανομής πίεσης και παραμορφώσεων του ελαστικού που αναπτύσσονται σε κρίσιμες περιοχές του ελαστικού, όπως στις περιοχές των ζωνών δηλαδή του συρμάτινου πλέγματος που αυξάνει την ακαμψία του ελαστικού και των σημείων έδρασης-επαφής της ζάντας με το ελαστικό, είναι σημαντική και ικανή να παρέχει καλή κατανόηση για την αποφυγή των αστοχιών κατά τη διάρκεια σχεδιασμού τους. Οι τάσεις και οι παραμορφώσεις των ελαστικών έχουν άμεση σχέση με τις συνθήκες λειτουργίας τους. Ωστόσο είναι πολύ δύσκολο να μοντελοποιηθούν ειδικά αυτές που προέρχονται από την εσωτερική εσωτερική πίεση. Επιπλέον, η επιλογή της

κατάλληλης μεθόδου για τη μελέτη των τάσεων και των παραμορφώσεων των ελαστικών υπήρξε κρίσιμο ζήτημα τις τελευταίες δεκαετίες.

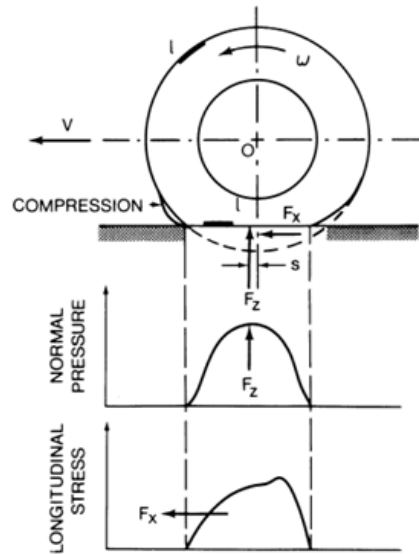


Εικόνα 10: Σύστημα Συντεταγμένων Ελαστικών σύμφωνα με το SAE [16]

. Ο έλεγχος της κάθετης δύναμης των ελαστικών μπορεί να βελτιώσει τα χαρακτηριστικά κάθετης ταλάντωσης του οχήματος και την οδηγική συμπεριφορά. Ο έλεγχος της πλευρικής δύναμης που ασκείται στο ελαστικών συνήθως ωφελεί τη σταθερότητα κατά τη διάρκεια μιας στροφή του οχήματος. Ένας βελτιστοποιημένος έλεγχος διαμήκου δύναμης ελαστικών μπορεί να βελτιώσει την πέδηση του οχήματος και να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου.

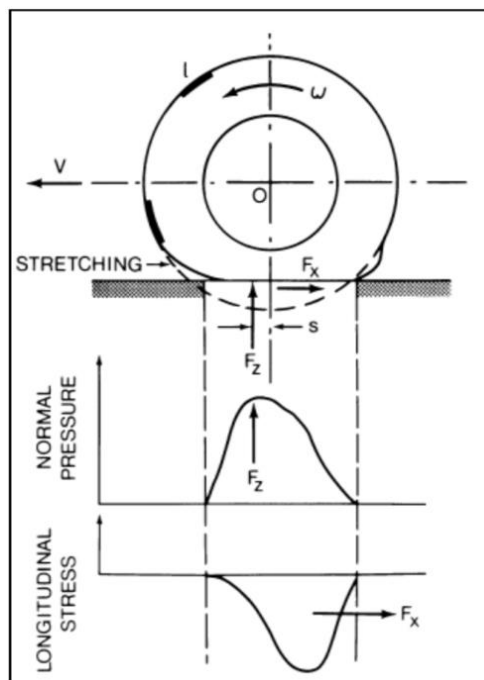
## Πρόσφυση και πέδηση

Οι ιδιότητες πρόσφυσης και πέδησης ενός ελαστικού σχετίζονται με τη παραμόρφωση του ελαστικού κατά το διαμήκη άξονα και την τριβή του ελαστικού / του δρόμου. Για το περιστρεφόμενο ελαστικό που έχει πρόσφυση, τα στοιχεία που απαρτίζουν το πέλμα είναι συμπιεσμένα προς τη φορά κίνησης του τροχού πριν ακουμπήσουν την περιοχή επαφής ελαστικού οδοστρώματος λόγω της διαμήκου τάσης διάτμησης (περιοχή compression στην εικόνα 11) .



Εικόνα 11: Συμπεριφορά ενός ελαστικού όταν έχει πρόσφυση [17][17]

Για το περιστρεφόμενο ελαστικό κατά το φρενάρισμα, λόγω των διαμηθικών τάσεων κατά το διαμήκη άξονα σε κατεύθυνση αντίθετη με τη φορά περιστροφής, τα στοιχεία που απαρτίζουν το πέλμα είναι συμπιεσμένα αντίθετα με τη φορά κίνησης του τροχού πριν ακουμπήσουν την περιοχή επαφής ελαστικού οδοστρώματος όπως φαίνεται στην Εικόνα 12.



Εικόνα 12: Συμπεριφορά ενός ελαστικού όταν έχει πρόσφυση [17]

Όταν τα ελαστικά κινούνται με μία γραμμική ταχύτητα υψηλότερη από την περιστροφική ταχύτητα γύρω από τον άξονά  $y$  προκύπτει επιβράδυνση διότι στην επιφάνεια επαφής ελαστικού με δρόμο το πέλμα του ελαστικού δημιουργεί και διατηρεί μία δύναμη τριβής που την ονομάζουμε δύναμη πέδησης. Αντίστοιχα η δύναμη πρόσφυσης δημιουργείται όταν το ελαστικό κινείται πιο αργά από την περιστροφική του ταχύτητα γύρω από τον άξονά  $y$ . Πιο απλά οι δυνάμεις πέδησης και πρόσφυσης που δημιουργούνται εξαιτίας της διαφοράς ανάμεσα στην γραμμική ταχύτητα και την ταχύτητα περιστροφής. Η διαφορά αυτή καθορίζεται σαν διαμήκη ολίσθηση και περιγράφονται σύμφωνα με την

$$\text{Εξίσωση 1 : } \kappa = \frac{r \omega}{V} - 1$$

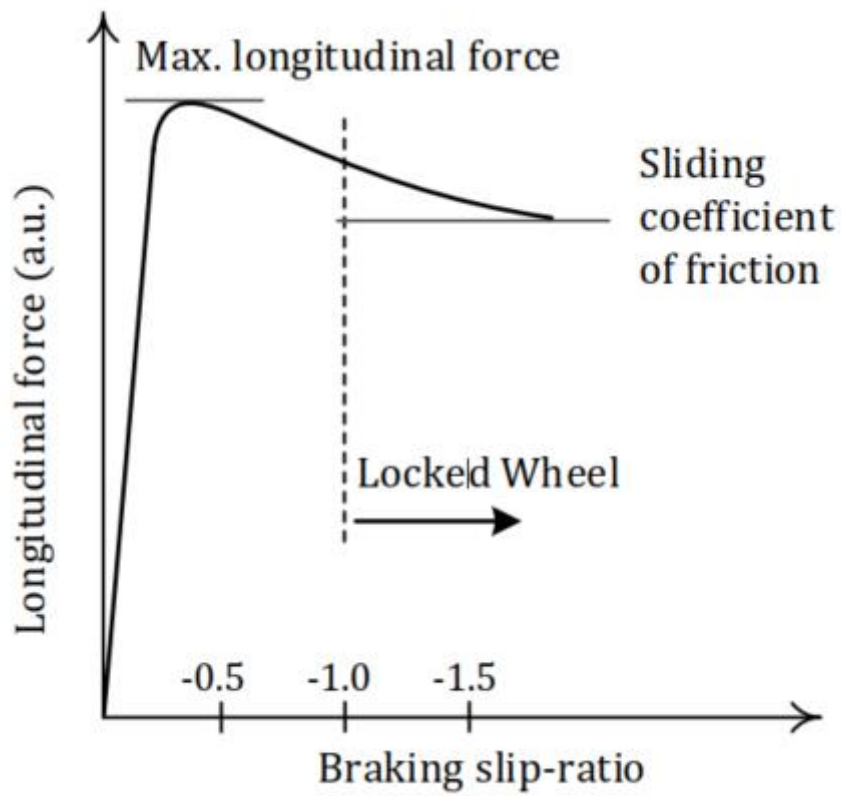
**όπου:**

$r$  είναι η ακτίνα περιστροφής του ελαστικού

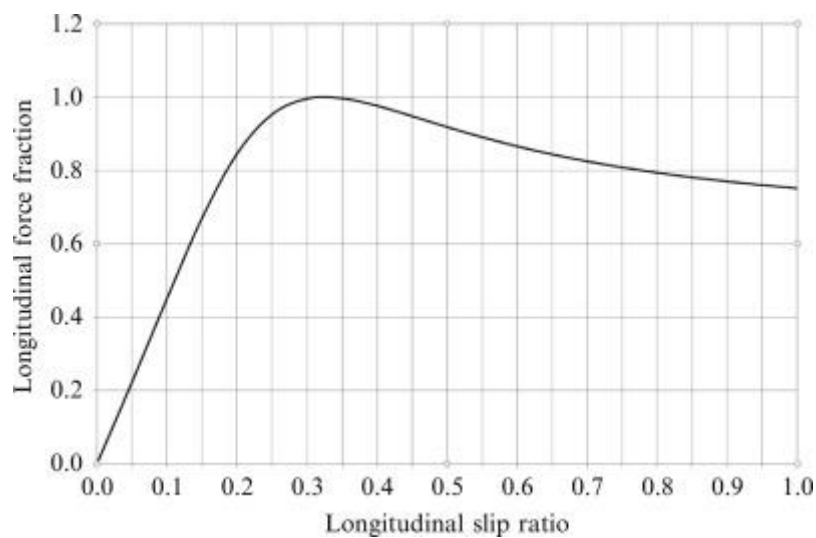
$\omega$  είναι η γωνιακή ταχύτητα του τροχού

$V$  είναι η γραμμική ταχύτητα

Όταν η διαμήκης ολίσθηση είναι ίση με το μηδέν η ταχύτητα κυλίσσης πολλαπλασιάζεται με την ακτίνα  $r$  και είναι ίση με τη γραμμική ταχύτητα του ελαστικού. Τότε λέμε πως το ελαστικό είναι κάτω από σταθερές συνθήκες (steady state). Όταν η διαμήκης ολίσθηση είναι αρνητική δηλαδή τα γινόμενο της ταχύτητας κύλισης του ελαστικού με την ακτίνα  $R$  είναι μικρότερο από τη γραμμική ταχύτητα τότε το ελαστικό είναι σε κατάσταση πέδησης. Όταν η διαμήκης ολίσθηση είναι θετική δηλαδή το γινόμενο της ταχύτητας περιστροφής με την ακτίνα  $r$  είναι μεγαλύτερο από την διαμήκη ταχύτητα τότε το ελαστικό βρίσκεται σε κατάσταση πρόσφυσης. Η δύναμη φρεναρίσματος και πρόσφυσης μπορεί να γραφτεί ως γραμμική ολίσθηση μπορεί να περιγράψει με τα διαγράμματα που ακολουθούν στις εικόνες



Διάγραμμα 2: Τυπική καμπύλη γραμμικής ολίσθησης σε κατάσταση πέδησης σε αυθαίρετες μονάδες (au) **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**





Διάγραμμα 3 : Τυπική καμπύλη γραμμικής ολίσθησης σε κατάσταση πρόσφυσης σε αυθαίρετες μονάδες (au) [19]

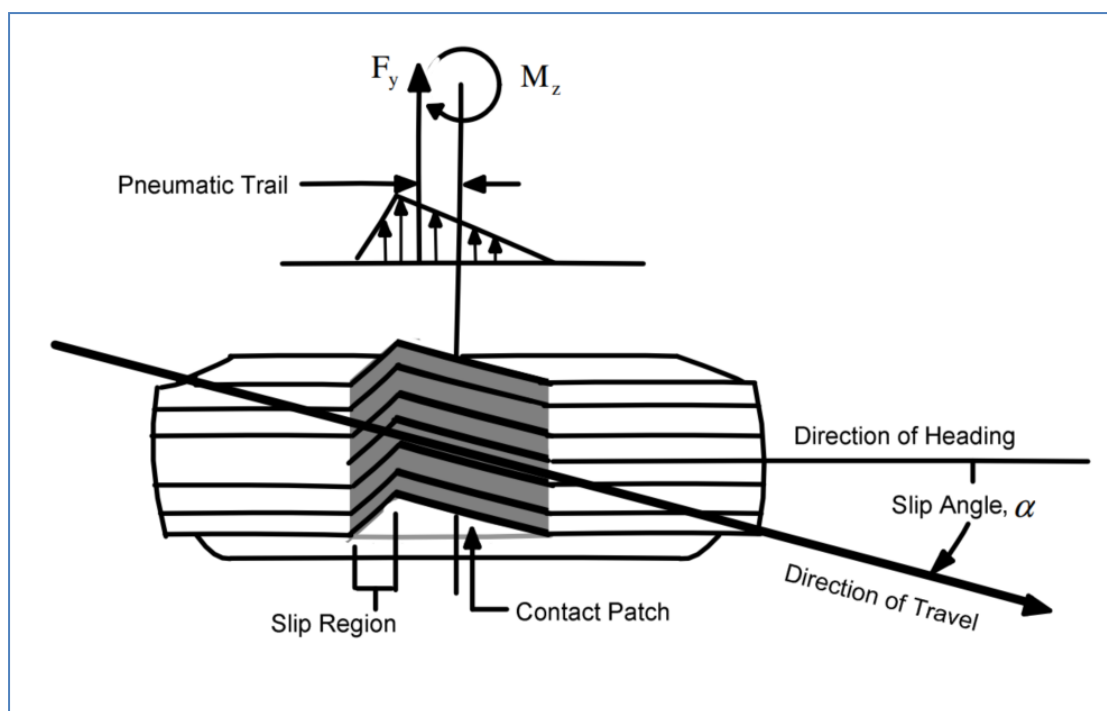
Έχει βρεθεί ότι η διαμήκης δύναμη αυξάνεται μαζί με την γραμμική ολίσθηση μέχρις ότου ο ρυθμός ολίσθησης να φτάσει γύρω στο 0,2. Ύστερα αυτός μειώνεται ταχύτατα και ο τροχός θα αρχίσει να μπλοκάρει κατά το φρενάρισμα. Αντίστοιχα κατά την επιτάχυνση θα αρχίσει να χάνει πρόσφυση όταν ο διαμήκης ρυθμός ολίσθησης είναι ίσος με -1 ή 1. Για να μπορέσει να αποφευχθεί το μπλοκάρισμα των τροχών κατά τη διαδικασία της πέδησης το σύστημα κατά του μπλοκαρίσματος των τροχών δηλαδή το γνωστό σε όλους μας ABS , έχει αναπτυχθεί ώστε να μας προσφέρει έλεγχο κατά την επιβράδυνση μιας και οι τροχοί δεν μπλοκάρουν αυξάνοντας έτσι την ασφάλεια του οχήματος. Το σύστημα ABS λειτουργεί ως εξής: τη στιγμή που οι τροχοί ξεκινούν να ολισθήσουν απελευθερώνει τα φρένα για ελάχιστο χρονικό διάστημα έτσι ώστε να αποφευχθεί η εμπλοκή τους και αμέσως μετά τα ενεργοποιεί ξανά έτσι ώστε να μπορέσει το όχημα να φρενάρει. Έτσι αποφεύγεται το μπλοκάρισμα των τροχών ενώ ταυτόχρονα αυτή η επαναλαμβανόμενη διαδικασία μπορεί να κρατήσει τη δύναμη πέδησης γύρω από την μέγιστη τιμή της βελτιστοποιώντας την αποτελεσματικότητα του συστήματος πέδησης.

Όπως έχει αναφερθεί η πρόσφυση των ελαστικών και η ικανότητα του φρεναρίσματος εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες όπως το κάθετο φορτίο, η πίεση του αέρα στο ελαστικό, η τριβή η οποία υπάρχει ανάμεσα στο οδόστρωμα και στο ελαστικό κτλ. Τα έξυπνα συστήματα ελαστικών μας δείχνουν πως η τεχνολογία μπορεί να αξιοποιήσει αυτές τις πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο με αποτέλεσμα να βελτιστοποιήσει τη δυναμική συμπεριφορά του οχήματος άρα και την πρόσφυση τόσο κατά την επιτάχυνση όσο και κατά τη διαδικασία της πέδησης.

## Χαρακτηριστικά κατά τη διαδικασία αλλαγής πορείας

Όταν ένα όχημα αλλάξει κατεύθυνση θα δημιουργηθεί μία κάθετη δύναμη ανάμεσα στην επιφάνεια επαφής ελαστικού οδοστρώματος. Αυτή η δύναμη οφείλεται κυρίως αλλαγή της γωνίας ολίσθησης του ελαστικού και της γωνίας camber κατά την διαδικασία της αλλαγής πορείας.

