



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΡΑΚΗΣ

DEMOCRITUS
UNIVERSITY
OF THRACE

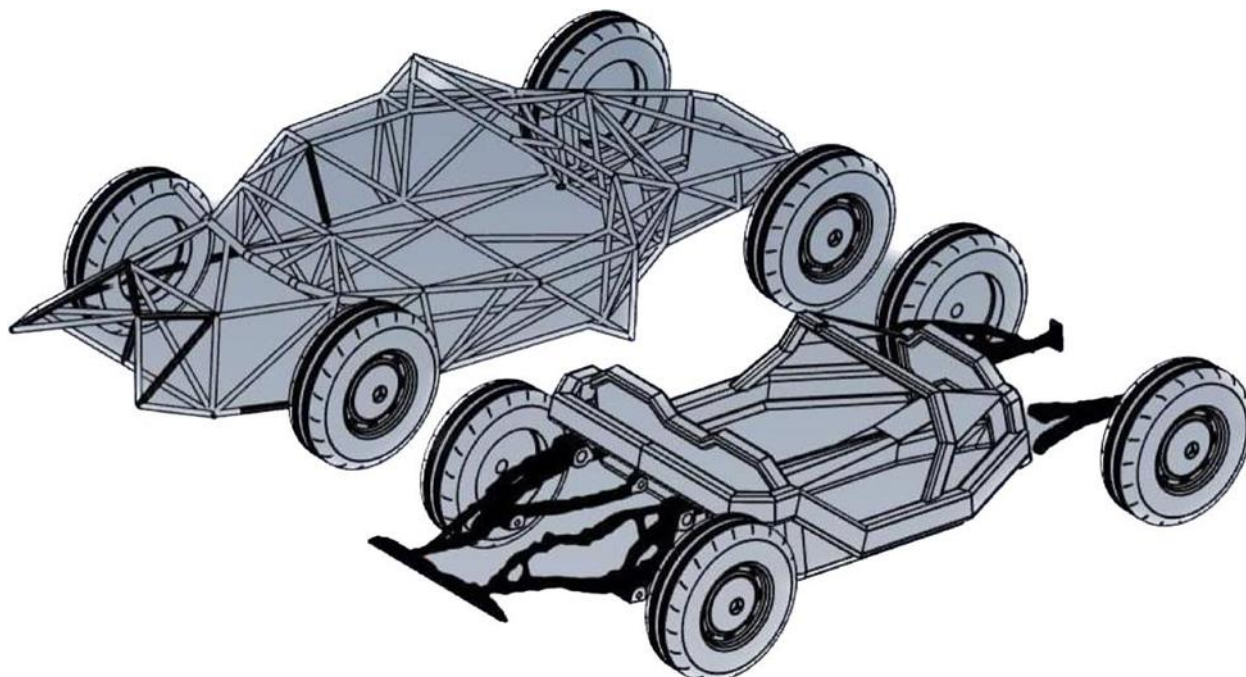
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Εργαστήριο Μηχανολογικού Σχεδιασμού

Επιβλέπων Καθηγητής: Παντελής Ν. Μπότσαρης

Ανασχεδιασμός μερών οχήματος με έμφαση στην κατασκευασιμότητα



Διπλωματική Εργασία
Βοζινίδης Μιχαήλ
91784

Ξάνθη, Δεκέμβριος 2023

Copyright ©

Οι διπλωματικές εργασίες προστατεύονται με το νόμο των πνευματικών δικαιωμάτων (Ν.2121./93). Η διπλωματική εργασία αποτελεί προϊόν συνεργασίας του φοιτητή και των μελών ΔΕΠ, ΕΔΙΠ, ΕΕΠ και ΕΤΕΠ που επιβλέπουν την εκπόνησή της στο ΤΜΠΔ. Τα φυσικά αυτά πρόσωπα έχουν και τα πνευματικά δικαιώματα στη δημοσίευση των αποτελεσμάτων της διπλωματικής εργασίας σε επιστημονικά περιοδικά καθώς και στις ανακοινώσεις τους σε επιστημονικά συνέδρια. Στις Δημοσιεύσεις αυτές τηρείται η επιστημονική δεοντολογία. Η διπλωματική εργασία και ότι άλλο έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια της εκπόνησης ή θα προκύψει από αυτήν όπως τα πιθανά δικαιώματα ευρεσιτεχνίας ή εμπορικής εκμετάλλευσης, προστατεύονται με τη νομοθεσία Ν.2121/93 περί πνευματικής ιδιοκτησίας και ανήκουν στο φοιτητή(-ια), τα μέλη ΔΕΠ, ΕΔΙΠ, ΕΕΠ και ΕΤΕΠ που έχουν επιβλέψει και αναφέρονται στη δήλωση ανάθεσης της διπλωματικής εργασίας. Στη λίστα των ατόμων που έχουν πνευματικά δικαιώματα μπορεί να προστεθούν και διδάσκοντες ΠΔ407/80 ή άλλα άτομα που έχουν συμβάλει δημιουργικά στην επιτυχή ολοκλήρωση τους, ύστερα από έγκριση της Γενικής Συνέλευσης.



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΡΑΚΗΣ

DEMOCRITUS
UNIVERSITY
OF THRACE

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Εργαστήριο Μηχανολογικού Σχεδιασμού

Επιβλέπων Καθηγητής: Παντελής Ν. Μπότσαρης

Στοιχεία Διπλωματικής Εργασίας

Σχολή: Πολυτεχνική

Τμήμα: Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Τομέας/Εργαστήριο: Μηχανολογικού Σχεδιασμού

Όνοματεπώνυμο (ελληνικά): Μιχαήλ Βοζινίδης

Όνοματεπώνυμο (αγγλικά): Michail Vozinidis

Όνομα Πατρός: Παντελής

Τίτλος Εργασίας (ελληνικά): Ανασχεδιασμός μερών οχήματος με έμφαση στην κατασκευασσιμότητα

Τίτλος Εργασίας (αγγλικά): Reengineering of vehicle parts with emphasis on manufacturability

Ημερομηνία υποστήριξης διπλωματικής εργασίας: 07/12/2023

Επιβλέπων Καθηγητής: Καθηγητής Π. Ν. Μπότσαρης

Εξεταστική Επιτροπή:

1. Π. Ν. Μπότσαρης, Καθηγητής, Πολυτεχνική Σχολή Δ.Π.Θ., Τμήμα Μ.Π.Δ.
2. Ζ. Βλαχοστέργιος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Πολυτεχνική Σχολή Δ.Π.Θ., Τμήμα Μ.Π.Δ.
3. Χ. Κυρίτση, ΕΤΕΠ Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός, Πολυτεχνική Σχολή Δ.Π.Θ., Τμήμα Μ.Π.Δ.