Το πέλμα του ελαστικού στην επιφάνεια επαφής παραμορφώνεται όπως και το πλαϊνό τοίχωμα του ελαστικού με το που υπάρξει η πλευρική ολίσθηση. Σε αυτή την περίπτωση η παραμόρφωση της επιφάνειας επαφής συνηθίζεται να αναπαριστά τη διαδικασία δημιουργίας της εγκάρσιας δύναμης εξαιτίας της γωνίας ολίσθησης  $\alpha$  όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.

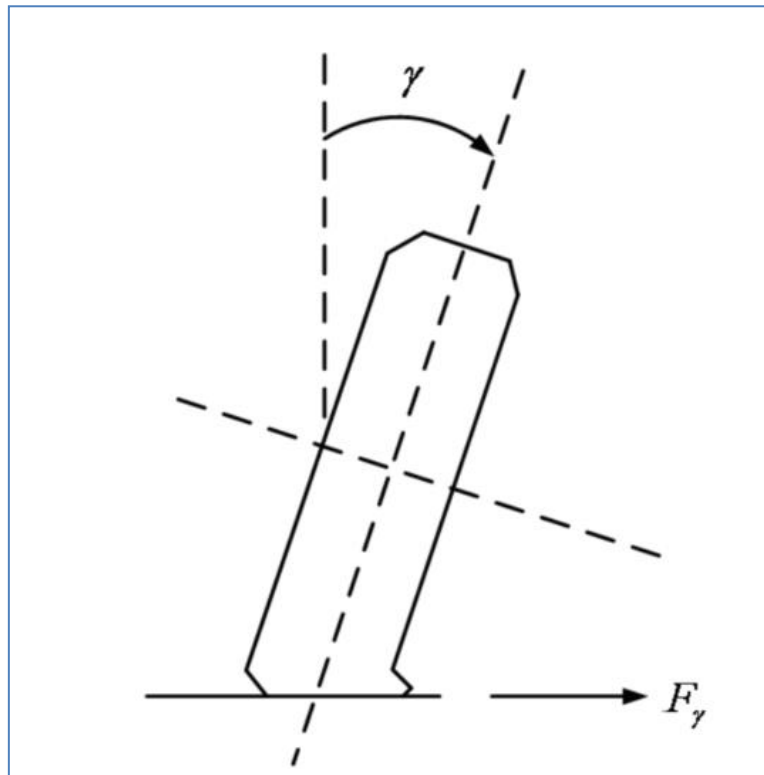


Εικόνα 13: Η παραμόρφωση ενός ελαστικού κατά τη διαδικασία εναλλαγής πορείας

Υπό την φόρτιση της εγκάρσιας ή πλευρικής δύναμης το πέλμα του ελαστικού που είναι σε περιστροφή υπόκειται σε δυο καταστάσεις τη κάθετη παραμόρφωση και τη κάθετη ολίσθηση. Τα μέρη ή στοιχεία του πέλματος τα οποία πρόκειται να αποτελέσουν την επιφάνεια επαφής, καθώς το ελαστικό περιστρέφεται, αυξάνουν την πλευρική τους παραμόρφωση τους με αποτέλεσμα να δημιουργούν ακόμα μεγαλύτερες διατμητικές τάσεις. Κατά την διαδικασία αυτή το άθροισμα των διατμητικών τάσεων στον εγκάρσιο άξονα είναι μικρότερο από την εγκάρσια δύναμη τριβής. Η δύναμη τριβής είναι αυτή που διατηρεί σταθερή την κατάσταση ισορροπίας δυνάμεων. Ωστόσο όταν το άθροισμα των διατμητικών τάσεων είναι μεγαλύτερο από την εγκάρσια δύναμη τριβής τα στοιχεία του πέλματος θα ολισθήσουν προς το πλάι οδηγώντας το όχημα σε αστάθεια κατά τη διαδικασία αλλαγής πορείας.

### Γωνία Camber

Η γωνία camber που συμβολίζεται με  $\gamma$  αποτελεί ένα άλλο παράγοντα που μπορεί να δημιουργήσει δύναμη για την αλλαγή πορείας. Ένα ελαστικό κατά που εκτελεί περιστροφική κίνηση έχοντας γωνία camber θα οδηγήσει σε παραμόρφωση του πέλματος και του σκελετού του ελαστικού δημιουργώντας μια εγκάρσια δύναμη που είναι γνωστή ως ώθηση λόγω camber. Το αποτέλεσμα είναι το ελαστικό να ακολουθήσει μια ελλειπτική πορεία λόγω της εγκάρσιας δύναμης που δημιουργεί η γωνία camber. Η δύναμη αυτή που συμβολίζεται με  $F_\gamma$  στην εικόνα που ακολουθεί έχει προσανατολισμό την κατεύθυνση που το ελαστικό είναι υπό κλίση όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 14: Εγκάρσια δύναμη που δημιουργείται λόγω της γωνίας camber.

Ο ρυθμός ανάμεσα στη γωνία camber και τη δύναμη που δημιουργείται από αυτή ονομάζεται δυσκαμψία camber  $C_\gamma$  και περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση

$$\text{Εξίσωση 2:} \quad C_\gamma = \left. \frac{\partial y F_\gamma}{\partial x \gamma} \right|_{\gamma = 0}$$

Όπου:

$\gamma$  είναι η γωνία camber

$F_\gamma$  είναι η εγκάρσια δύναμη που δημιουργείται από τη δύναμη camber

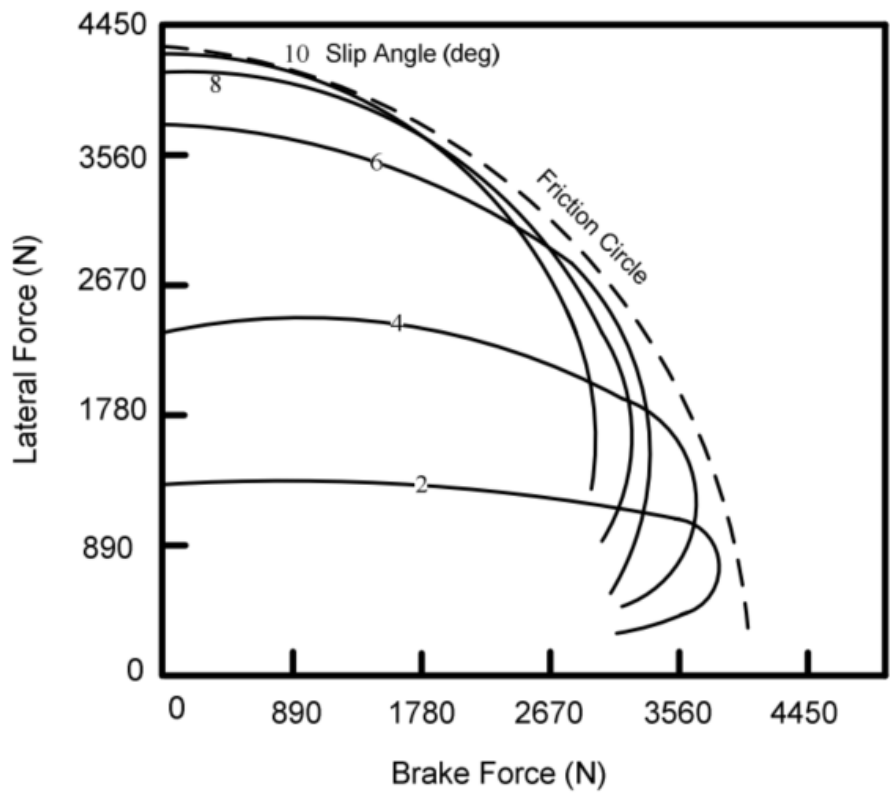
Γενικά είναι γνωστό ότι η γωνία camber επηρεάζει λιγότερο τη διαδικασία αλλαγής κατεύθυνσης από ότι η γωνία ολίσθησης. Ακόμη τα χαρακτηριστικά του ελαστικού

κατά τη διαδικασία του στριψίματος εξαρτώνται απ το τύπο ,το μέγεθος του ελαστικού το σχεδιασμό του πέλματος το πλάτος του κτλ. Συμπερασματικά η δύναμη που προκαλείται στο ελαστικό κατά τη διαδικασία αλλαγής κατεύθυνσης επηρεάζει σημαντικά τη σταθερότητα του οχήματος. Για αυτό το λόγο γίνεται προσπάθεια για την γνώση της σε πραγματικό μέσω των έξυπνων ελαστικών παράγοντας απαραίτητος για την ανάπτυξη των οχημάτων αυτόνομης οδήγησης.

## Τριβή ελαστικού οδοστρώματος

Η τριβή ελαστικών / δρόμων είναι στην πραγματικότητα ένας από τους κύριους παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για την πρόσφυση κατά την επιτάχυνση , το φρενάρισμα και την αλλαγή πορείας ενός οχήματος. Η τριβή των ελαστικών / οδοστρώματος γίνεται σημαντική για την λειτουργία του συστήματος ελέγχου δυναμικής του οχήματος. Η δύναμη πρόσφυσης / πέδησης κατά το διαμήκη άξονα και η πλευρική ή εγκάρσια δύναμη μπορούν να αυξηθούν μόνο στο όριο της εμφάνισης τριβής μεταξύ του ελαστικού και του δρόμου, αντίστοιχα.

Όσον αφορά το φαινόμενο της πρόσφυσης στην επιφάνεια εξαρτάται κυρίως από τις οδικές συνθήκες, π.χ. το στεγνό οδόστρωμα που δίνει μεγαλύτερη τριβή από το βρεγμένο . Η δύναμη της τριβής κατά μια περιστροφή δίνει το διάγραμμα της πλευρικής δύναμης έναντι της διαμήκου δύναμης για μια σειρά γωνιών ολίσθησης και λόγων ολίσθησης . Στο διάγραμμα που ακολουθεί εικονίζεται το ένα τέταρτο του συνολικού διαγράμματος, και δείχνει το ευρὸς των τιμών της πλευρικής δύναμης για διαφορετικές γωνίες ολίσθησης κατά την πέδηση [20].



Διάγραμμα 4: Διακύμανση της εγκάρσιας δύναμης για διαφορετικές γωνίες ολίσθησης υπό συνθήκες πέδησης [20].

## Κεφάλαιο 4

### Νέοι τύποι ελαστικών

#### Έξυπνα ελαστικά

Με τις νέες συνθήκες αυτόνομης οδήγησης οι οποίες θα εμφανιστούν στο οδικό δίκτυο υπάρχει ανάγκη για ελαστικά τα οποία με τη χρήση αισθητήρων θα μπορούν να μεταφέρουν δεδομένα όπως η πρόσφυση στον πάγο η υδρολίσθηση κλπ σε πραγματικό χρόνο ώστε να βελτιώσουν τη δυναμική συμπεριφορά του οχήματος. Ουσιαστικά πρόκειται να αντικαταστήσουν τον ανθρώπινο παράγοντα στην παρατήρηση της κατάστασης του οδοστρώματος. Τα νέα αυτά ελαστικά αναπτύσσονται με γοργούς ρυθμούς και αναμένονται να εμφανιστούν στην αγορά μέσα στα επόμενα πέντε χρόνια σύμφωνα με τις δηλώσεις των μεγάλων εταιρειών ελαστικών. Μέχρι τώρα η μόνη μορφή έξυπνου ελαστικού που υπάρχει είναι αυτή που προειδοποιεί τον οδηγό για την πίεση των ελαστικών[20].

Τα μελλοντικά έξυπνα ελαστικά θα μπορούν συνδυάσουν τη λειτουργία τους με άλλα συστήματα του οχήματος όπως το σύστημα πολυμέσων του οχήματος που μέσω ιντερνετ θα προετοιμάζει το όχημα για τις επικρατούσες συνθήκες οδήγησης. Επιπλέον τα έξυπνα ελαστικά θα είναι σε θέση να παρατηρούν πέρα από την πίεση του αέρα στο ελαστικό τη φθορά των ελαστικών και τη θερμοκρασία τους στο εσωτερικό τμήματος. Όπως έχει αναφερθεί πιο πριν η θερμοκρασία του ελαστικού επηρεάζει την απόδοση του κάνοντας επιτακτική τη χρήση του κατάλληλου τύπου ελαστικών ανάλογα με τις εποχές του χρόνου. Έτσι αναμένεται να ολοκληρωθούν τα συστήματα αυτόνομης οδήγησης αφού η χρήση των αισθητήρων του οχήματος θα είναι συνδυαστική με τη χρήση και την ανάλυση των δεδομένων που λαμβάνονται από τα έξυπνα ελαστικά. Ας μην ξεχνάμε ότι όσο “έξυπνο” να θεωρείται ένα όχημα [22] τα ελαστικά είναι ο μόνος σύνδεσμος ανάμεσα στο δρόμο και το αυτοκίνητο. Η

προληπτική ενημέρωση για την αλλαγή των ελαστικών θα μπορέσει να αυξήσει και την ασφάλεια στους αυτοκινητόδρομους μην επιτρέποντας τη χρήση τους σε οχήματα τα οποία θα είναι επικίνδυνα λόγω της φθοράς των ελαστικών τους.



Εικόνα 15: Έξυπνα ελαστικά και οι λειτουργίες τους από την εταιρεία Continental [22]

Υπάρχουν σκέψεις για ενημέρωση των οδηγών για τη φθορά των ελαστικών και σε συνδυασμό με το σεισμό μέσον του αυτοκινήτου Πού χρησιμοποιείται το internet να μπορεί να του δείξει τα κοντινότερα που μπορεί να αλλάξει τα ελαστικά του. η ενημέρωση για την φθορά των ελαστικών προγραμματίζεται περίπου στους τρεις μήνες πριν την αντικατάστασή τους. Ένα αντίστοιχο σύστημα χρησιμοποιείται και σήμερα είναι η προειδοποίηση του οδηγού όταν η στάθμη του καυσίμου γίνει αρκετά χαμηλή και μέσω του συστήματος πολυμέσων του προτείνει τους κοντινότερους σταθμούς ανεφοδίασης καυσίμων[21].



## Ελαστικά χωρίς αέρα

Τα κλαταρισμένα ελαστικά αποτελούν ένα σημαντικό πρόβλημα ιδίως εάν υπάρξουν κατά την κίνηση του οχήματος επάνω σε στροφή με αποτέλεσμα επικίνδυνη οδική συμπεριφορά του οχήματος. Επιπλέον η αλλαγή ενός κλαταρισμένου ελαστικού μπορεί να αποτελέσει μία πολύ δύσκολη διαδικασία ιδίως σε ακραίες καιρικές συνθήκες όπως παγετός ή υπερβολική ζέστη και καύσωνες. Δυστυχώς παρόλη την τεχνολογία των σύγχρονων ελαστικών αντικείμενα τα οποία συνήθως υπάρχουν στο δρόμο όπως είναι αιχμηρές πέτρες, θραύσματα γυαλιού ή απότομες λακκούβες μπορούν να προκαλέσουν το κλατάρισμα. Όλα τα παραπάνω μπορούν να αποτελέσουν μία διαδικασία που θα ανήκει στο παρελθόν χάρη στη προσπάθεια ανάπτυξης ελαστικών χωρίς αέρα από όλες τις μεγάλες εταιρείες κατασκευαστών.

Πολλοί κατασκευαστές αναφέρουν ότι τα ελαστικά χωρίς αέρα πρόκειται να μπουν στην παραγωγή μέχρι το 2024. Παρόλο ότι αποτελούν ένα απαιτητικό προϊόν για ανάπτυξη τα συγκεκριμένα ελαστικά πρόκειται να δώσουν πολλά πλεονεκτήματα στους χρήστες και για αυτό οι εταιρείες εστιάζουν στην ανάπτυξη τους. Παρακάτω γίνεται μία πιο αναλυτική παρουσίαση των ελαστικών χωρίς αέρα.

## Η τεχνολογία της NASA για ελαστικά χωρίς αέρα σε εφαρμογές στον πλανήτη μας

Η γνωστή σε όλους μας NASA είναι γνωστή για τις διάφορες πρωτοποριακές ανακαλύψεις. Όσο ο διαστημικός εξοπλισμός συνεχίζει την εξερεύνηση του διαστήματος επιστήμονες και μηχανικοί συνεργάζονται για τη δημιουργία του ιδανικού τροχού και ελαστικού για τις συνθήκες του πλανήτη γη. Το ελαστικό χωρίς αέρα υπάρχει για αρκετά χρόνια για χρήση στο διάστημα. Όμως στο πνεύμα της καινοτομίας η τελευταία εφεύρεση της NASA είναι για ακόμα μια φορά πρωτοποριακή. Πρόκειται για ένα ελαστικό το οποίο χρησιμοποιεί κράματα με μήμη του σχήματος σαν στοιχεία που πρόκειται να ενδυναμώσουν το σκελετό του ελαστικού και να αυξήσουν την αποδοτικότητα των ελαστικών αλλά κυρίως τις ικανότητές τους. Η εφεύρεση αυτή ονομάζεται υπεραστικό ελαστικό ή Super elastic tyre.