Διπλωματική εργασία η οποία υποβλήθηκε τον Δεκέμβριο του 2023 για την απόκτηση του διπλώματος

του Μηχανικού Παραγωγής και Διοίκησης

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2022 στο Εργαστήριο Μηχανολογικού Σχεδιασμού, τομέα Υλικών, Διεργασιών και Μηχανολογίας, τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνικής Σχολής, ΔΠΘ. Αντικείμενό της αποτελεί ο ανασχεδιασμός μερών οχήματος με έμφαση στην κατασκευασσιμότητα.

Η εργασία αποσκοπεί στην βελτίωση του σχεδιασμού του πλαισίου, του αυτοκινήτου SL 300 Gullwing, επικεντρώνοντας την προσοχή σε μεθόδους σχεδιασμού που ενισχύουν την συναρμολογησιμότητα και την κατασκευασσιμότητα. Επιπλέον, στόχο αυτής αποτελεί και η εφαρμογή τεχνικών βελτίωσης της τοπολογίας και προσθετικής κατασκευής προκειμένου να επιτευχθεί η παραγωγή ενός νέου προϊόντος υψηλής απόδοσης.

Το πρώτο κεφάλαιο παρέχει εκτενείς πληροφορίες σχετικά με το τροχοφόρο επιβατηγό όχημα, ενώ το δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζει τις βασικές έννοιες του σχεδιασμού με τεχνικές Design for Manufacturability (DFM) και Design for Assembly (DFA). Το τρίτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στον σχεδιασμό του υφιστάμενου πλαισίου με τη χρήση λογισμικού τρισδιάστατου σχεδιασμού. Στο τέταρτο κεφάλαιο, πραγματοποιείται δυναμική και στατική ανάλυση του υφιστάμενου πλαισίου για τον εντοπισμό πιθανών αδύναμων σημείων αυτού.

Το πέμπτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στην εφαρμογή μεθόδων σχεδιασμού με έμφαση στην κατασκευασσιμότητα και στη συναρμολογησιμότητα στο υφιστάμενο πλαίσιο. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται στο έκτο κεφάλαιο ο ανασχεδιασμός μερών του οχήματος, χρησιμοποιώντας τεχνικές DFM/DFA και μεθόδους βελτιστοποίησης τοπολογίας και προσθετικής κατασκευής. Το έβδομο κεφάλαιο αφιερώνεται στην ανάλυση των ανασχεδιασμένων μερών του οχήματος.

Με αυτόν τον τρόπο, η διπλωματική εργασία προσφέρει μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για τη βελτίωση του σχεδιασμού του πλαισίου του αυτοκινήτου, στοχεύοντας στην αποτελεσματική συναρμολόγηση και κατασκευή. Η σύγκριση των δύο σχεδιασμών παρουσιάζεται στο όγδοο κεφάλαιο. Έπειτα παρέχονται προτάσεις που αποσκοπούν σε πιθανές μελλοντικές έρευνες περαιτέρω ανάπτυξης του νέου οχήματος.

Υπεύθυνος για την αξιολόγηση, τη μελέτη της πρωταρχικής ιδέας και, στη συνέχεια, την εκπόνηση αυτής στο πλαίσιο διπλωματικής εργασίας ήταν ο καθηγητής κύριος Παντελής Ν. Μπότσαρης. Οι γνώσεις του στους τομείς υλικών διεργασιών και μηχανολογίας τον κατέστησαν πρωταρχική και ιδανική επιλογή για μια συνεργασία. Οι εμπειρίες του στη διαχείριση κατασκευασσιμότητας παρείχαν όλα τα γνωστικά εφόδια, απαραίτητα για την ορθή σύνταξη και διόρθωση αυτής, ωστόσο η συνεχής υποστήριξη και το ορθό παράδειγμα σκέψης και πράξης ενός μηχανικού, υπήρξε η πολυτιμότερη προσφορά. Σας ευχαριστώ!

Ξάνθη, Δεκέμβριος 2023

BOZINIΔΗΣ ΜΙΧΑΗΛ

Ευχαριστίες

Στο πλαίσιο εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας οφείλω να ευχαριστήσω θερμά για την πολύτιμη βοήθεια, το αμείωτο ενδιαφέρον και την ορθή καθοδήγηση τον κύριο Παντελή Ν. Μπότσαρη, Καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης. Η εμπιστοσύνη, η επικοινωνία και η μεταλαμπάδευση γνώσεων οδήγησαν σε μία άψογη συνεργασία.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου που ήταν δίπλα μου καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου και, με άμεσο ή έμμεσο τρόπο, συνέβαλαν στην πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Πίνακας Περιεχομένων

Πρόλογος.....	ii
Ευχαριστίες	iii
Πίνακας Περιεχομένων	i
<hr/>	
1 Τροχοφόρο επιβατηγό όχημα.....	2
1.1 Εισαγωγή	2
1.2.1 Ιστορική ανασκόπηση	2
1.2.2 Γενικά χαρακτηριστικά του οχήματος	8
1.2.3 Περιγραφή μερών του οχήματος προς ανάλυση	12
1.3 Ανάπτυξη προϊόντος λαμβάνοντας υπόψη μεθόδους σχεδιασμού για κατασκευή και σχεδιασμού για συναρμολόγηση	14
1.3.1 Σχετικά παραδείγματα εφαρμογής των μεθόδων.....	17
1.4 Σύνοψη	18
1.5 Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου.....	19
2 Σχεδιασμός με τεχνικές DFM/DFA.....	21
2.1 Εισαγωγή	21
2.2 Σχεδιασμός για βελτίωση της κατασκευασιμότητας DFM	23
2.3 Αρχές σχεδιασμού για βελτίωση της κατασκευασιμότητας.....	24
2.4 Σχεδιασμός για βελτίωση της συναρμολόγησης DFA	26
2.5 Αρχές σχεδιασμού για βελτίωση της συναρμολόγησης	27
2.6 Τεχνικές DFM/DFA	30
2.6.1 Τεχνική κατά Boothroyd-Dewhurst	30
2.6.2 Τεχνική κατά Lucas	39
2.6.3 Ανάλυση κατασκευής DFM.....	44
2.7 Σύνοψη	53
2.8 Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου.....	53
3 Σχεδιασμός υφιστάμενου πλαισίου	55
<hr/>	
3.1 Εισαγωγή	55