Όπως οι περισσότερες πρωτοποριακές ανακαλύψεις της NASA η ανάπτυξη αυτού του ελαστικού γεννήθηκε από ένα πρόβλημα που αντιμετώπιζε το προηγούμενο ελαστικό της. Στο τέλος της δεκατίας του 2000 η NASA πραγματοποιούσε τεστ για διαστημικά οχήματα τύπου Rover στην επιφάνεια της Σελήνης σε μέγεθος ενός τροχόσπιτου. Τα διαστημικά οχήματα τύπου Rover λειτουργούν σαν ένας ρομποτικός γεωλόγος όσο αυτά βρίσκονται στην επιφάνεια της σελήνης και μέσω μιας σειράς αισθητήρων και ρομποτικών βραχιόνων συλλέγουν και αναλύουν διάφορα δείγματα από το έδαφος δίνοντας στους επιστήμονες πολύτιμες πληροφορίες.



Εικόνα 16: Όχημα τύπου Rover Από την υπάρχουσα αποστολή στον Άρη [23]

Τότε τα ελαστικά χωρίς αέρα τα οποία είχαν ενίσχυση από χάλυβα που λειτουργούσαν σαν ελατήρια μολονότι λειτουργούσαν αρκετά καλά ήταν ευάλωτα σε πλαστικές παραμορφώσεις όταν αυτά δέχονταν ισχυρά φορτία [24]. Μία τυχαία επίσκεψη από τον επιστήμονα Santo Padula που αντικείμενο του είναι η επιστήμη υλικών στο εργαστήριο προσομοίωσης των διαστημικών επιχειρήσεων στη Σελήνη στο ερευνητικό κέντρο της NASA στο Glenn είχε ως αποτέλεσμα μία επαναστατική τεχνολογία. Ο Santo Padula πρότεινε τη χρήση κραμματων τα οποία έχουν μνήμη της αρχικής τους

μορφοποίησης με αποτέλεσμα να μπορούν να συνεισφέρουν στην ενίσχυση του σκελετού των ελαστικών χωρίς ωστόσο να υπόκεινται ευκολα σε πλαστικές παραμορφώσεις.

Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για αυτό την τεχνολογία ελαστικού είναι ένα κράμα το οποίο βασίζεται σε στοιχειομετρία νικελίου τιτανίου. Πιο συγκεκριμένα τα άτομα διαφορετικών κραμάτων κάτω από ισχυρά φορτία παραμορφώνονται μέχρις ότου να αστοχήσουν. .

Αντίθετα το κράμα νικελίου τιτανίου αναπροσαρμόζει τα άτομα του με αποτέλεσμα να επιστρέφει στο αρχικό του σχήμα όταν το φορτίο στο οποίο υπόκειται το ελαστικό παύσει να υπάρχει. Σύμφωνα με την Nasa αυτό το κράμα επιτρέπει 30% περισσότερη παραμόρφωση χωρίς μόνιμες αλλαγές στη δομή του ελαστικού. Το κράμα αυτό το οποίο έχει μνήμη μπορεί να αντέξει 10% περισσότερο αντιστρεφόμενη παραμόρφωση σε σχέση με το 0,3 έως 0,5% των ελαστικών που χρησιμοποιούν χάλυβα ή άλλα υλικά σαν μέσο ενίσχυσης του ελαστικού και απόσβεσης των κραδασμών[25]. Σε μορφή πρωτοτύπου το ελαστικό μοιάζει σαν ένα πλέγμα αλυσίδας το οποίο είναι ενωμένο όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα



Εικόνα 17: Πλέγμα ελαστικού χωρίς αέρα της NASA[25].

Σε επίγειες εφαρμογές τα πλεονεκτήματα αυτού του τύπου ελαστικού είναι ότι εξαλείφει τα πιθανά προβλήματα λόγω θερμοκρασιών ή πίεσης τα οποία επηρεάζουν ένα πνευματικό ελαστικό αλλά επίσης εξαλείφει την πιθανότητα ενός κλαταρίσματος. Αυτός ο τύπος ελαστικού επίσης κάνει την χρήση πολυστρωματικού εσωτερικού σκελετού που εφαρμόζεται σήμερα μη απαραίτητη κάτι το οποίο μειώνει το βάρος του ελαστικού. Ακόμα σύμφωνα με τη NASA το συγκεκριμένο κράμα μπορεί να δώσει στον κατασκευαστή έλεγχο για την δυσκαμψία του ελαστικού το οποίο σημαίνει ότι τα διαστημικά οχήματα Rover μπορούν να ρυθμιστούν για διαφορετικά φορτία σε διαφορετικά περιβάλλοντα κίνησης και διαφορετική βαρύτητα άλλων πλανητών πέρα της Σελήνης.

Παρότι αυτά τα πρωτότυπα ελαστικά δημιουργήθηκαν για τα διαστημικά αυτά οχήματα για χρήση τους σε αποστολές όχι μόνο στη σελήνη αλλά και στον Άρη η τεχνολογία της NASA μπορεί να φέρει επανάσταση σε καθημερινές εφαρμογές στον πλανήτη μας. Ασφαλώς η πρόσφυση, η ικανότητα του ελαστικού να λειτουργήσει μέχρι κάποια συγκεκριμένη ταχύτητα και το κόστος αποτελούν πολύ σημαντικά ζητήματα που πρέπει να επιλυθούν. Ωστόσο από αυτή την τεχνολογία μπορούν ωφεληθούν άμεσα τα οχήματα τα οποία κινούνται με χαμηλές ταχύτητες και σε εδάφη εκτός δρόμου όπως για παράδειγμα τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά χωμάτων αλλά και τα σκαπτικά μηχανήματα.

## **Τα πλεονεκτήματα των πνευματικών ελαστικών για επίγεια οχήματα**

### **Απουσία κλαταρισμένου ελαστικού**

Με τα ελαστικά χωρίς αέρα ο οδηγός πλέον δεν χρειάζεται ποτέ να ανησυχεί για διαρροές αέρα που μειώνουν τη πίεση του ελαστικού ή για ένα κλαταρισμένο ελαστικό γεγονός τα οποία πάντα συμβαίνουν σε εφαρμογές πνευματικών ελαστικών. Για τους περισσότερους οδηγούς αυτό ακούγεται επαναστατικό αλλά ιδίως για τους οδηγούς οι οποίοι εκτελούν μεταφορές προϊόντων η απουσία

ελέγχου στάθμης του αέρα των ελαστικών αλλά το μηδενικό ενδεχόμενο για κλατάρισμα ελαστικού αποτελεί μεγάλο πλεονέκτημα διότι μειώνεται ο κίνδυνος να σταματήσει τα οχήματα αυτά τη λειτουργία τους. Αντίστοιχα μπορούν να επωφεληθούν και τα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς που χρησιμοποιούν πνευματικά ελαστικά γεγονός που δεν θα δημιουργεί καθυστερήσεις λόγω κλαταρισμένο ελαστικών στις μετακινήσεις των επιβατών[26].

### **Ανυπαρξία αναγκαιότητας για τη χρήση ρεζέρβας**

Ένα επιπλέον πλεονέκτημα είναι ότι δεν χρειάζεται να υπάρχει κιτ επισκευής ελαστικού ή μία ρεζέρβα η οποία καταλαμβάνει χώρο στον αποθηκευτικό χώρο του οχήματος. Αυτό αποτελούσε πλεονέκτημα των οχημάτων τα οποία χρησιμοποιούσαν ελαστικά runflat ,δηλαδή μπορούν να λειτουργήσουν και ξεφούσκωτα για μικρές αποστάσεις οποία απελευθέρωναν περισσότερο χώρο στο πορτμπαγκάζ. Επιπλέον η ανυπαρξία ρεζέρβας μειώνει το βάρος το οποίο ωφελεί τόσο την οδική συμπεριφορά του οχήματος αλλά κυρίως την κατανάλωση καυσίμου[27].

### **Πλεονεκτήματα για οχήματα βαρέως τύπου**

Τα ελαστικά τα οποία δεν χρησιμοποιούν αέρα αποτελούν μεγάλο πλεονέκτημα για τα οχήματα αυτά όπως στις επιχειρήσεις εξόρυξης αλλά και στις επιχειρήσεις οι οποίες κατασκευάζουν διάφορα έργα. Το κλαταρισμένο ελαστικό δημιουργεί μία πτώση στην απόδοση της μονάδας άρα και μία οικονομική ζημιά. Επομένως η χρήση τέτοιου τύπου ελαστικών θα αποτελούσε ένα πολύ μεγάλο πλεονέκτημα για αυτές τις επιχειρήσεις όπως επίσης και για τις αγροτικές δραστηριότητες όπου και εκεί τα οχήματα που χρησιμοποιούνται είναι βαριά και η αντικατάσταση ενός κλαταρισμένο ελαστικό αποτελεί μία δύσκολη και χρονοβόρα διαδικασία[26].

## Μείωση των εκπομπών ρύπων

Γύρω στο 90% της των ενεργειακών απωλειών από ένα λάστιχο το οποίο εκτελεί περιστροφική κίνηση προέρχεται από τις συνεχείς αλλαγές στο σχήμα του ελαστικού καθώς αυτό κινείται. Σαν αποτέλεσμα η χρήση ελαστικών χωρίς αέρα μπορούν να οδηγήσουν σε συνθήκες κίνησης οι οποίες έχουν συνεχώς την ίδια αντίσταση κύλησης μειώνοντας έτσι τις εκπομπές CO<sub>2</sub> [26].

## Περιβαλλοντικά οφέλη

Τα ελαστικά χωρίς αέρα χρησιμοποιούν υλικά τα οποία τους επιτρέπουν να είναι ανακυκλώσιμα χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση νέων πόρων για τη δημιουργία τους.

Σκοπός πολλών εταιρειών είναι να μην χρειάζεται κανένα πνευματικό ελαστικό να καταλήξει στα σκουπίδια αλλά να μπορεί να ανακυκλωθεί και να ξαναγίνει ένα νέο ελαστικό. Τα ελαστικά χωρίς αέρα είναι τα πρώτα τα οποία μπορεί να γίνει χρήση αυτής της τεχνολογίας η οποία είναι προφανώς πολύ πιο φιλική προς το περιβάλλον.

**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε. .**

## Κεφάλαιο 5

### Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων FEA

#### Γενικές πληροφορίες

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων αποτελεί μία μέθοδο υπολογισμού (αριθμητική μέθοδο) με χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών ώστε να είναι εφικτή η προσεγγιστική λύση μερικών διαφορικών εξισώσεων για να μπορέσουν να επιλυθούν περίπλοκα μηχανολογικά προβλήματα. Η αναλυτική λύση των διαφορικών εξισώσεων από τις οποίες περιγράφονται τα προβλήματα προς επίλυση είναι εφικτές σε περιπτώσεις πολύ απλών των καταπονήσεων και γεωμετρίας  $\zeta$ . Η ανάγκη όμως τις μελέτες όλο και πιο σύνθετων προβλημάτων καθώς η τεχνολογία προχώρα οδήγησε στην ανάπτυξη των προσεγγιστικών μεθόδων επίλυσης των τεχνικών προβλημάτων.

Μία από αυτές τις προσεγγιστικές μεθόδους είναι μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων. Ως μία προσεγγιστική μέθοδος πάντα περιέχει το σφάλμα αλλά αυτό είναι τόσο μικρό ώστε να μπορεί να μας δώσει αποτελέσματα τα οποία είναι αξιόπιστα άρα και αξιοποιήσιμα και επιπλέον μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα μηχανολογικά προβλήματα.

Το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η απαίτηση για υπολογιστική ισχύ ιδίως όταν έχουν να λυθούν πολύπλοκα μηχανολογικά προβλήματα. Μια λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η απλοποίηση όσο δυνατόν γίνεται του προβλήματος ώστε να απαιτούνται λιγότεροι πόροι. Παρόλα αυτά στις μέρες μας χάρις στην ανάπτυξη της τεχνολογίας των υπολογιστών το πρόβλημα της υπολογιστικής ισχύς δεν είναι τόσο σοβαρό όπως στο παρελθόν παράγοντας ο οποίος έκανε τη μέθοδο πολύ πιο δημοφιλή για την επίλυση προβλημάτων τόσο στη βιομηχανία όσο και στη μελέτη σε διάφορες κατασκευές όπως γέφυρες πλοία κλπ.



Η επίλυση των προβλημάτων γίνεται με ένα διαχωρισμό του επιμέρους προβλήματος σε πολύ μικρότερα οδηγώντας στη δημιουργία του αντίστοιχου πλέγματος το οποίο αποτελείται από τα διάφορα είδη των πεπερασμένων στοιχείων όπως τα τρίγωνα τα τετράπλευρα με σκοπό την καλύτερη δυνατή ανάλυση ανάλογα με το τύπο του προβλήματος.

## Ιστορία της μεθόδου

Παρότι είναι δύσκολο οριστεί με ακρίβεια ημερομηνία τις εύρεσης αυτής της μεθόδου αυτή προήλθε από την ανάγκη να λυθούν περίπλοκα προβλήματα ελαστικότητας και δομικών προβλημάτων για τους πολιτικούς μηχανικούς αλλά και τους αεροναυπηγούς μηχανικούς. Η ανάπτυξη της μπορεί να βρεθεί για πρώτη φορά στην δουλειά του A. Hrennikoff και του R. Courant στις αρχές του 1940. Ένας πρωτοπόρος ήταν ο Ιωάννης Αργύρης από το πανεπιστήμιο της Στουτγάρδης ενώ στην τότε Σοβιετική Ένωση η εισαγωγή και η χρήση της μεθόδου σε πρακτικά προβλήματα είναι συνδεδεμένη με το όνομα του Leonard Oganesyan. Η έρευνα συνεχίστηκε και σε άλλα μέρη του κόσμου όπως στη Κίνα όπου στα τέλη του 1950 και στις αρχές του 1960 ο K. Feng πρότεινε ένα σύστημα αριθμητικών μεθόδων για τη λύση μερικών διαφορικών εξισώσεων.

Οι πρώτες τότε αντιμετωπίσεις οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν από τους πρωτοπόρους της ανάπτυξης αυτής της μεθόδου εμφάνιζαν διαφορές αλλά όλες είχαν ένα κοινό χαρακτηριστικό τη διακριτοποίηση ενός πλέγματος μιας συνεχόμενης περιοχής σε ένα σετ διακριτών περιοχών πολύ μικρού μεγέθους τις οποίες ονομάζουμε στοιχεία.

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων γνώρισε άνθηση κατά τη δεκαετία του 1960 και του 1970 χάρις στη ανάπτυξη της από ερευνητές των πανεπιστημίων της Στουτγάρδης, του Μπέρκλεϋ, του Παρισιού και του Κορνέλ. Ακόμη περισσότερη ανάπτυξη γνώρισε τότε η μέθοδος από τα προγράμματα που εκείνη την εποχή τα περισσότερα ήταν προσβάσιμα σε όλους.

Η NASA διαφήμιζε την πρώτη εκδοχή που να Nastran ενώ το πανεπιστήμιο του Μπέρκλεϋ έφτιαξε το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων SAP 4 το οποίο το έκανε διαθέσιμο ευρέως. Στη Νορβηγία δημιουργήθηκε το πρώτο πρόγραμμα για ανάλυση σε προβλήματα ναυπηγικής το Sesam το 1969 από την κοινότητα κατηγοριοποίησης πλοίων DNV GL. Η δημοσίευση από τον Strang και Fix το 1973 οδήγησε σε μία



σημαντική μαθηματική βάση πεπερασμένων στοιχείων. Η μέθοδος από τότε έχει χρησιμοποιηθεί για την αριθμητική και μοντελοποίηση φυσικών συστημάτων όπως είναι μεταφορά θερμότητας η ρευστοδυναμική ο ηλεκτρομαγνητισμός κλπ.

## Η βασική ιδέα

Το πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων δημιουργείται προκειμένου να βρεθεί μία λύση για ένα πρόβλημα. Το πλέγμα αυτό μπορεί να είναι πιο πυκνό στις περιοχές που θεωρούνται πιο πιθανό να αστοχήσουν και πιο αραιό στα λιγότερο επικίνδυνα σημεία. Αυτό γίνεται για να μειωθεί η απαραίτητη υπολογιστική ισχύ προκειμένου να εξαχθούν όσο το δυνατόν πιο ακριβή συμπεράσματα. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας ένα από τα διαθέσιμα προγράμματα περασμένων στοιχείων.

Τα χρώματα υποδεικνύουν στον χρήστη μία ομάδα ιδιοτήτων του υλικού για κάθε μέρος της επιφάνειας που αναλύεται. Για παράδειγμα σε ένα στατικό πρόβλημα τα σημεία τα οποία είναι με κόκκινο είναι πολύ πιο πιθανό να αστοχήσουν από τα σημεία τα οποία είναι με βαθύ μπλε.

Η διακριτοποίηση μιας μεγαλύτερης περιοχής σε μικρότερα τμήματα έχει πολλαπλά πλεονεκτήματα όπως:

- εύκολη απεικόνιση της ολικής λύσης
- ακριβές αναπαράσταση της γεωμετρίας
- εντοπισμό των αποτελεσμάτων στο μοντέλο προς ανάλυση
- ανάλυση εξαρτημάτων που αποτελούνται από ανόμοια υλικά.

Ο τρόπος λειτουργίας της μεθόδου περιλαμβάνει

- Διαχωρισμό της προς ανάλυση περιοχής ενός προβλήματος σε μια σειρά από πολύ μικρές περιοχές όπου η κάθε μια αντιπροσωπεύεται από μια ομάδα εξισώσεων του αρχικού προβλήματος

- Ο συνδυασμός όλων των ομάδων των εξισώσεων των στοιχείων σε ένα παγκόσμιο σύστημα εξισώσεων για την τελική επίλυση.

Το παγκόσμιο σύστημα εξισώσεων εμπεριέχει γνωστές τεχνικές επίλυσης και μπορεί να υπολογιστεί από τις αρχικές τιμές του αρχικού προβλήματος ώστε να δώσουν μια αριθμητική ανάλυση.

Κατά το πρώτο βήμα οι εξισώσεις των στοιχείων είναι απλές εξισώσεις οι οποίες τοπικά προσεγγίζουν τις αρχικές περίπλοκες εξισώσεις που πρέπει να μελετηθούν που συνήθως είναι μερικές διαφορικές εξισώσεις. Για να γίνει αντιληπτή αυτή η προσέγγιση στη μέθοδο η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων συχνά παρουσιάζεται σαν μια ειδική περίπτωση της μεθόδου Galerkin.

Με πιο απλά λόγια πρόκειται για μια διαδικασία η οποία ελαχιστοποιεί το σφάλμα της προσέγγισης λόγω του ότι καταφέρνει να προσαρμόσει δοκιμαστικές εξισώσεις μέσα στις μερικές διαφορικές εξισώσεις. Αυτό που απομένει είναι το σφάλμα το οποίο προκαλείται από τις δοκιμαστικές εξισώσεις. Η διαδικασία εξαλείφει όλες τις χωρικές μεταβλητές από τη μερική διαφορική εξίσωση .

Συνεπώς προσεγγίζει τη μερική διαφορική εξίσωση με μια ομάδα αλγεβρικών εξισώσεων για προβλήματα σταθερής κατάστασης και μια ομάδα από μερικές διαφορικές εξισώσεις για προβλήματα μετάβασης

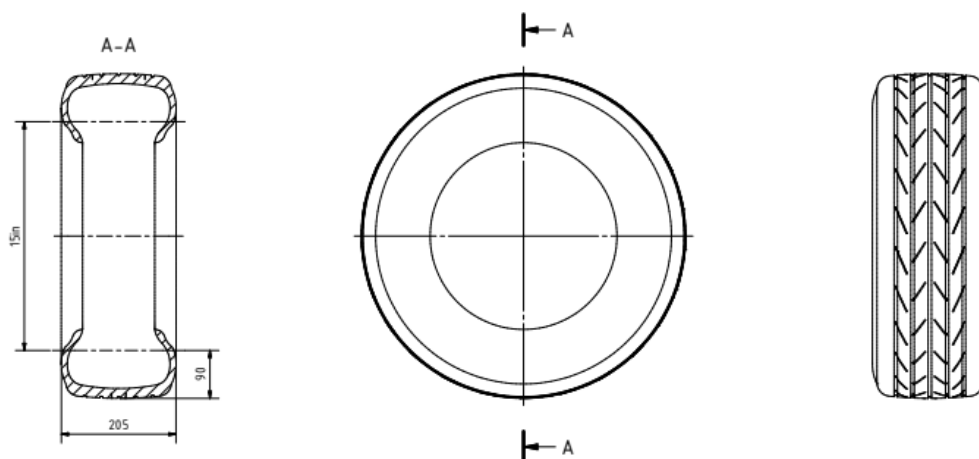
Αυτές οι ομάδες εξισώσεων αποτελούν τις εξισώσεις των στοιχείων. Είναι γραμμικές εάν η μερική διαφορική εξίσωση που προέρχονται είναι γραμμική και το ανάποδο. Οι ομάδες αλγεβρικών εξισώσεων που ανακύπτουν από τα προβλήματα σταθερής κατάστασης χρησιμοποιούν μεθόδους γραμμικής άλγεβρας ενώ οι μερικές διαφορικές εξισώσεις που ανακύπτουν στα προβλήματα μετάβασης επιλύονται από αριθμητική ολοκλήρωση χρησιμοποιώντας κλασικές μεθόδους όπως την μέθοδο του Euler ή τη Runge- Kutta.

## **Χρήση του πακέτου ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων ANSYS**

Το πακέτο της ANSYS θεωρείται ένα από τα πιο ακριβή και ευρέως χρησιμοποιούμενα πακέτα ανάλυσης με περασμένα στοιχεία. Χρησιμοποιείται κατά κόρον στη βιομηχανία άλλα και στην έρευνα.

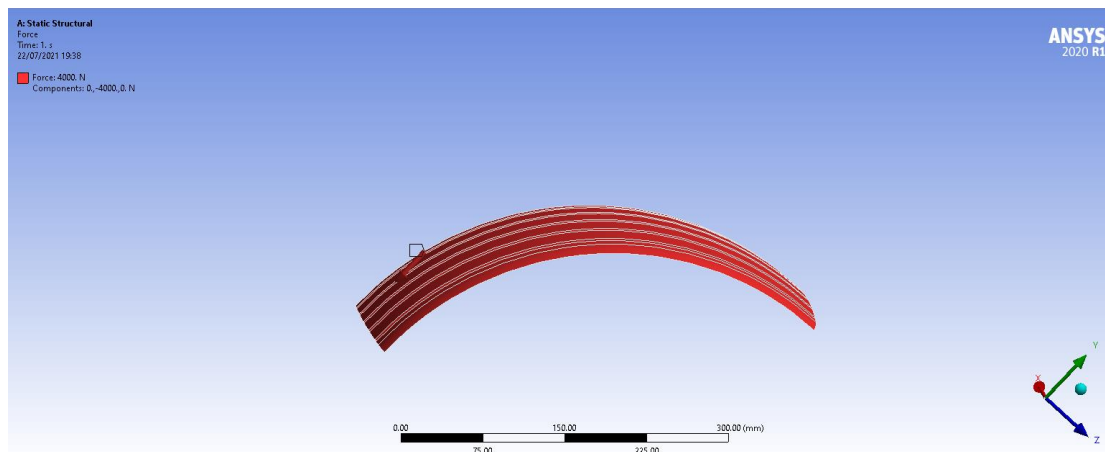
## Κεφάλαιο 6 Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Στο κεφάλαιο αυτό θα δούμε την προσομοίωση που έγινε στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων Ansys. Σαν μοντέλο σχεδιάστηκε ένα ελαστικό με τις διαστάσεις 205/90/R15 όπως αυτές φαίνονται στην εικόνα 18. Για την προσομοίωση επιλέχθηκε το  $\frac{1}{4}$  του ελαστικού που στην πραγματικότητα είναι αυτό που ακουμπάει στο έδαφος και δέχεται τις δυνάμεις από την άσφαλτο. Σαν φορτίο επιλέχθηκαν τα 400kg ή 4000N (βλέπε εικόνα 19) τα οποία αναλογούν στο βάρος ενός μέσου αυτοκινήτου αν το ισομοιράσουμε και στα τέσσερα ελαστικά του αυτοκινήτου.

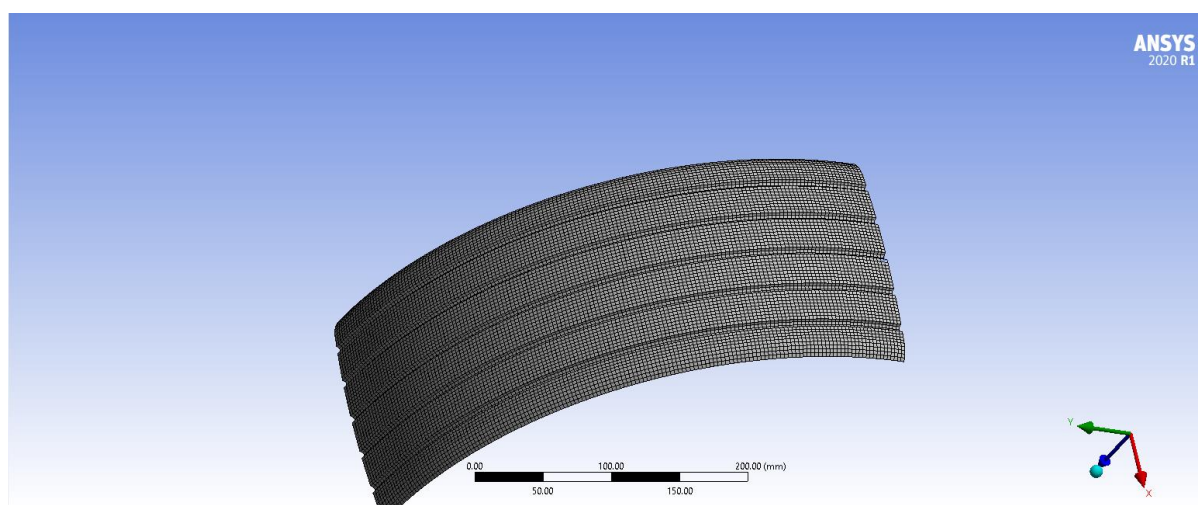


Εικόνα 18: Διαστάσεις μοντέλου

## 6.1 Προσομοίωση πρώτη



Εικόνα 19: Επιβολή δύναμης στο ελαστικό



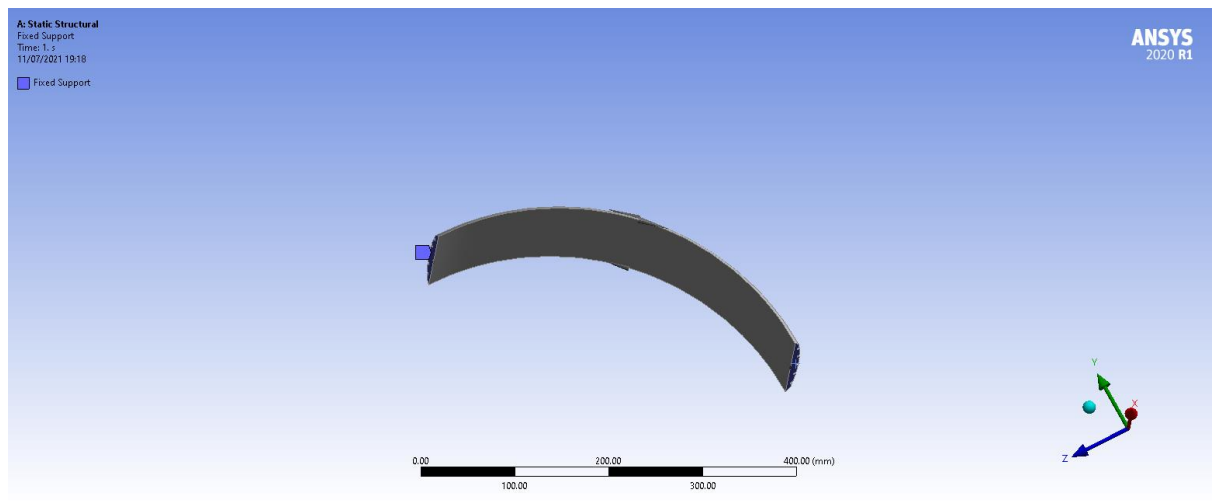
Εικόνα 20: Διακριτοποίηση ελαστικού

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	118323
<input type="checkbox"/> Elements	22500

Εικόνα 21: Στατιστικά στοιχεία διακριτοποίησης

Details of "Face Sizing" - Sizing	
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	16 Faces
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Type	Element Size
<input type="checkbox"/> Element Size	3.0 mm
<b>Advanced</b>	
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Influence Volume	No
Behavior	Soft

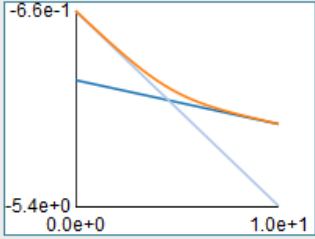
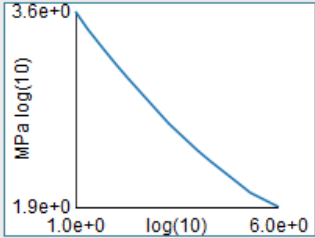
Εικόνα 22: Μέγεθος πεπερασμένων στοιχείων για την διακριτοποίηση



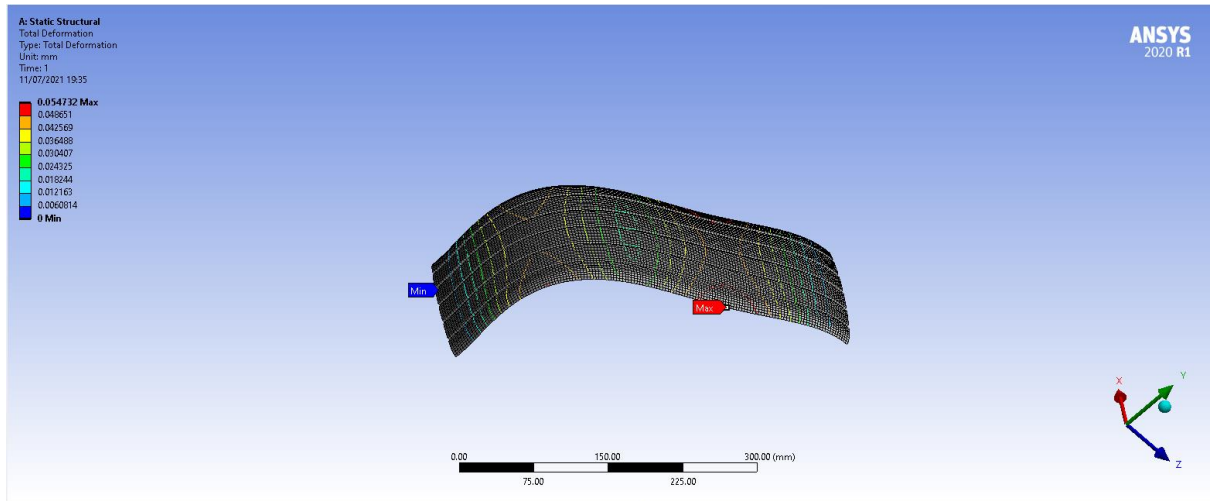
Εικόνα 23:Επιβολή πάκτωσης στα δύο ελεύθερα άκρα του ελαστικού

Properties of Outline Row 4: Tyre				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
2	<input checked="" type="checkbox"/> Material Field Variables	<input checked="" type="checkbox"/> Table		
3	<input checked="" type="checkbox"/> <b>Isotropic Elasticity</b>			<input checked="" type="checkbox"/>
4	Derive from	Young's ...		
5	Young's Modulus	2E+11	Pa	
6	Poisson's Ratio	0.3		
7	Bulk Modulus	1.6667E+11	Pa	
8	Shear Modulus	7.6923E+10	Pa	

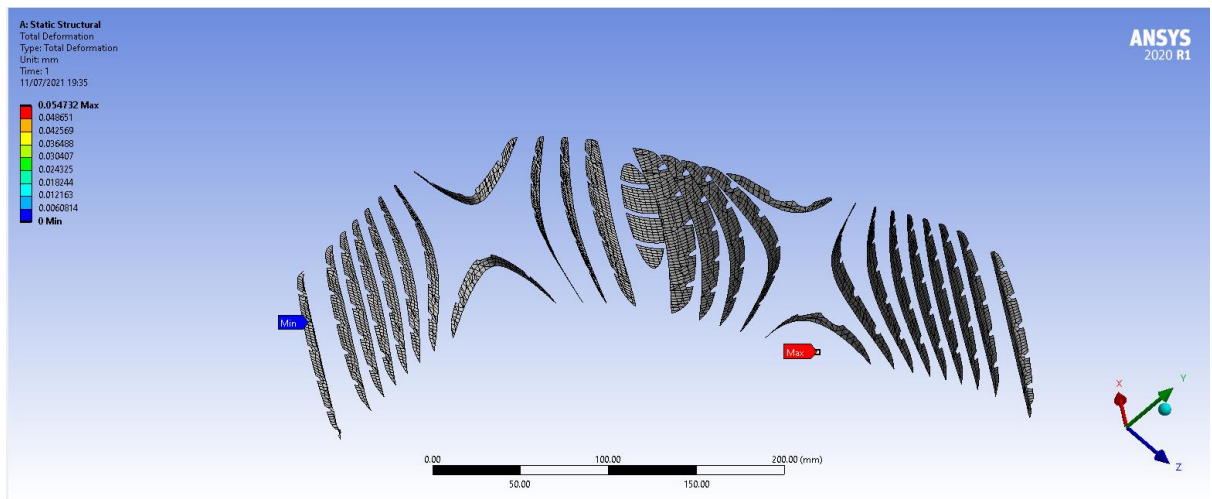
Εικόνα 24:Μηχανικές ιδιότητες ελαστικού

Strain-Life Parameters	
S-N Curve	
Tensile Ultimate Strength	460 MPa
Tensile Yield Strength	250 MPa
<b>Thermal</b> <span style="float: right;">▼</span>	
Isotropic Thermal Conductivity	0.0605 W/mm·°C
Specific Heat Constant Pressure	4.34e+05 mJ/kg·°C
<b>Electric</b> <span style="float: right;">▼</span>	
Isotropic Resistivity	0.00017 ohm·mm
<b>Structural</b> <span style="float: right;">▼</span>	
▼ Isotropic Elasticity	
Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	2e+05 MPa
Poisson's Ratio	0.3
Bulk Modulus	1.6667e+05 MPa
Shear Modulus	76923 MPa