3.2	Μηχανολογικός σχεδιασμός υφιστάμενου πλαισίου	56
3.3	Υλικά κατασκευής υφιστάμενου πλαισίου	56
3.4	Τρισδιάστατος σχεδιασμός πλαισίου	57
3.5	Σύνοψη	64
3.6	Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου.....	65
4	Δυναμική και στατική ανάλυση υφιστάμενου πλαισίου	68
<hr/>		
4.1	Εισαγωγή	68
4.1.2	Εμπρόσθια πρόσκρουση	69
4.1.3	Οπίσθια πρόσκρουση	72
4.1.4	Πλευρική πρόσκρουση	74
4.2	Στατική Ανάλυση	78
4.2.1	Ανάλυση στρέψης εμπρόσθιας ανάρτησης.....	78
4.2.2	Ανάλυση στρέψης οπίσθιας ανάρτησης	81
4.3	Συμπεράσματα δυναμικής και στατικής ανάλυσης	83
4.4	Σύνοψη	83
4.5	Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου.....	84
5	Εφαρμογή μεθόδων σχεδιασμού με έμφαση στην κατασκευή και στη συναρμολόγηση στο υφιστάμενο πλαίσιο .	85
5.1	Εισαγωγή	85
5.2	Εφαρμογή ανάλυσης συναρμολόγησης DFA.....	85
5.3	Εφαρμογή κατασκευαστικής ανάλυσης DFM στο υφιστάμενο πλαίσιο.....	92
5.5	Σύνοψη	105
5.6	Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου.....	105
6	Ανασχεδιασμός μερών οχήματος.....	108
6.1	Εισαγωγή	108
6.2	Κεντρικό μέρος συνθετικού πλαισίου μονού κελύφους (monocoque).....	109
6.3	Κατασκευή κεντρικού μέρος συνθετικού monocoque πλαισίου	111
6.4	Εμπρόσθιο και οπίσθιο μέρος ατσάλινου πλαισίου, τύπου subframe	111
6.5	Υβριδικό πλαίσιο αυτοκινήτου	113
6.6	Ο σχεδιασμός του κεντρικού μέρους, συνθετικού monocoque πλαισίου του αυτοκινήτου Mercedes SL 300	114

6.7 Βελτίωση Τοπολογίας	115
6.8 Προσθετική κατασκευή, τρισδιάστατη εκτύπωση	118
6.9 Ο σχεδιασμός του εμπρόσθιου και του οπίσθιου μέρους του πλαισίου, τύπου subframe, του αυτοκινήτου Mercedes SL 300 με τη χρήση της μεθόδου της βελτίωσης τοπολογίας	120
6.9 Συναρμολόγηση του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου Mercedes SL 300	123
6.10 Σύνοψη	124
6.11 Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου	125
7 Ανάλυση ανασχεδιασμένων μερών οχήματος	128
7.1 Εισαγωγή	128
7.1.1 Εφαρμογή ανάλυσης συναρμολόγησης DFA	128
7.2 Κατασκευαστική ανάλυση του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου	130
7.3 Ανάλυση χειρισμού της συναρμολόγησης του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου	137
7.4 Ανάλυση συναρμολόγησης DFA του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου	139
7.5 Αποτελέσματα βελτίωσης βάρους	142
7.6 Σύνοψη	145
7.7 Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου	146
Συμπεράσματα και προτάσεις	147
Συμπεράσματα	147
Προτάσεις	149
Βιβλιογραφία	150
9.1 Σύνδεσμοι στο διαδίκτυο	153
Παραρτήματα	155
Παράρτημα Α: Τρισδιάστατη εκτύπωση νέου πλαισίου και μοντέλου αυτοκινήτου υπό κλίμακα	156
Παράρτημα Β: Μηχανολογικός σχεδιασμός υφιστάμενου και νέου πλαισίου του αυτοκινήτου	159
Παράρτημα Γ: Φωτορεαλιστικές απεικονίσεις νέου πλαισίου	163

Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Η εξέλιξη του αυτοκινήτου τον 20ο αιώνα	3
Σχήμα 1.2: Το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο του William Morrison	4
Σχήμα 1.3: Το πρώτο υβριδικό αυτοκίνητο του Ferdinand Porsche	4
Σχήμα 1.4: Το πρώτο βενζινοκίνητο αυτοκίνητο του Karl Benz 1885.....	5
Σχήμα 1.5: Το αυτοκίνητο Model T του Henry Ford 1886.....	5
Σχήμα 1.10: Νέα χαρακτηριστικά και τεχνολογία αυτοκινήτου	7
Σχήμα 1.11: Το μοντέλο W198	8
Σχήμα 1.12: Η ιστορική πρώτη εμφάνιση στις ΗΠΑ	9
Σχήμα 1.13: Ο ελαφρύς σκελετός του αυτοκινήτου	10
Σχήμα 1.14 : Προβολή του κόστους του αυτοκινήτου από το έτος παραγωγής 1955 στο 2021	10
Σχήμα 1.15: Ανάλυση κόστους παραγωγής μέσου αυτοκινήτου από το 2015.....	12
Σχήμα 1.16: Πλαίσιο τύπου σκάλας.....	13
Σχήμα 1.17: Παραγωγή σωληνωτού πλαισίου του SL 300.....	14
Σχήμα 1.18: Η εξέλιξη της μεθόδου σχεδιασμού για κατασκευή και συναρμολόγηση.....	15
Σχήμα 1.19: Το μοντέλο ανάπτυξης νέου προϊόντος	16
Σχήμα 1.20: Παράδειγμα χρήσης λογισμικού DFMA της εταιρίας DFA Product Simplification	18
Σχήμα 2.1: Σχηματικό της συναρμολόγησης ελεγκτή (Boothroyd, 2005)	34
Σχήμα 2.2: Συναρμολόγηση ελεγκτή μετά την εφαρμογή της μεθόδου (Boothroyd, 2005)	38
Σχήμα 2.3: Η μέθοδος Lucas.....	40
Σχήμα 2.4: Η μέθοδος Lucas για μηχανική συναρμολόγηση	41
Σχήμα 3.1: Μηχανολογικό σχέδιο πλαισίου από το εγχειρίδιο χρήσης του αυτοκινήτου	58
Σχήμα 3.2: Τρισδιάστατο σχέδιο πλαισίου του αυτοκινήτου από το πρόγραμμα Solidworks 2020, άνω όψη.....	58
Σχήμα 3.3: Τρισδιάστατο σχέδιο πλαισίου του αυτοκινήτου από το πρόγραμμα Solidworks 2020, πλάγια όψη	59
Σχήμα 3.4: Τρισδιάστατο σχέδιο πλαισίου του αυτοκινήτου από το πρόγραμμα Solidworks 2020, ισομετρική όψη..	59
Σχήμα 3.5: Σχεδιάγραμμα του καταλόγου εξαρτημάτων του πλαισίου του αυτοκινήτου.....	64
Σχήμα 4.1: Πακτώσεις, αρθρώσεις και δυνάμεις που ασκούνται στο πλαίσιο του αυτοκινήτου κατά την εμπρόσθια πρόσκρουση	71
Σχήμα 4.2: Παραμόρφωση πλαισίου ως προς τον X άξονα μετά την εμπρόσθια πρόσκρουση.....	71
Σχήμα 4.3: Συνολική Αξονική Τάση και σημείο εφαρμογής της μέγιστης τιμής αυτής στο πλαίσιο του αυτοκινήτου μετά την εμπρόσθια πρόσκρουση.....	71
Σχήμα 4.5: Συνολική αξονική τάση του πλαισίου του αυτοκινήτου μετά την οπίσθια πρόσκρουση.....	74
Σχήμα 4.6: Παραμόρφωση πλαισίου ως προς τον X άξονα και μέγιστο και ελάχιστο σημείο αυτής μετά την οπίσθια πρόσκρουση	74
Σχήμα 4.7: Πακτώσεις, αρθρώσεις και δυνάμεις που ασκούνται στο πλαίσιο του αυτοκινήτου κατά την πλευρική πρόσκρουση	76
Σχήμα 4.8: Παραμόρφωση πλαισίου ως προς τον Z άξονα και μέγιστο και ελάχιστο σημείο αυτής μετά την πλευρική πρόσκρουση	76