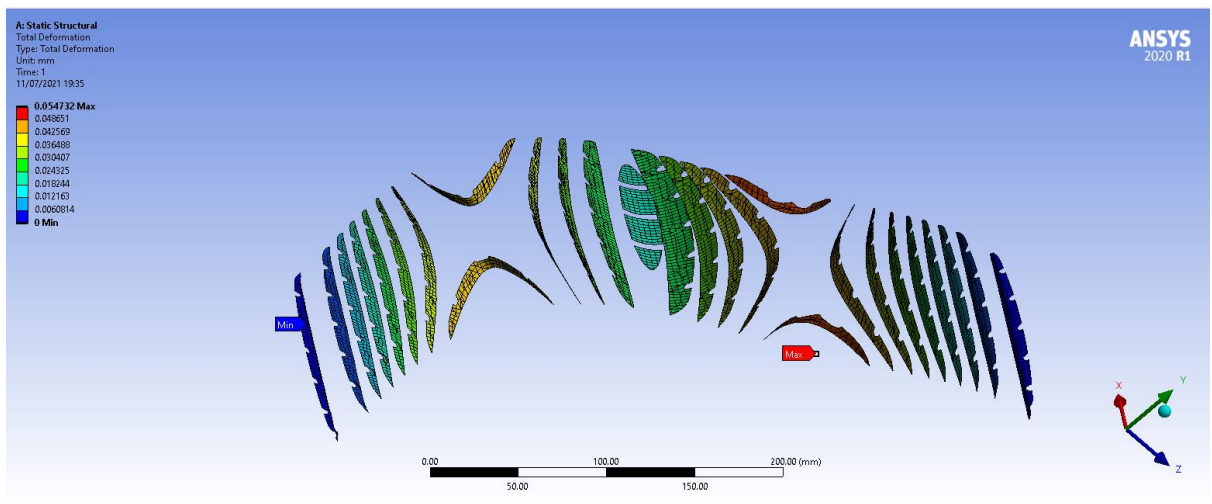
Εικόνα 25: Μηχανικές ιδιότητες ελαστικού



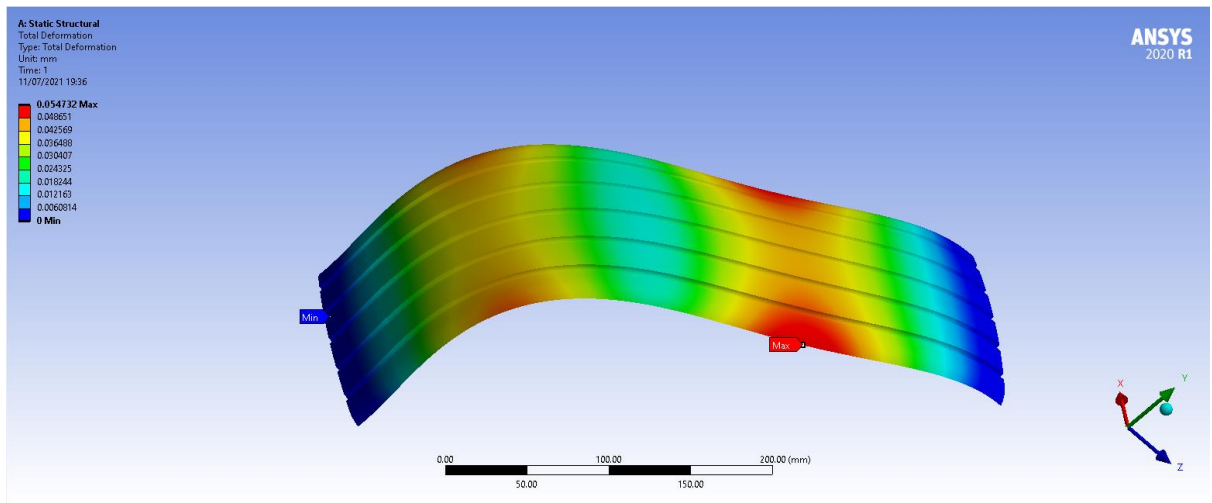
Εικόνα 26: Ολική μετατόπιση ελαστικού



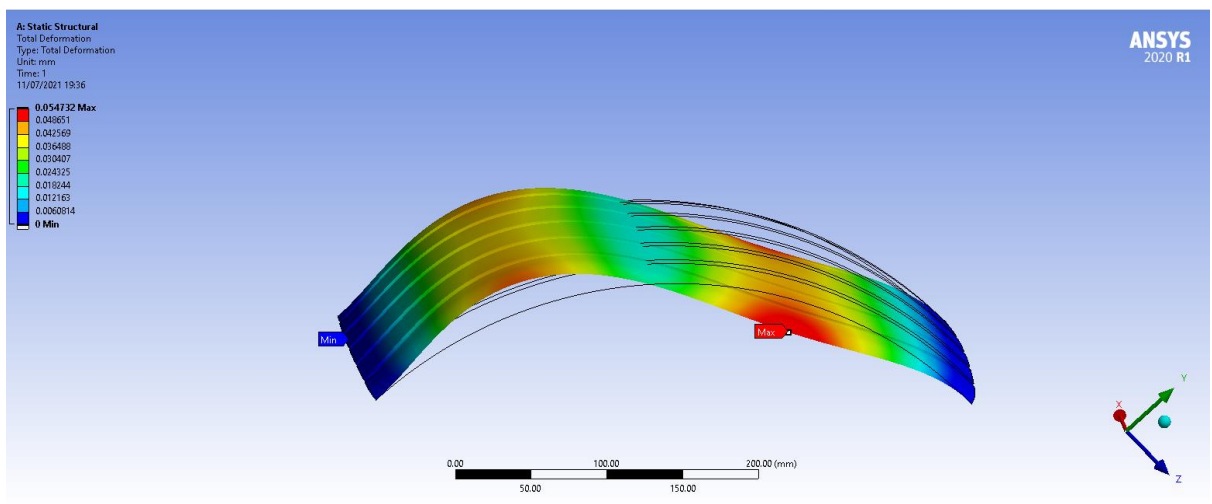
Εικόνα 27: ολική μετατόπιση ελαστικού



Εικόνα 28: ολική μετατόπιση ελαστικού

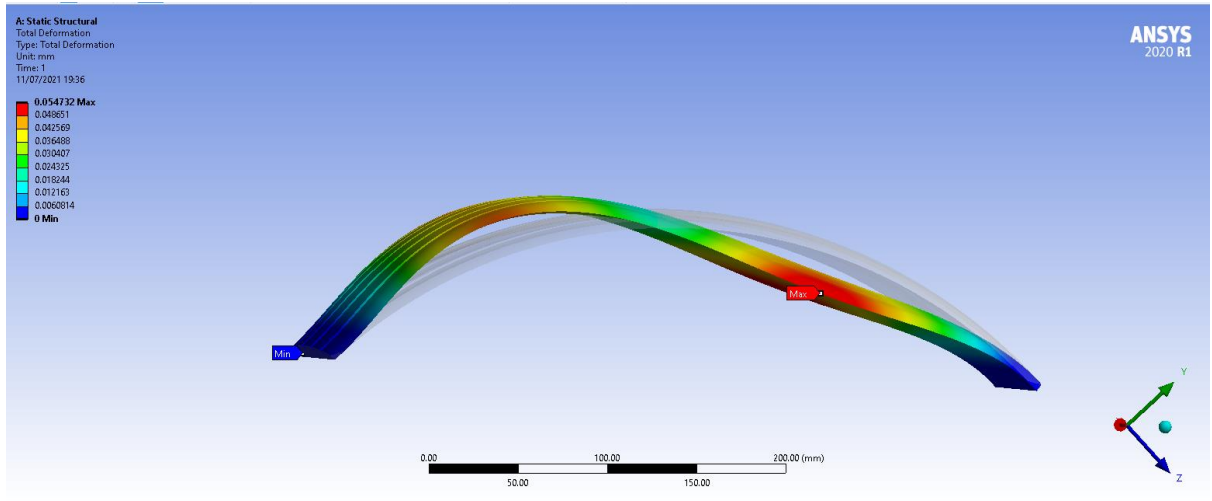


Εικόνα 29: ολική μετατόπιση ελαστικού

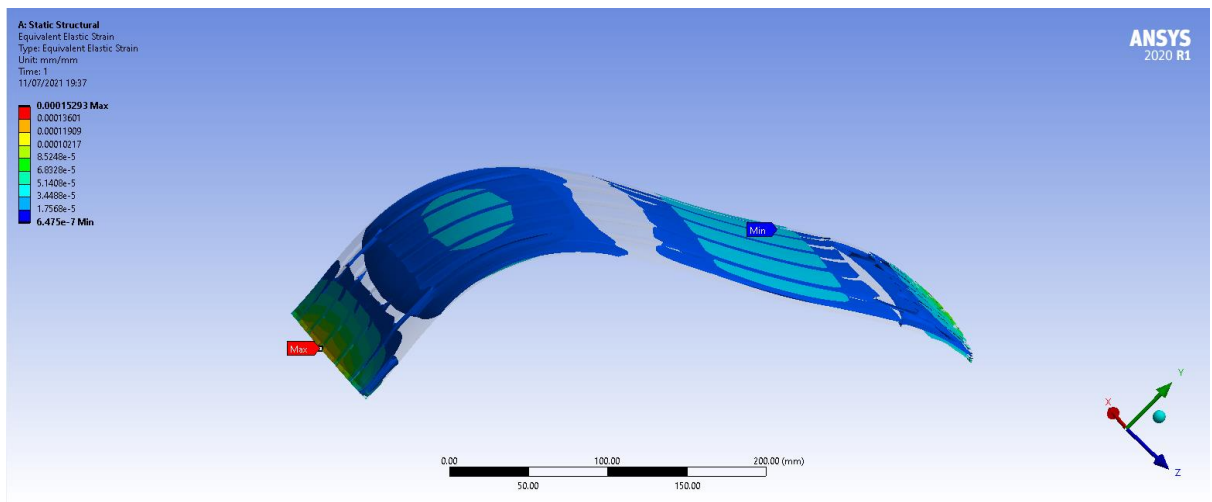


Εικόνα 30: ολική μετατόπιση ελαστικού

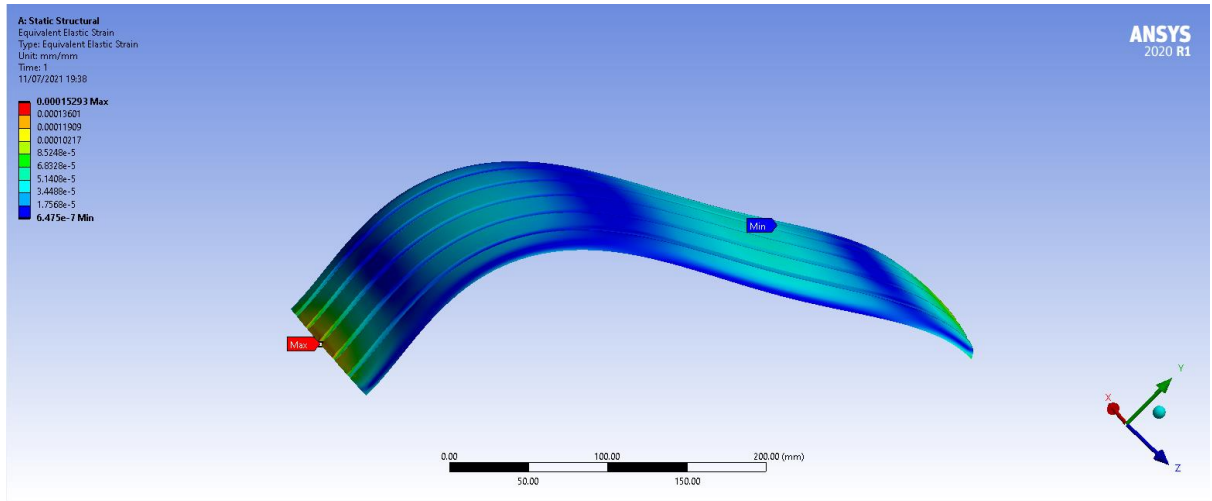




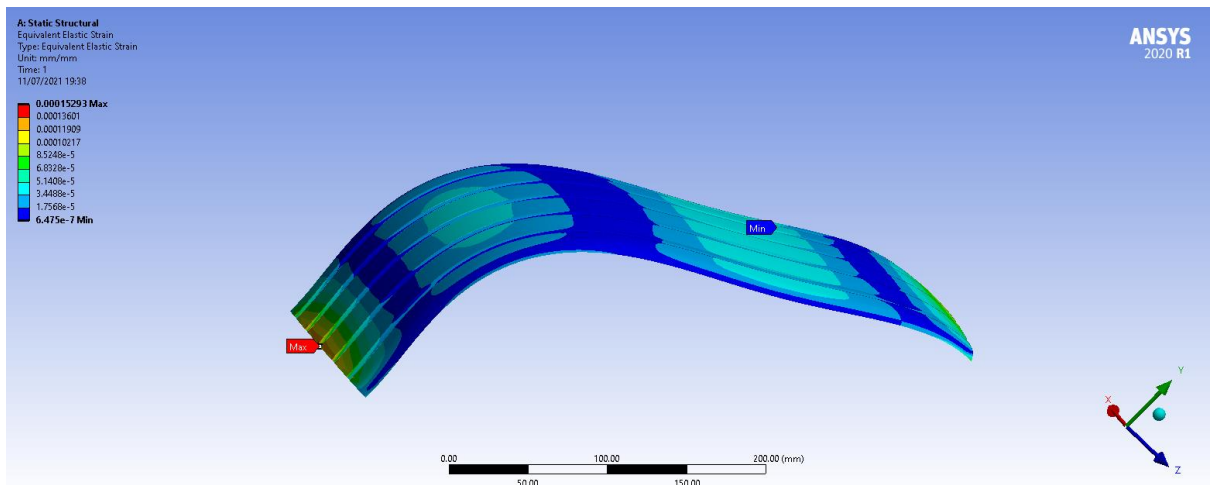
Εικόνα 31: ολική μετατόπιση ελαστικού



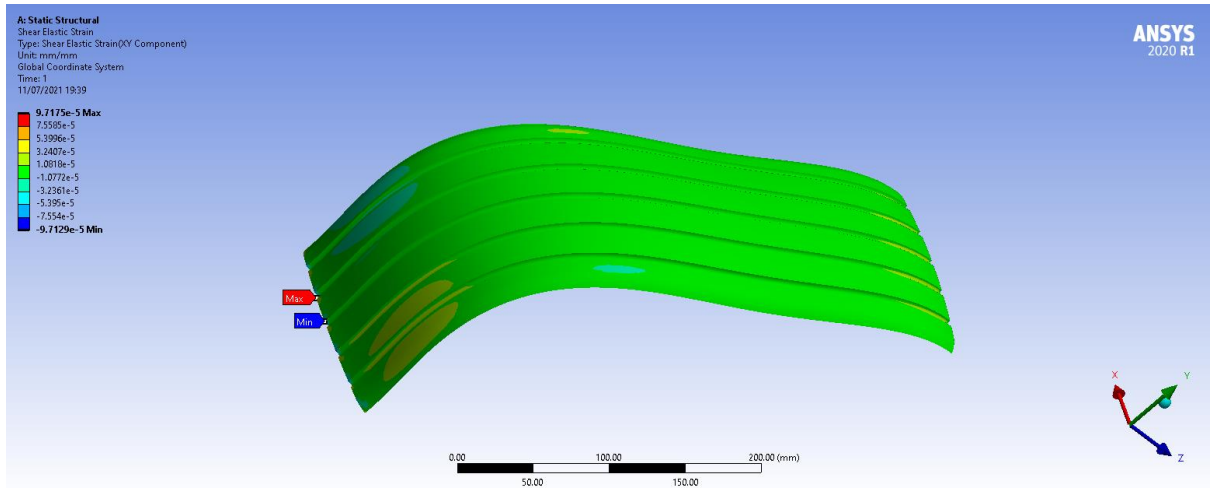
Εικόνα 32: Ισοδύναμη ελαστική τάση



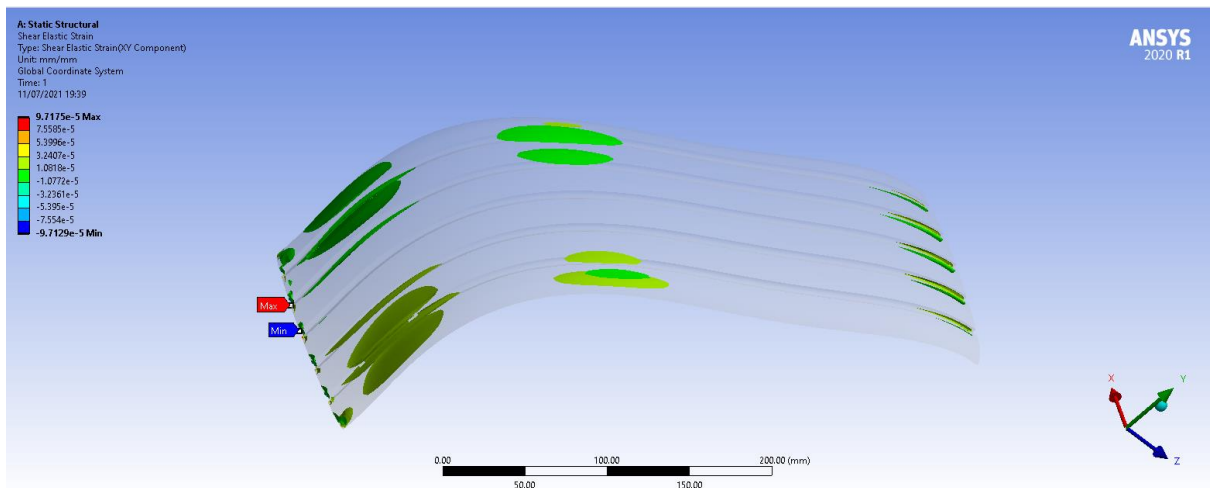
Εικόνα 33: Ισοδύναμη ελαστική τάση



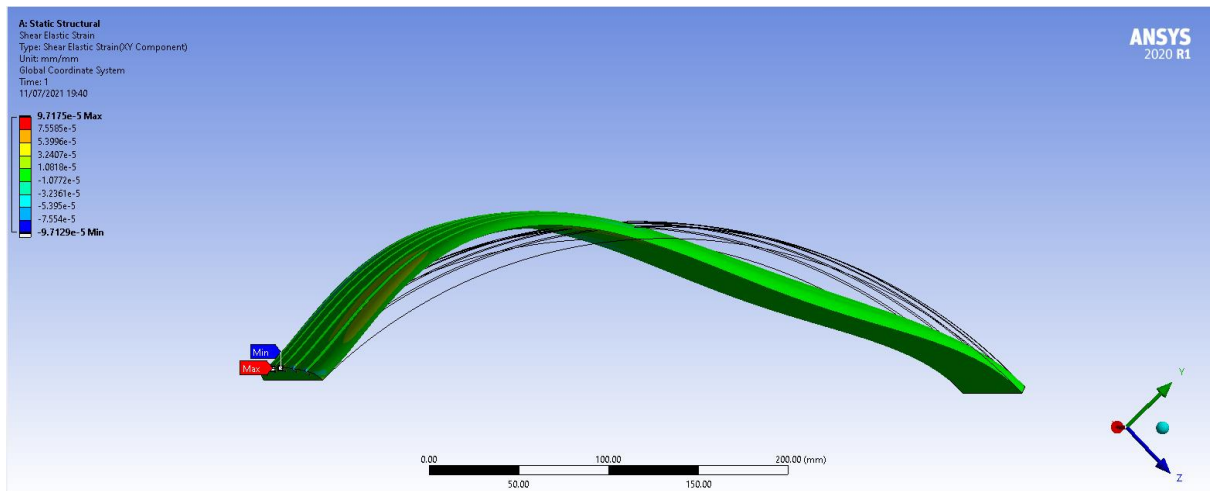
Εικόνα 34: Ισοδύναμη ελαστική τάση



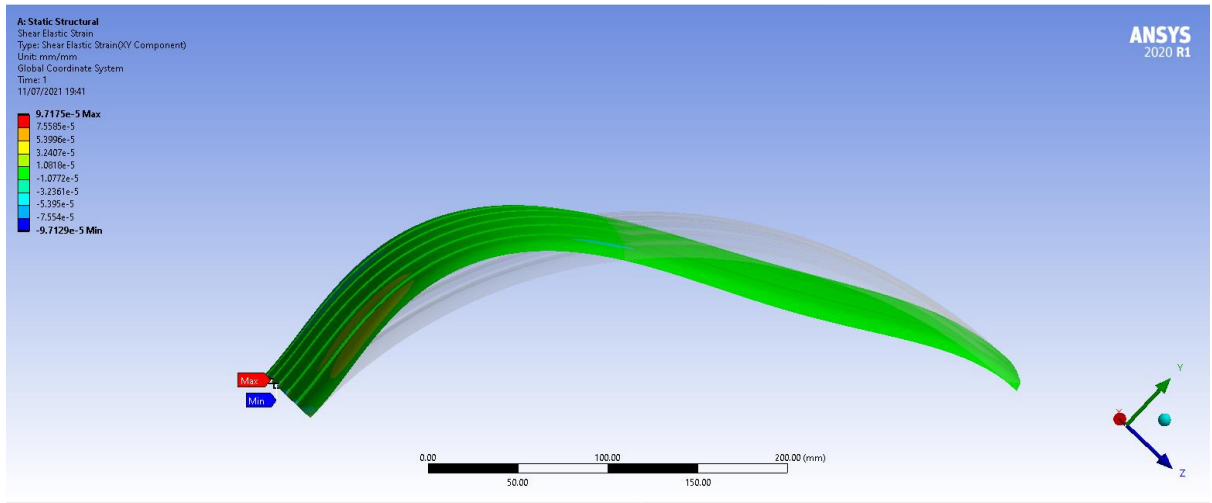
Εικόνα 35: Ισοδύναμη ελαστική τάση-διατμητική



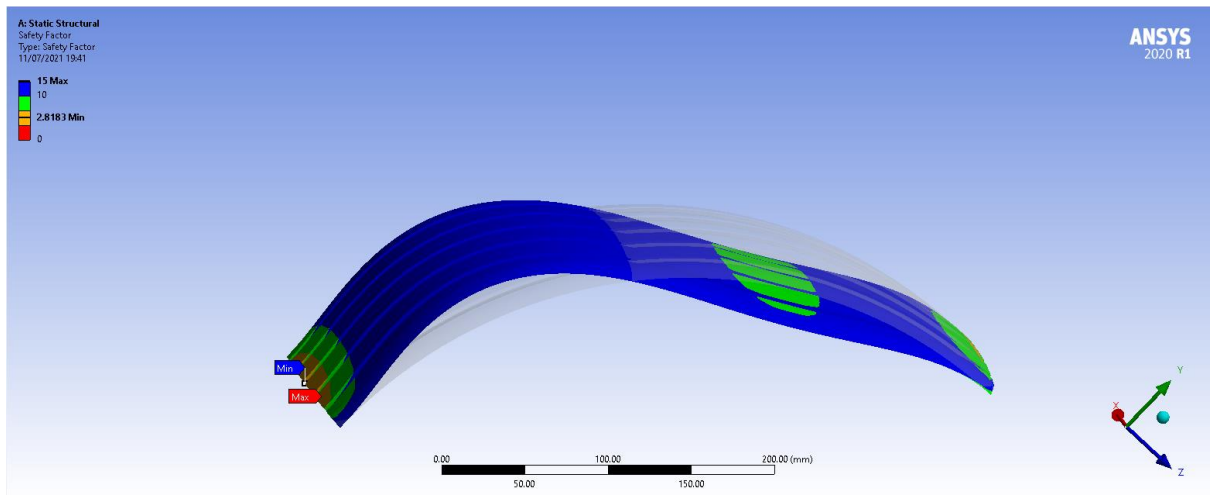
Εικόνα 36: Ισοδύναμη ελαστική τάση-διατμητική



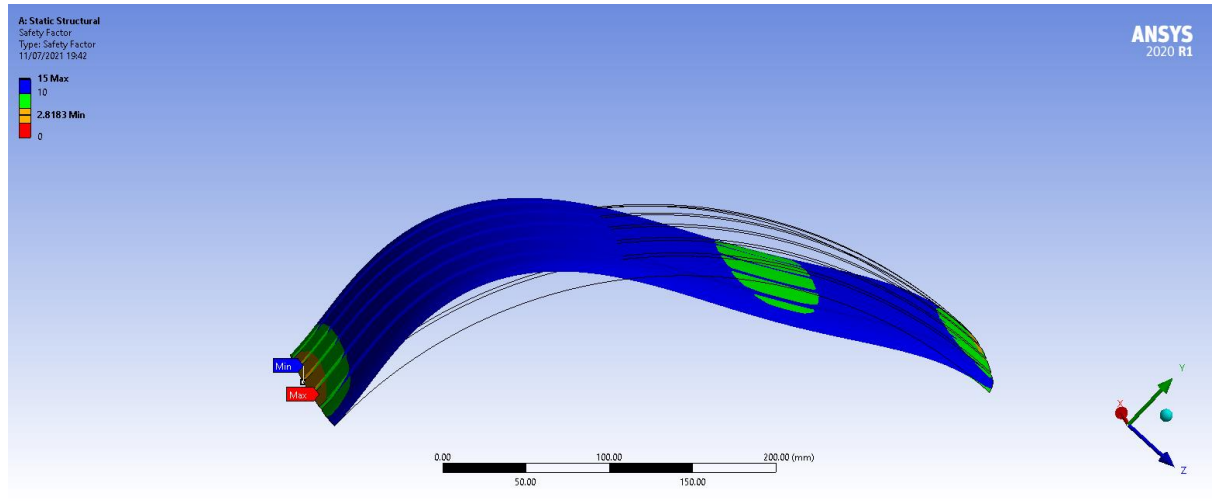
Εικόνα 37: Ισοδύναμη ελαστική τάση-διατμητική



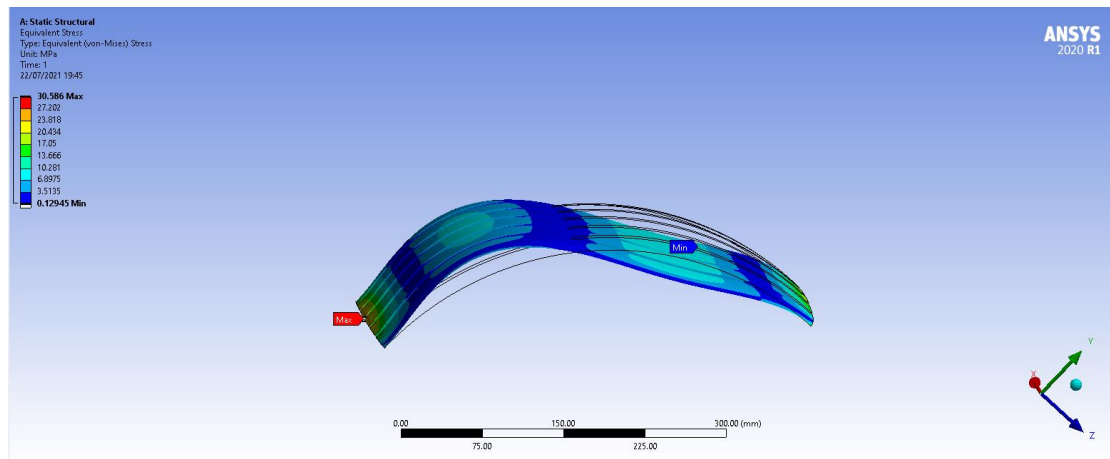
Εικόνα 38: Ισοδύναμη ελαστική τάση-διατμητική



Εικόνα 39: Συντελεστής ασφαλείας



Εικόνα 40: Συντελεστής ασφαλείας



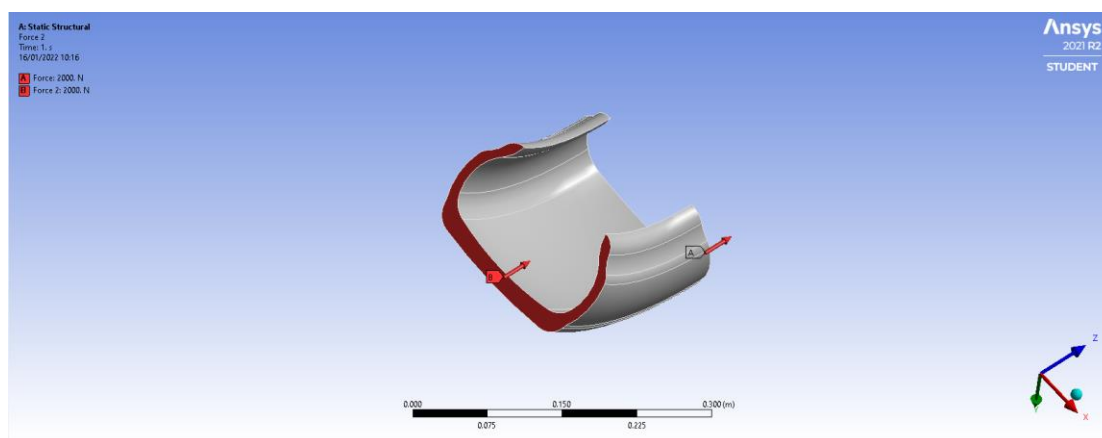
Εικόνα 41: Ισοδύναμη τάση VonMises

## 6.2 Προσομοίωση δεύτερη

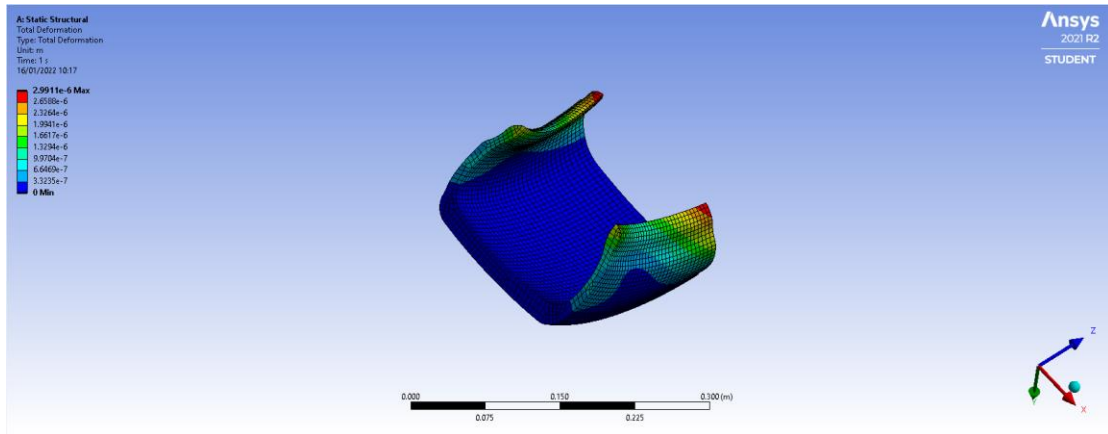
Στις παρακάτω προσομοιώσεις που ακολουθούν 2-6, έχει επιλεγθεί σαν γεωμετρία το 1/8 του ελαστικού που είναι και το κομμάτι που έχει πρόσφυση στο έδαφος κατά την κίνηση ενός αυτοκινήτου. Σαν συνοριακή συνθήκη έχει επιλεγθεί η πάκτωση του ελαστικού στο κάτω μέρος εκεί δηλαδή όπου πατάει στο έδαφος και έχουν εφαρμοστεί δυνάμεις αντίστοιχες με το ¼ του βάρους ενός μεσαίου αυτοκινήτου (περίπου  $400\text{kg} = 4000\text{N}$ ). Οι μηχανικές ιδιότητες του ελαστικού με βάσει και τις οποίες προέκυψαν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων είναι:

Structural	
▼ Isotropic Elasticity	
Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	$2\text{e}+11$ Pa
Poisson's Ratio	0.3
Bulk Modulus	$1.6667\text{e}+11$ Pa
Shear Modulus	$7.6923\text{e}+10$ Pa