Σχήμα 4.9: Συνολική αξονική τάση του πλαισίου μετά την πλευρική πρόσκρουση.....	76
Σχήμα 4.10: Πακτώσεις, αρθρώσεις και δυνάμεις που ασκούνται στο πλαίσιο του αυτοκινήτου κατά την ανάλυση στρέψης εμπρόσθιας ανάρτησης.....	79
Σχήμα 4.11: Τελική παραμόρφωση του πλαισίου κατά τη στρέψη εμπρόσθιας ανάρτησης.....	80
Σχήμα 4.12: Σημεία του πλαισίου που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον κατά τη στρέψη εμπρόσθιας ανάρτησης και επιλέγονται για πιθανή μελλοντική σύγκριση με το νέο πλαίσιο.....	80
Σχήμα 4.13: Μοίρες περιστροφής του πλαισίου του αυτοκινήτου, ως προς τον Χ άξονα, κατά τη στρέψη εμπρόσθιας ανάρτησης.....	80
Σχήμα 4.14: Πακτώσεις, αρθρώσεις και δυνάμεις που ασκούνται στο πλαίσιο του αυτοκινήτου κατά την ανάλυση στρέψης οπίσθιας ανάρτησης.....	81
Σχήμα 4.15: Τελική παραμόρφωση του πλαισίου κατά τη στρέψη οπίσθιας ανάρτησης.....	81
Σχήμα 4.16: Σημεία του πλαισίου που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον κατά τη στρέψη οπίσθιας ανάρτησης και επιλέγονται για πιθανή μελλοντική σύγκριση με το νέο πλαίσιο.....	82
Σχήμα 4.17: Μοίρες περιστροφής του πλαισίου του αυτοκινήτου, ως προς τον Χ άξονα, κατά τη στρέψη οπίσθιας ανάρτησης.....	82
Σχήμα 6.1: Συνθετικό τμήμα πλαισίου αμαξώματος από ίνες άνθρακα, τύπου monocoque.....	110
Σχήμα 6.2: Εμπρόσθιο μέρος ασάλινου πλαισίου, τύπου subframe.....	113
Σχήμα 6.3: Υβριδικό σασί αυτοκινήτου Lamborghini Aventador LP 700-4.....	113
Σχήμα 6.5: Το νέο συνθετικό κεντρικό μέρος του πλαισίου του αυτοκινήτου, τύπου monocoque (δεύτερη όψη).....	115
Σχήμα 6.6: Η διαδικασία βελτίωσης τοπολογίας.....	116
Σχήμα 6.7: Παράδειγμα βελτιστοποίησης τοπολογίας σε συμβατικό πλαίσιο αυτοκινήτου.....	118
Σχήμα 6.8: Παράδειγμα τρισδιάστατης εκτύπωσης σε βιομηχανική κλίμακα.....	120
Σχήμα 6.10: Τα αποτελέσματα βελτίωσης τοπολογίας στον σχεδιασμό του εμπρόσθιου μέρους του πλαισίου, τύπου subframe (δεύτερη όψη).....	121
Σχήμα 6.11: Τα αποτελέσματα βελτίωσης τοπολογίας στον σχεδιασμό του οπίσθιου μέρους του πλαισίου, τύπου subframe (πρώτη όψη).....	122
Σχήμα 6.12: Τα αποτελέσματα βελτίωσης τοπολογίας στον σχεδιασμό του εμπρόσθιου μέρους του πλαισίου, τύπου subframe (δεύτερη όψη).....	122
Σχήμα 6.13: Συναρμολόγηση κελύφους αυτοκινήτου από ίνες άνθρακα με τα μεταλλικά τμήματα του πλαισίου του μέσω υβριδικής κόλλησης.....	124
Σχήμα 7.1: Ο τρισδιάστατος σχεδιασμός του νέου πλαισίου και τα εξαρτήματα που το απαρτίζουν.....	128
Σχήμα 7.2: Το μέγιστο βάρος χειρισμού.....	141
Σχήμα 7.3 : Συμβολική και αριθμητική βαθμονόμηση μεγέθους και βάρους εξαρτήματος κατά την τοποθέτηση.....	142
Σχήμα 7.4: Συμβολική και αριθμητική βαθμονόμηση δυσκολιών χειρισμού κατά τη τοποθέτηση εξαρτήματος.....	142
Σχήμα 7.5: Ο δείκτης μάζας του πρωταρχικού σωληνωτού πλαισίου του αυτοκινήτου.....	143
Σχήμα 7.6: Ο δείκτης μάζας του κεντρικού τμήματος του νέου πλαισίου από ίνες άνθρακα τύπου monocoque.....	143

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1: Διαθέσιμες επιλογές διαμόρφωσης του αυτοκινήτου και οι αρχικές τιμές αυτών [16].	11
Πίνακας 1.2: Αριθμοί παραγωγής των μοντέλων [17][14].	11
Πίνακας 1.3: Μέγιστη Ισχύς και Ροπή [18].	12
Πίνακας 2.1: Μέθοδος Boothroyd Dewhurst για την αξιολόγηση της DFA	31
Πίνακας 2.2: Μέθοδος Boothroyd Dewhurst για τη συναρμολόγηση ενός ελεγκτή	34
Πίνακας 2.3: Φύλλο εργασίας για τη συναρμολόγηση ελεγκτή	36
Πίνακας 2.4: Προτεινόμενες αλλαγές σχεδιασμού για τον ελεγκτή	38
Πίνακας 2.5: Προτεινόμενες αλλαγές σχεδιασμού για τον ελεγκτή	43
Πίνακας 2.6: Κατηγοριοποίηση κυλινδρικού εξαρτήματος	46
Πίνακας 2.7: Κατηγοριοποίηση πρισματικού εξαρτήματος	46
Πίνακας 2.8: Κατηγοριοποίηση επιπέδου ή λεπτότοιχου εξαρτήματος	47
Πίνακας 2.9: Ο συντελεστής πολυπλοκότητας του εξαρτήματος	47
Πίνακας 2.10: Ο συντελεστής καταλληλότητας υλικού του εξαρτήματος	48
Πίνακας 2.11: Ο συντελεστής μικρότερης διατομής του εξαρτήματος	48
Πίνακας 2.12: Ο συντελεστής ανοχών του εξαρτήματος	48
Πίνακας 2.13: Ο συντελεστής φινιρίσματος του εξαρτήματος	49
Πίνακας 2.14: Ο συντελεστής κατεργασιών του εξαρτήματος	51
Πίνακας 2.15: Ο συντελεστής κόστους του υλικού του εξαρτήματος	52
Πίνακας 2.16: Ο συντελεστής αποβλήτου του εξαρτήματος	52
Πίνακας 3.1: Σύνθεση κράματος κατά βάρος (%)	57
Πίνακας 3.2: Ιδιότητες Υλικού AISI 4130	57
Πίνακας 3.3: Ο κατάλογος εξαρτημάτων του υφιστάμενου σωληνωτού πλαισίου του αυτοκινήτου [Solid Works 2020]	60
Πίνακας 5.1: Προδιαγραφές μεθόδου DFA για το αρχικό πλαίσιο του αυτοκινήτου	86
Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα DFA υφιστάμενης σχεδιαστικής επιλογής του πλαισίου	92
Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα DFM υφιστάμενης σχεδιαστικής επιλογής του πλαισίου	94
Πίνακας 7.1: Προδιαγραφές μεθόδου DFA για το νέο πλαίσιο του αυτοκινήτου	129
Πίνακας 7.2: Αποτελέσματα DFA τελικής σχεδιαστικής επιλογής του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου	129
Πίνακας 7.3: Κατασκευαστική ανάλυση του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου-Βήματα 1 έως 4	132

Πίνακας 7.4: Βήμα 5-Ανάλυση Ανοχής	133
Πίνακας 7.5: Βήμα 6-Ανάλυση Φινιρίσματος Επιφάνειας	134
Πίνακας 7.6: Βήμα 7-Ανάλυση Ποσότητας.....	135
Πίνακας 7.7: Κατασκευαστική ανάλυση του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου, βήματα 5 έως 9.....	136
Πίνακας 7.9: Σύμβολα ανάλυσης χειρισμού	139
Πίνακας 7.10:Λειτουργική ανάλυση της συναρμολόγησης του νέου πλαισίου.....	139
Πίνακας 7.12: Τα αποτελέσματα σύγκρισης μάζας των δύο πλαισίων	145

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τίτλος: Ανασχεδιασμός μερών οχήματος με έμφαση στην κατασκευασσιμότητα

Επιβλέπων: Καθηγητής Παντελής Ν. Μπότσαρης

Υποψήφιος: Βοζινίδης Μιχαήλ

Μια νέα πραγματικότητα απαιτεί μια καινούργια προσέγγιση. Στο πλαίσιο του «σύγχρονου κανονικού», όπου οι βεβαιότητες του παρελθόντος εκλείπουν, απαιτούνται αλλαγές. Ανεξαρτήτως των απαιτήσεων των πελατών και της παραγωγής, θα πρέπει να οριστεί μια νέα θέση ισορροπίας, η οποία θα απαντά σε κάποια σημαντικά ερωτήματα. Κατά τη διαδικασία της παραγωγής, θα πρέπει να δοθεί περισσότερη βαρύτητα στη βελτίωση του χρόνου λειτουργίας λόγω των συνεχώς αυξανόμενων απαιτήσεων ή μοναδική στρατηγική επιβίωσης είναι η μείωση του κόστους; Είναι η κατάλληλη εποχή για επενδύσεις σε ανεξερεύνητους τομείς; Τι θα σημαίνει ο διαφορετικός τρόπος εργασίας για τον οργανισμό και κατ' επέκταση για τον εργαζόμενο; Η μεθοδολογία αποτελεί τον κύριο γνώμονα για τη πραγματοποίηση ορθών επιλογών βραχυπρόθεσμα, αλλά και μακροπρόθεσμα.

Με τον όρο όχημα αναφερόμαστε σε κάθε αυτοκινούμενη, ή όχι, κατασκευή, η οποία έχει σκοπό τη μεταφορά ανθρώπων ή αντικειμένων. Το όχημα που θα μελετηθεί ανήκει σε μια ευρύτερη κατηγορία οχημάτων, τα λεγόμενα επίγεια οχήματα, τα περισσότερα εκ των οποίων φέρουν τροχούς, οι οποίοι τους επιτρέπουν την κίνηση.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται ο σχεδιασμός του πλαισίου του επιλεγόμενου μοντέλου. Αρχικά, γίνεται η πλήρης μοντελοποίηση αυτού με τη βοήθεια προγράμματος τρισδιάστατου παραμετρικού σχεδιασμού ολόκληρης της διάταξης του σκελετού του οχήματος. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται στατική και δυναμική ανάλυση του πλαισίου, μέσω των οποίων θα αποκαλυφθούν τα αδύναμα σημεία, εφόσον αυτά υπάρχουν, και θα αναδειχθούν τα περιθώρια βελτιστοποίησης του οχήματος.