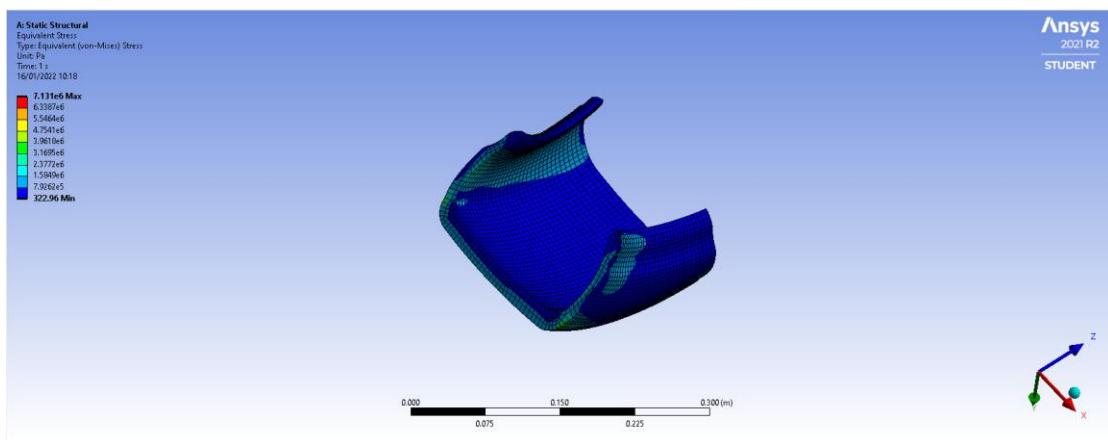
Εικόνα 42:Μηχανικές ιδιότητες ελαστικού



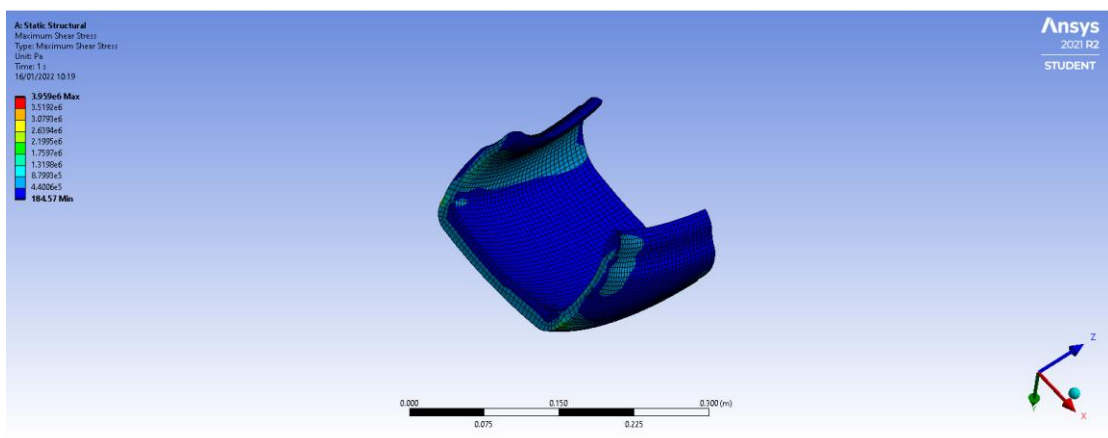
Εικόνα 43:Επιβολή φορτίου 2000N



Εικόνα 44: Συνολική μετατόπιση

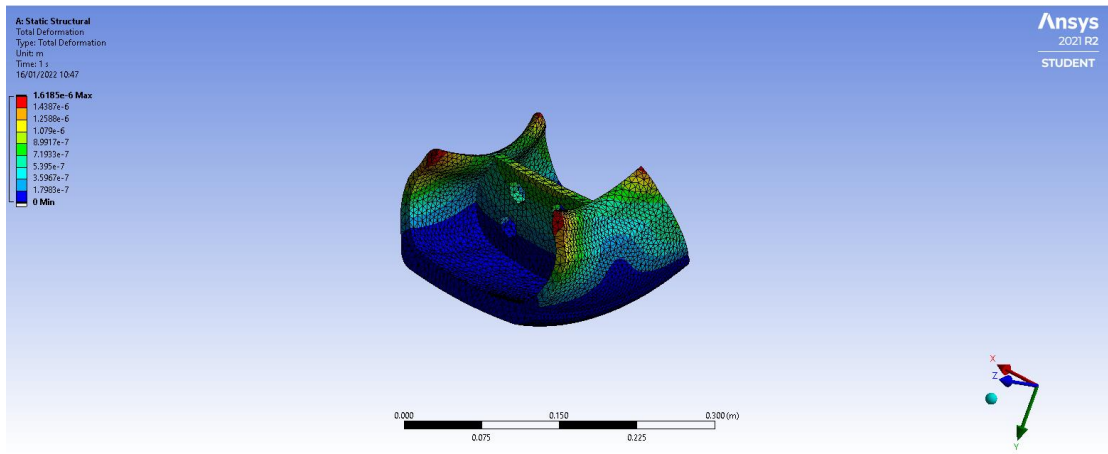


Εικόνα 45: Ισοδύναμη τάση Von Mises

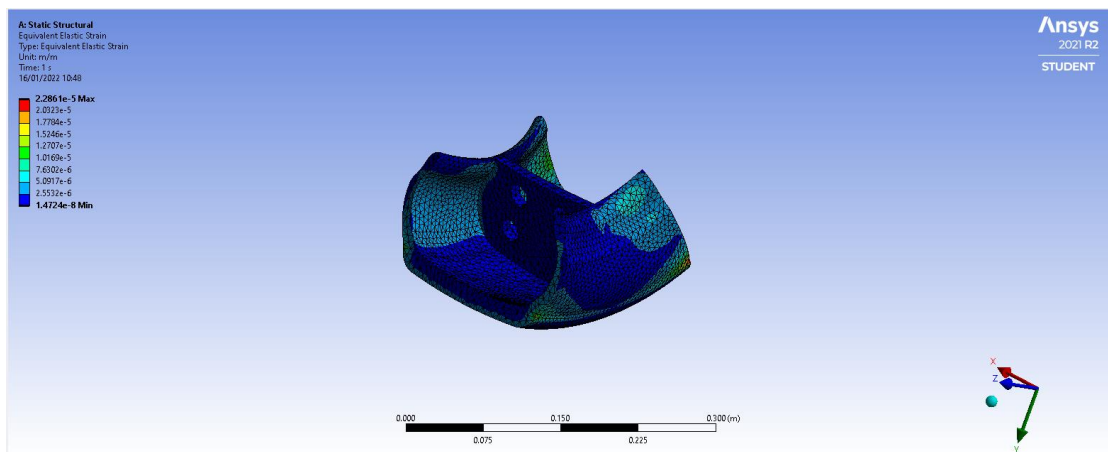


Εικόνα 46: Μέγιστη διατμητική τάση

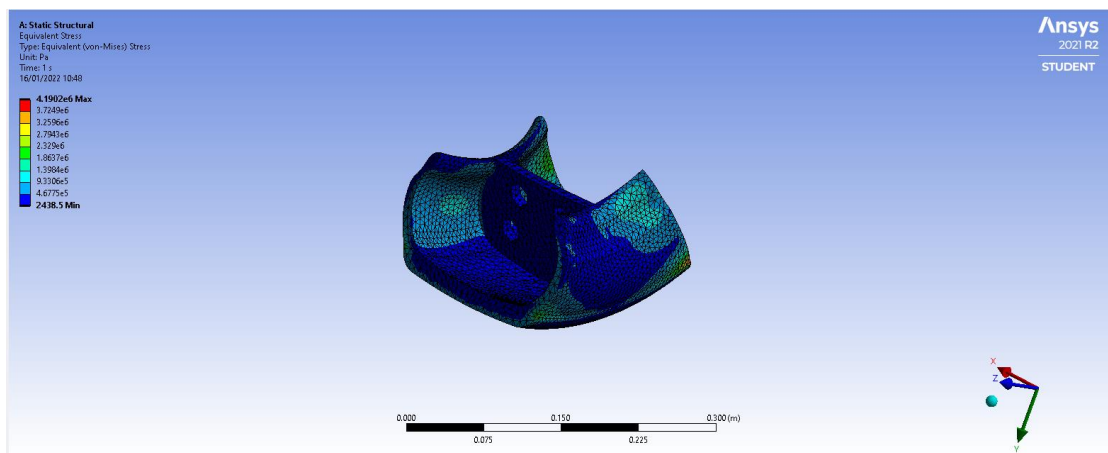
### 6.3 Προσομοίωση 3



Εικόνα 47: Συνολική μετατόπιση



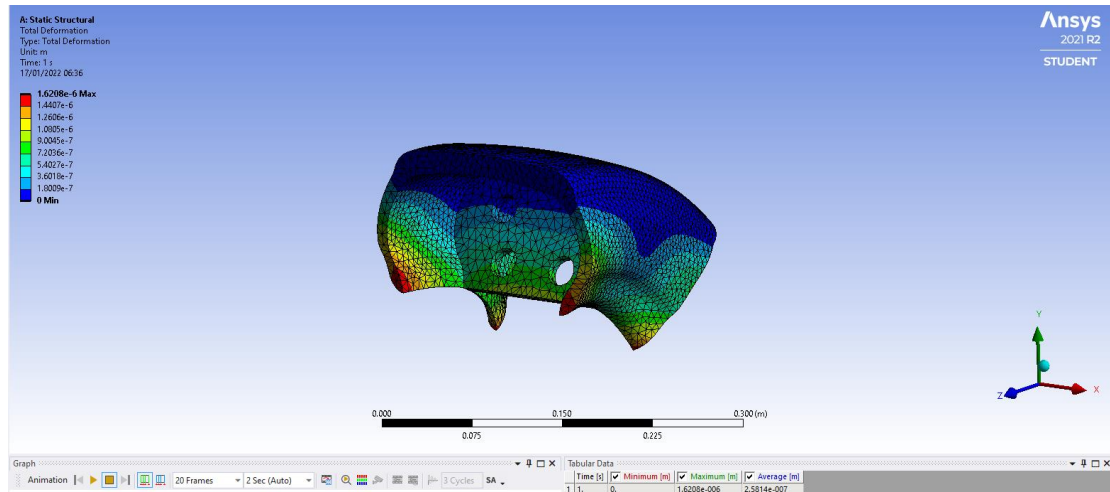
Εικόνα 48:Ελαστική μεταμόρφωση



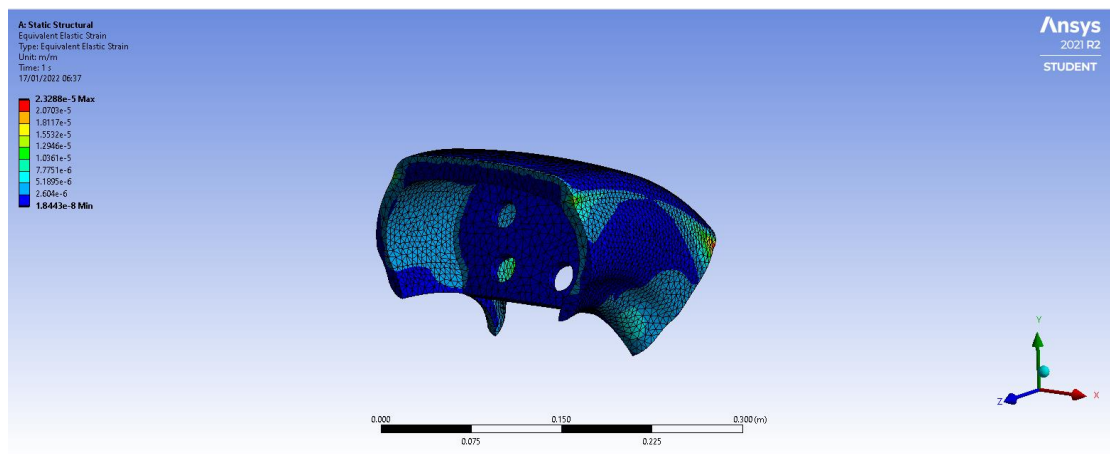
Εικόνα 49:Ισοδύναμη τάση Von Mises



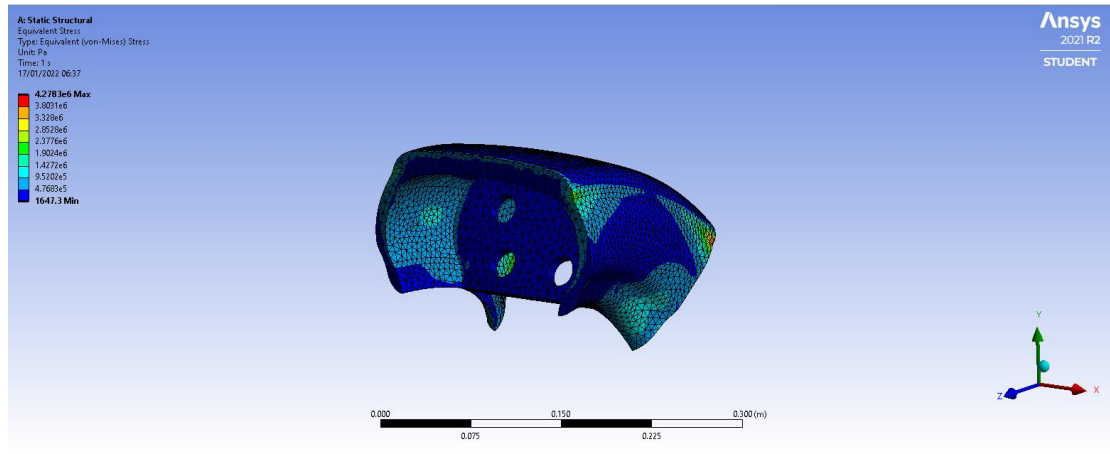
## Προσομίωση 4



Εικόνα 50: Συνολική μετατόπιση

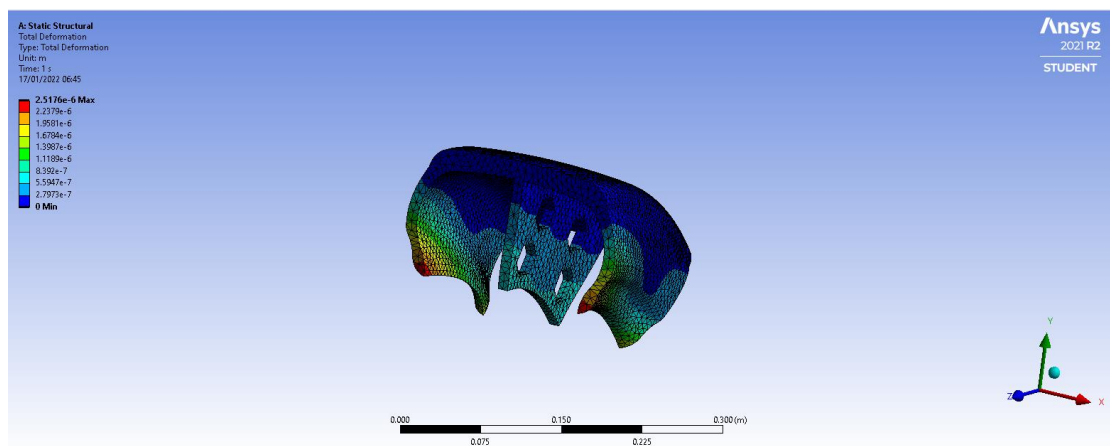


Εικόνα 51: Ελαστική μεταμόρφωση

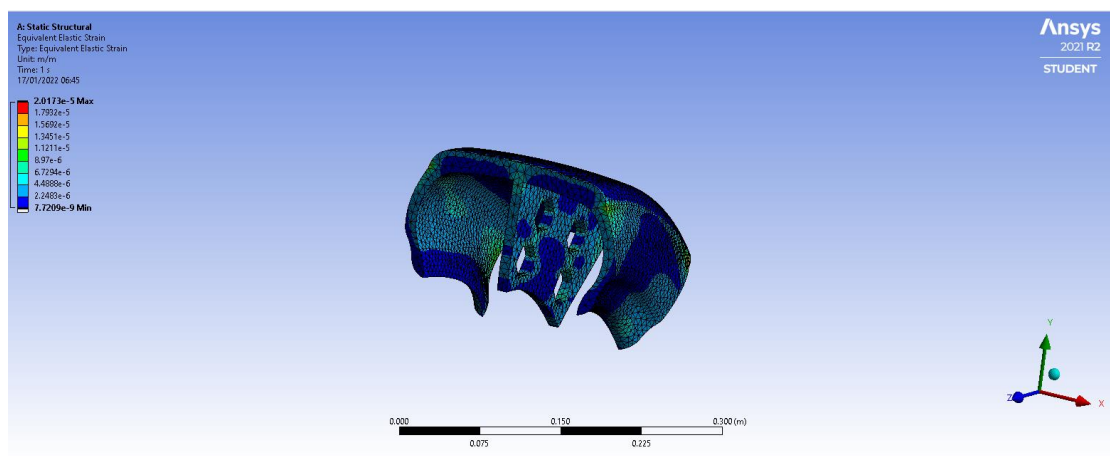


Εικόνα 52: Ισοδύναμη τάση Von Mises

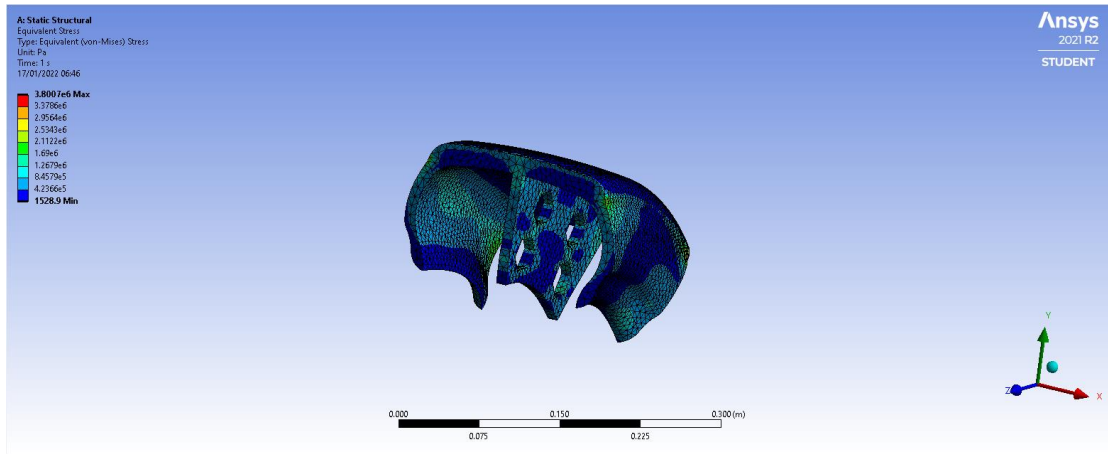
## Προσομίωση 5



Εικόνα 53: Συνολική μετατόπιση

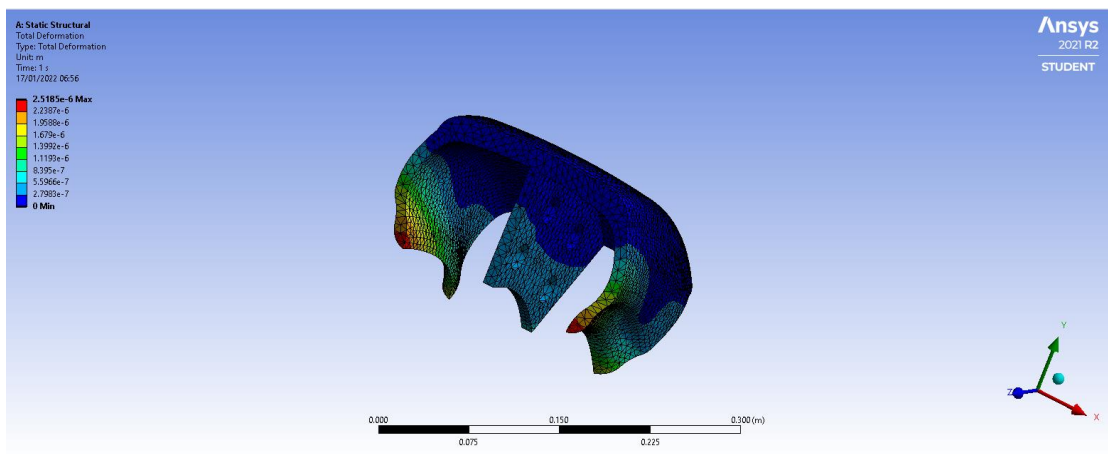


Εικόνα 54: Ελαστική μεταμόρφωση

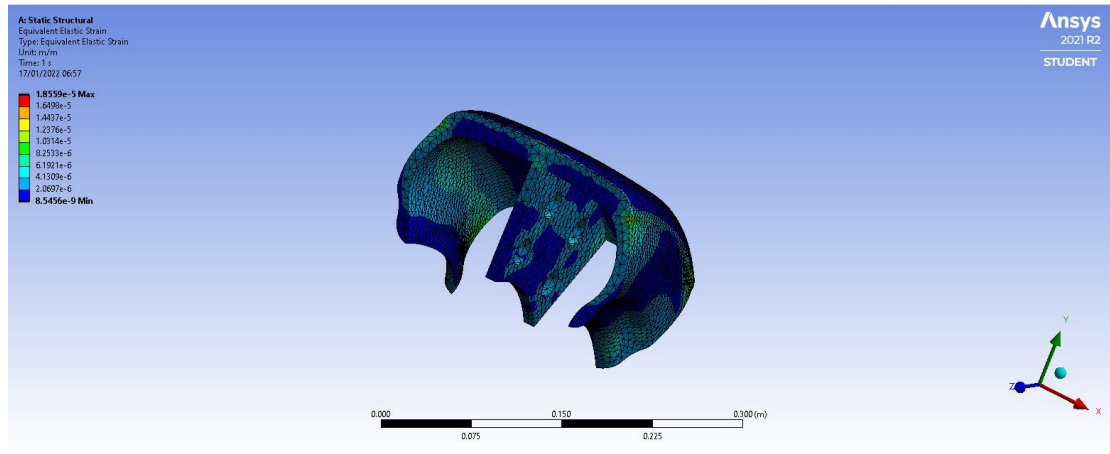


Εικόνα 55: Ισοδύναμη τάση Von Mises

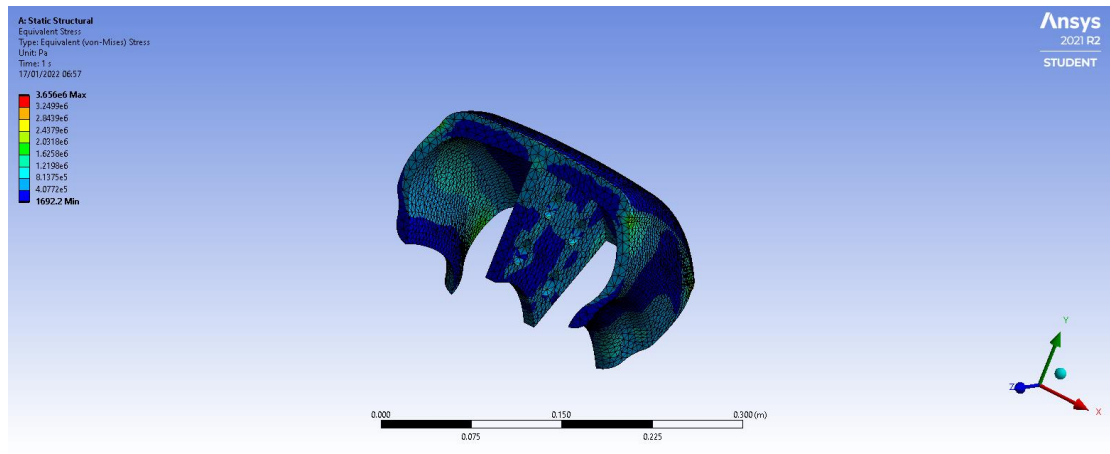
## Προσομοίωση 6



Εικόνα 56: Συνολική μετατόπιση



Εικόνα 57: Ελαστική μεταμόρφωση



Εικόνα 58: Ισοδύναμη τάση Von Mises

## Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή έγινε σχεδιασμός και στην συνέχεια ανάλυση με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων για ελαστικό μεσαίου επιβατικού αυτοκινήτου. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά την ολοκλήρωση της εργασίας είναι:

- Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων αποτελεί πλέον την πιο διαδεδομένη μέθοδο για όλες των ειδών τις προσομοιώσεις και η επαφή μου και η τριβή μου με αυτή την μέθοδο μου έδωσε την ευκαιρία να καταλάβω πως λειτουργεί σε μεγάλο βαθμό
- Οι παραμορφώσεις που αναπτύσσονται στο ελαστικό είναι πολύ μικρές και θεωρούνται αποδεκτές επειδή είναι κάτω του 1mm
- Οι διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται στο ελαστικό είναι και αυτές αποδεκτές και δεν ξεπερνάνε τις μέγιστες τάσεις του υλικού που ανέρχονται σύμφωνα με την βιβλιογραφία σε μέγεθος 60-70MPa
- Το ίδιο με τις διατμητικές ισχύει και για τις ισοδύναμες τάσεις Von Mises
- Σύμφωνα με την εικόνα 40 σε όλο το ελαστικό έχουμε συντελεστή ασφαλείας μεγαλύτερο του 1 και τον μέγιστο να φτάνει το 15
- Τέλος η εργασία αυτή αποτελεί καλή βάση για άλλους συναδέλφους να ασχοληθούν με το συγκεκριμένο θέμα
- Στην δεύτερη προσομοίωση η μέγιστη ισοδύναμη τάση Von Mises είναι 7.13MPa ενώ στις υπόλοιπες που προστεθείτε ενδιάμεσο υλικό είτε στην οριζόντια είτε στην κάθετη διεύθυνση η τάση μειώνεται κατά πολύ κοντά στα 4MPa.
- Στην προσομοίωση 4 όπου είναι οι προσομοιώσεις με την γεωμετρία όπου την μια φορά έχει τέσσερις κύκλους και την άλλη φορά 4 εξάγωνα οι διαφορές στις τάσεις και τις παραμορφώσεις είναι ελάχιστες και αυτό διότι μιλάμε περίπου για την ίδια αφαίρεση υλικού
- Στις προσομοιώσεις 5 και 6 όπου αυτή την φορά η προσθήκη του υλικού είναι στην κάθετη διεύθυνση οι τάσεις και οι παραμορφώσεις που αναπτύσσονται στο ελαστικό είναι ακόμα μικρότερες σε βαθμό 10%, πράγμα που σημαίνει ότι η γεωμετρία αυτή λειτουργεί καλύτερα για την συγκεκριμένη καταπόνηση
- Τέλος η προσομοίωση 6 είναι αυτή που έχει τις μικρότερες αναπτυσσόμενες ισοδύναμες τάσεις κατά Von Mises.

## Βιβλιογραφία

- [1] London *Historians'* Blog  
<https://londonhistorians.wordpress.com/tag/hansom-cab/>
- [2] <https://www.britannica.com/biography/Robert-William-Thomson>
- [3] *The forged hybrid wheel for commercial vehicles, a robust design for augmented product service and performance*, Ramasamy Muthuraj E. Vignesh Sundararajan Thiyagarajan  
[https://www.researchgate.net/publication/283844286\\_The\\_forged\\_hybrid\\_wheel\\_for\\_commercial\\_vehicles\\_a\\_robust\\_design\\_for\\_augmented\\_product\\_service\\_and\\_performance](https://www.researchgate.net/publication/283844286_The_forged_hybrid_wheel_for_commercial_vehicles_a_robust_design_for_augmented_product_service_and_performance)
- [4] *Tubeless misconceptiontubeless misconceptions march 31st, 2021*  
<https://www.enve.com/journal/tubeless-misconceptions/>
- [5] *Effects of Carbide Studded Tires On Roadway Surfaces*  
ALLAN LEE, THOMAS A. PAGE, and RAFAEL DeCARRERA Bureau of Research, Maryland State Roads Commission  
<http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/hrr/1966/136/136-007.pdf>
- [6] *Fracture, friction and granular simulation* SourceOAI Michael P MarderMichael P Marder  
[https://www.researchgate.net/publication/50805253\\_Fracture\\_friction\\_and\\_granular\\_simulation](https://www.researchgate.net/publication/50805253_Fracture_friction_and_granular_simulation)
- [7] <https://www.carcareclinicjetlube.com/maintenance-tips/know-your-tires>
- [8] *Technology assessment of tire mould cleaning systems and quality finishing*  