Σε δεύτερη φάση, γίνεται ο εξολοκλήρου σχεδιασμός νέου πλαισίου, ο οποίος θα βασιστεί στην κάλυψη αναγκών που πιθανόν να αναδείξουν οι ακόλουθες μελέτες. Θα επιλεγθούν υλικά και μέθοδοι σχεδιασμού, ανάλυσης και συναρμολόγησης που φάνταζαν εξωπραγματικά την εποχή κατασκευής του αυθεντικού οχήματος. Κατά τη διάρκεια ανασχεδιασμού, λαμβάνονται υπόψη τα κριτήρια βέλτιστης συναρμολογησιμότητας και κατασκευασσιμότητας (DFMA) της μεθόδου Lucas, τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά.

Τέλος, εφαρμόζεται η μέθοδος DFMA στα επιμέρους κομμάτια, τα οποία συντελούν στη διάταξη του νέου πλαισίου. Σκοπός της τελευταίας μεθόδου είναι η βελτιστοποίηση με γνώμονα το κόστος της κατασκευασσιμότητας των εξαρτημάτων, της διάταξης. Παράλληλα, η βελτιστοποίηση του οχήματος σαν αυτοκινούμενο, με ό,τι αυτό συνεπάγεται, αποτελεί εξίσου σημαντικό κριτήριο σχεδιασμού. Οι βελτιωμένες επιδόσεις, που θα προκύψουν από το καινούργιο πλαίσιο, είναι αυτές που θα παρέχουν μια νέα οδηγική εμπειρία! Μετά την εφαρμογή παρουσιάζονται οι συντελεστές κόστους και υλικών που προκύπτουν και ταυτόχρονα παρέχονται πιθανές επιλογές κατασκευής των τεμαχίων του πλαισίου για συγκεκριμένη παραγωγή αυτού.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: Παραμετρικός τρισδιάστατος σχεδιασμός, πλαίσιο, σασί, τρισδιάστατη εκτύπωση, σύνθετα υλικά, στατική και δυναμική μελέτη, κατασκευασσιμότητα, συναρμολογησιμότητα.

ABSTRACT

Title: Reengineering of vehicle parts with emphasis on manufacturability

Supervisor: Professor Pantelis N. Botsaris

Student: Vozinidis Michail

A new reality requires a new approach. In the context of the “modern normal”, where the uncertainties of the past are missing, changes are required. Regardless of customer and production requirements a new equilibrium point should be defined, that will provide the answer to many important questions. In the production process, should more emphasis be placed on improving uptime due to ever-increasing demands, or is cost reduction the only survival strategy? Is it the right time to invest in unexplored areas? What will the different way of working mean for both the organization and the employee? Methodology is the main indicator for making the right choices in the short as well as in the long-term future.

The term vehicle is used to describe any self-propelled structure, or not, that is intended to transport people or objects. The vehicle to be studied belongs to a wider variety of vehicles, the so-called ground ones. Most of which have wheels which allow them to move.

The first part of this paper is the design of the frame of the selected model. The entire vehicle frame layout and design is achieved with the help of a three-dimensional parametric design program. Then a complete static and dynamic analysis of the frame is carried out, with the intention to reveal the weak structure points, if they exist, and then highlight the limits of the possible vehicle design optimization.

The second phase includes the entire redesign of the framework, that will be based on proceeding the likely needs highlighted by the above studies. New materials, design, analysis, and assembly methods, that at the time of the original vehicle’s construction seemed unreal, will be evaluated, tested and finally be chosen. During the re-engineering of the vehicle, the Lucas method for optimal assembly and manufacturability (DFMA) are taken into consideration and presented in full detail.

In conclusion, the DFMA method is applied to the pieces that constitute the new frame. The purpose of the latter method is to optimize cost-wise the manufacturability of the assembly pieces. At the same time, the optimization of the vehicle with what this entails is one of equally importance criterion. The improved performances, as result from the new design, intend to provide a new driving experience! After the application, the resulting cost and material factors are presented and simultaneously possible construction option for the frame pieces, for specific production are provided.

KEY WORDS: Parametric 3D design, frame, chassis, 3Dprinting, composite materials, static and dynamic analysis, manufacturability, assembly.

Αφιερώνεται στους ανθρώπους που θεωρώ οικογένεια μου !

Κεφάλαιο 1

Τροχοφόρο επιβατηγό όχημα

Περιεχόμενα

1 Τροχοφόρο επιβατηγό όχημα.....	2
1.1 Εισαγωγή.....	2
1.2.1 Ιστορική ανασκόπηση.....	2
Σχήμα 1.1: Η εξέλιξη του αυτοκινήτου τον 20ο αιώνα.....	3
Σχήμα 1.2: Το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο του William Morrison.....	4
Σχήμα 1.3: Το πρώτο υβριδικό αυτοκίνητο του Ferdinand Porsche.....	4
Σχήμα 1.4: Το πρώτο βενζινοκίνητο αυτοκίνητο του Karl Benz 1885.....	5
Σχήμα 1.5: Το αυτοκίνητο Model T του Henry Ford 1886.....	5
Σχήμα 1.10: Νέα χαρακτηριστικά και τεχνολογία αυτοκινήτου.....	7
1.2.2 Γενικά χαρακτηριστικά του οχήματος.....	8
.....	8
Σχήμα 1.11: Το μοντέλο W198.....	8
Σχήμα 1.12: Η ιστορική πρώτη εμφάνιση στις ΗΠΑ.....	9
Σχήμα 1.13: Ο ελαφρύς σκελετός του αυτοκινήτου.....	10
Σχήμα 1.14 : Προβολή του κόστους του αυτοκινήτου από το έτος παραγωγής 1955 στο 2021.....	10
Σχήμα 1.15: Ανάλυση κόστους παραγωγής μέσου αυτοκινήτου από το 2015.....	12
1.2.3 Περιγραφή μερών του οχήματος προς ανάλυση.....	12
Σχήμα 1.16: Πλαίσιο τύπου σκάλας.....	13
Σχήμα 1.17: Παραγωγή σωληνωτού πλαισίου του SL 300.....	14
1.3 Ανάπτυξη προϊόντος λαμβάνοντας υπόψη μεθόδους σχεδιασμού για κατασκευή και σχεδιασμού για συναρμολόγηση.....	14
Σχήμα 1.18: Η εξέλιξη της μεθόδου σχεδιασμού για κατασκευή και συναρμολόγηση.....	15
Σχήμα 1.19: Το μοντέλο ανάπτυξης νέου προϊόντος.....	16
1.3.1 Σχετικά παραδείγματα εφαρμογής των μεθόδων.....	17
Σχήμα 1.20: Παράδειγμα χρήσης λογισμικού DFMA της εταιρίας DFA Product Simplification.....	18
1.4 Σύνοψη.....	18

1 Τροχοφόρο επιβατηγό όχημα

1.1 Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο τον σχεδιασμό ενός εξολοκλήρου νέου πλαισίου αυτοκινήτου, συμβατού, αλλά και βελτιωμένου αυτού που συναντάται στο αυτοκίνητο Mercedes sl 300 gullwing (CAD), τη στατική και δυναμική ανάλυση αυτού, καθώς και τη μελέτη με βάση τις αρχές των προσεγγίσεων Design for Manufacture (DFM) και Design for Assembly (DFA), όπως αυτές προκύπτουν από τη διεθνή βιβλιογραφία. Τελικά, παρουσιάζονται οι βέλτιστες λύσεις που προκύπτουν από τη μέθοδο DFM-DFA, ή πιο σύντομα DFMA, και γίνεται διερεύνηση. Στο κεφάλαιο αυτό θα πραγματοποιηθεί ιστορική ανασκόπηση του τροχοφόρου επιβατηγού οχήματος.

1.2.1 Ιστορική ανασκόπηση

Η έννοια της μεταφοράς είναι συνυφασμένη με τη δημιουργία και την ύπαρξη της ανθρώπινης ζωής. Ο πρωτόγονος άνθρωπος εξασφάλιζε τις ανάγκες εύρεσης τροφής, εξερεύνησης του περιβάλλοντος, προστασίας του εαυτού του και της αγέλης και εύρεσης καταφυγίου βαδίζοντας. Ωστόσο, σύντομα διαπίστωσε ότι οι φυσικές αντοχές του για κάλυψη μεγάλων αποστάσεων ήταν περιορισμένες, ιδιαίτερα η ικανότητα μεταφοράς βαριών υλικών ή τροφής σε σημαντικές αποστάσεις.

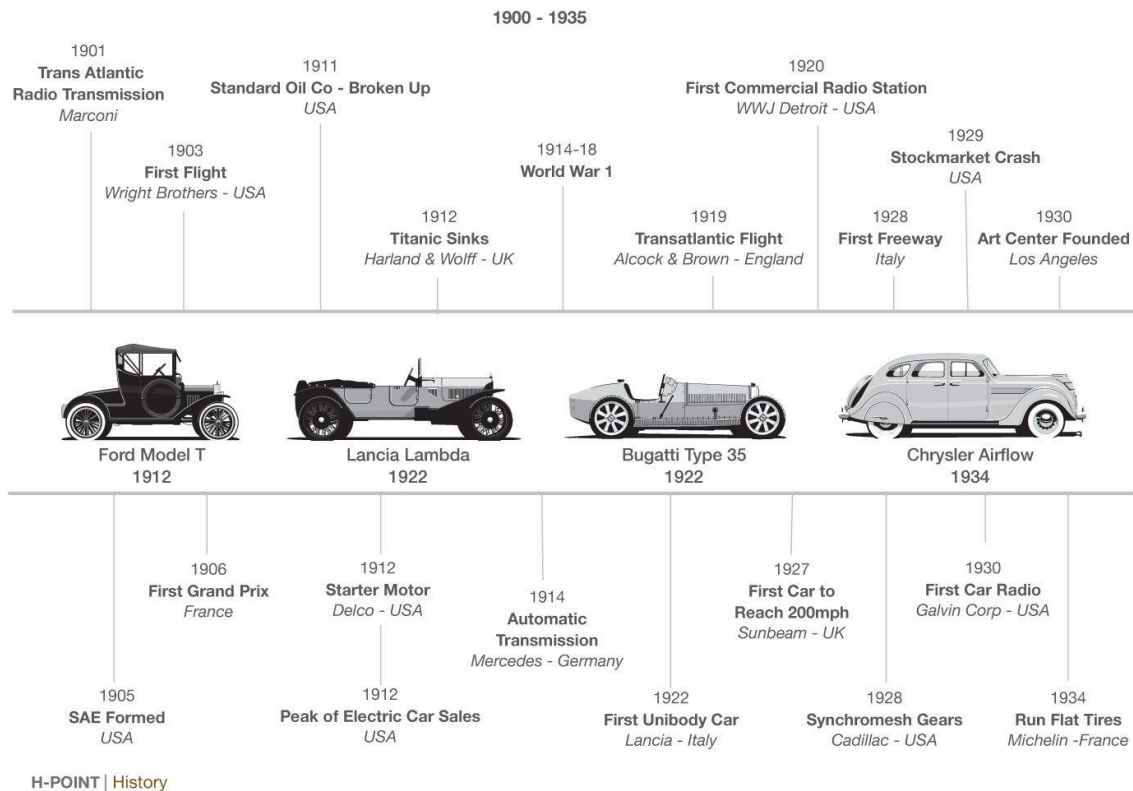
Το σύνολο των αδυναμιών αυτών, οδήγησαν τον πρωτόγονο άνθρωπο στην αναζήτηση εναλλακτικών τρόπων μεταφοράς, τόσο για τον ίδιο, όσο και για τα αγαθά του. Αρχικά, χρησιμοποίησε ζώα στην ξηρά και, από το πρωτόγονο μονόξυλο στις λίμνες και στους ποταμούς, εξερεύνησε μέχρι και τη θάλασσα. Η διαδικασία της εξέλιξης συνέχισε με διαδοχικές εφευρέσεις, κάποιες από τις οποίες είναι ο τροχός, το κουπί, το πανί, ο ατμός, και η ατμομηχανή, το πετρέλαιο, και τα παράγωγά του, και οι μηχανές εσωτερικής καύσης. Σήμερα η εκμετάλλευση ακόμα και της ηλιακής ενέργειας, αλλά και της χημικής σύστασης, της δομής και των αντιδράσεων στοιχείων, όπως το υδρογόνο και το οξυγόνο, αξιοποιούνται προς όφελός του για την κάλυψη της ανάγκης της μεταφοράς.

Στην εποχή μας ο άνθρωπος έχει καταφέρει να αναπτύξει την κατάλληλη τεχνολογία για την κατασκευή μηχανημάτων, τα οποία θα αναπτύξουν μεγάλες ταχύτητες και θα μεταφέρουν σημαντικές ποσότητες εμπορευμάτων ή και επιβατών. Παράλληλα, αποκτά συνεχώς μεγαλύτερη βαρύτητα, στην έννοια της μεταφοράς, η οικολογική συνείδηση και η περιβαλλοντική ρύπανση, που επί τόσα χρόνια επιφέρει η κάλυψη της ανάγκης αυτής.