Cristiano Fragassa Martin Ippoliti,  
[https://www.researchgate.net/publication/309258248\\_Technology\\_assessment\\_of\\_tire\\_mould\\_cleaning\\_systems\\_and\\_quality\\_finishing](https://www.researchgate.net/publication/309258248_Technology_assessment_of_tire_mould_cleaning_systems_and_quality_finishing)
- [9] *Curing characteristics, mechanical and thermal properties of reclaimed ground tire rubber cured with various vulcanizing systems*  
Krzysztof Formela, Dominik Wąsowicz, Magdalena Formela, Aleksander Hejna & Józef Haponiuk, *Iranian Polymer Journal* volume 24, pages289–297 (2015)  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s13726-015-0320-9>

- [10] *Inspection of tire tread defects using image processing and pattern recognition techniques* Penny Chen, Gary D. Shubinsky, Kwan-Hwa Jan, Chien-An Chen, Oliver Sidla, Wolfgang Poelzleitner  
<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/2063/0000/Inspection-of-tire-tread-defects-using-image-processing-and-pattern/10.1117/12.164968.short?SSO=1>
- [11] Bridgestone Tires, "Blizzak Winter Tire Technology: MultiCell Compound," 2011. <https://www.youtube.com/watch?v=uQKnTcNXcDo>
- [12] Ridha, R.A., Clark, S.K., *Tire Stress and Deformation*, in *Mechanics of Pneumatic Tires*, Clark, S.K., Editor. 1981, U.S. Department of Transportation. National Highway Traffic Safety Administration. p. 475-540.
- [13] Hall, W., *Finite Element Modelling and Simulation for a 'Smart' Tyre*, in *School of Engineering*. 2003, University of Warwick: Warwick.
- [14] Ridha, R.A., Clark, S.K., *Tire Stress and Deformation*, in *Mechanics of Pneumatic Tires*, Clark, S.K., Editor. 1981, U.S. Department of Transportation. National Highway Traffic Safety Administration. p. 475-540
- [15] Ellis, J.R., *Vehicle Handling Dynamics*. 1994, London: Mechanical Engineering Publications Limited
- [16] Jazar, R.N., *Vehicle Dynamics: Theory and Application*. 2008, New York: Springer [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-8544-5\\_3](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-8544-5_3)
- [17] *Development of a grip & thermodynamics sensitive tyre / road interaction forces estimation procedure employed in high-performance vehicles simulation* Flavio Farroni  
<https://www.researchgate.net/publication/261175910>
- [18] *Measuring rubber friction using a Laboratory Abrasion Tester (LAT100) to predict car tire dry ABS braking*, Marzieh Salehi Jacques Noordermeer Louis Reuvekamp Anke Blume  
[https://www.researchgate.net/publication/328287551\\_Measuring\\_rubber\\_friction\\_using\\_a\\_Laboratory\\_Abrasion\\_Tester\\_LAT100\\_to\\_predict\\_car\\_tire\\_dry\\_ABS\\_braking](https://www.researchgate.net/publication/328287551_Measuring_rubber_friction_using_a_Laboratory_Abrasion_Tester_LAT100_to_predict_car_tire_dry_ABS_braking)
- [19] *Fundamentals of Tire Behavior* Joop P. Pauwelussen, in *Essentials of Vehicle Dynamics*, 2015  
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/lateral-slip>

- [20] Sandberg, U., Ejsmont, J.A., *Tyre/Road Noise Reference Book*. 2002, Kisa, Sweden: Informex  
 Enhancement of ABS Performance through On-Board Estimation of the Tires' Response by Means of Smart Tires Federico Cheli, Edoardo Sabbioni, Marco Sbrosi, Massimo Brusarosco, Stefano Melzi, Vincenzo d'alessandro  
<https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2011-01-0991/>
- [21] *Wireless Smart -Tires for Road Friction Measurement and Self State Determination*  
 Matthew Palmer Clark Boyd , Jim McManus and Scott Meller Published Online:26 Jun 2012  
<https://doi.org/10.2514/6.2002-1548>
- [22] <https://www.continental-tires.gr/car/all/technology-and-innovation/tire-monitoring-system>
- [23] MARS Exploration Rovers  
<https://mars.nasa.gov/mer/mission/rover/>
- [24] LUNAR EXPLORATION CONCLUDED The Lunar Rover and New Experiments <https://history.nasa.gov/SP-4214/ch13-3.html>
- [25] Reinventing the Wheel  
<https://blogs.nasa.gov/takingupspace/2010/06/>
- [26] *Multiphysics Analysis of Contact Pressure Profile of Airless tires as compared to Conventional Tires Authors S Ludvigsen Z Andleeb H Khawaja M Moatamedi B Alzahabi: https://doi.org/10.21152/1750-9548.14.4.399*
- [27] SURVIVABILITY ENHANCED RUN-FLAT VARIABLE FOOTPRINT TIRES James Capouellez US Army RDE-COM TARDEC, Dr. Abraham Pannikottu Dr. Jon Gerhardt <http://gvsets.ndia-mich.org/documents/MSTV/2010/Survivability%20Enhanced%20Run%20Flat%20Variable%20Footprint%20Tires.pdf>



[28] *Economic, environmental and social benefits of adoption of pyrolysis process of tires: A feasible and ecofriendly mode to reduce the impacts of scrap tires in Brazil* Geraldo Cardoso de Oliveira Neto ,Luiz Eduardo Carvalho Chaves,Luiz Fernando Rodrigues Pinto 1, José Carlos Curvelo Santana <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/7/2076>