Το αυτοκίνητο είναι ένα τροχοφόρο, ως επί το πλείστον, επιβατηγό όχημα με ενσωματωμένο κινητήρα, που χρησιμοποιείται για μεταφορές. Κατά τους συνηθέστερους ορισμούς, τα αυτοκίνητα σχεδιάζονται, ώστε να κινούνται, κατά κύριο λόγο, στους αυτοκινητοδρόμους, να εξασφαλίζουν καθίσματα για, κατά κανόνα, δυο έως πέντε άτομα,

συνήθως φέρουν τέσσερις τροχούς και η κατασκευή τους στοχεύει στη μεταφορά ανθρώπων, αλλά και, κάποιες φορές, στη μεταφορά αγαθών [1][2].

Το έτος γέννησης του πρώτου σύγχρονου αυτοκινήτου θεωρείται το 1886, όταν ο Γερμανός εφευρέτης Karl Benz κατοχύρωσε το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας του Benz Patent Motorwagen. Έγιναν ευρέως διαθέσιμα στις αρχές του εικοστού αιώνα. Το Ford Model T ήταν το αυτοκίνητο της αμερικανικής αυτοκινητοβιομηχανίας Ford Motor Company, που παρήχθη από τη 1 Οκτωβρίου 1908 έως τις 26 Μαΐου 1927 [3][4]. Θεωρείται το πρώτο προσιτό όχημα στην ιστορία, το οποίο επέτρεψε τις μεταφορές και τα ταξίδια στη αμερικανική μεσαία τάξη. Μερικά από αυτά τα επιτεύγματα οφείλονται στην αποτελεσματική κατασκευή της Ford, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής με γραμμή συναρμολόγησης, κοινώς μαζικής παραγωγής, αντί για χειροκίνητη παραγωγή του κάθε αυτοκινήτου ξεχωριστά [5]. Κατά την εποχή παραγωγής του, το Ford Model T ήταν επιτυχημένο, όχι μόνο επειδή παρείχε ανέξοδη μεταφορά σε τεράστια κλίμακα, αλλά και επειδή με την καινοτομία που εισήγαγε τότε, τη μαζική παραγωγή, επέκτεινε το αυτοκίνητο και στην ανερχόμενη μεσαία τάξη και έγινε ένα ισχυρό σύμβολο της εποχής του εκσυγχρονισμού της βόρειας Αμερικής και της μετατροπής της σε οικονομικό και βιομηχανικό κολοσσό. Με 16,5 εκατομμύρια πωλήσεις, το 2012 βρισκόταν στην όγδοη θέση και, συγκεκριμένα, στην πρώτη δεκάδα των κορυφαίων σε πωλήσεις αυτοκινήτων όλων των εποχών [6]. Στο σχήμα 1.1 παρουσιάζονται κάποια οχήματα-ορόσημο στην εξέλιξη του αυτοκινήτου σε χρονική σύγκριση με κάποια σπουδαία ανθρώπινα επιτεύγματα.

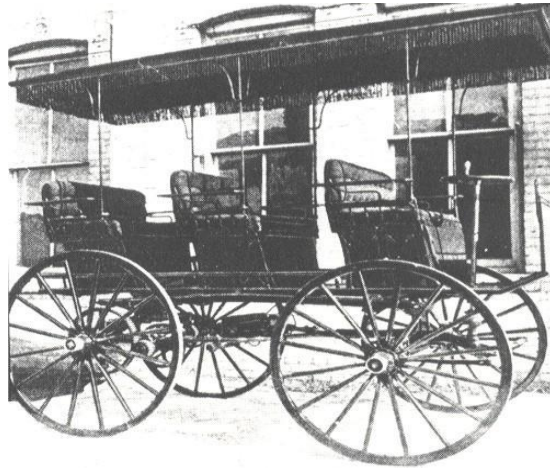


Σχήμα 1.1: Η εξέλιξη του αυτοκινήτου τον 20ο αιώνα

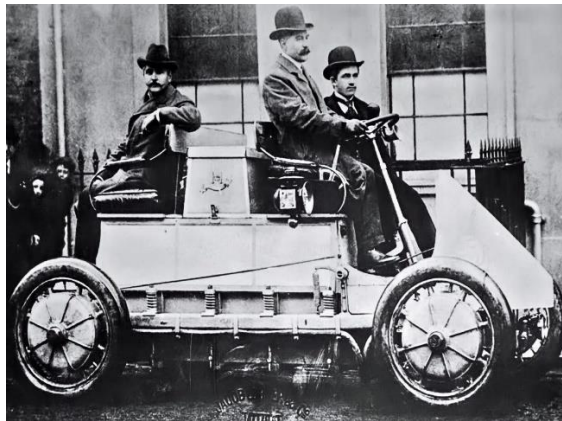
Τα πρώτα οχήματα με ατμό και ηλεκτρική ενέργεια 1700 – 1890

Οι ατμομηχανές, χρησιμοποιώντας την ενέργεια και την πίεση του ατμού, επιτύγχαναν τη μεταφορά σιδηροδρομικών οχημάτων για πολλά έτη. Το 1870 εμφανίζονται τα πρώτα μικρού μεγέθους αυτοκίνητα εξοπλισμένα με ατμομηχανή. Απαιτούσαν πολύ χρόνο για να τεθούν σε κίνηση και παρείχαν σχετικά περιορισμένη εμβέλεια. Στις αρχές του 1800, εφευρέτες ανά τον κόσμο άρχισαν να κατασκευάζουν τα πρώτα ηλεκτροκίνητα μικρά οχήματα. Λίγες δεκαετίες αργότερα, Άγγλοι και Γάλλοι μηχανικοί κατασκεύασαν τα πρώτα ηλεκτρικά οχήματα, που φέρουν πολλές ομοιότητες με τα σημερινά. Το 1890 ο William Morrison κατοχύρωσε το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, το οποίο είχε μέγιστη ταχύτητα τα δεκατέσσερα μίλια την ώρα, ενώ μπορούσε να χωρέσει έως και έξι άτομα, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 1.2.

Στη συνέχεια, το 1898 ο Γερμανός Ferdinand Porsche σχεδίασε κάτι επαναστατικό. Δημιούργησε το πρώτο υβριδικό όχημα που κινούνταν με ηλεκτρισμό και βενζίνη. Αποτέλεσε το θεμελιώδες σχέδιο του υβριδικού αυτοκινήτου, το οποίο θα κατασκευαστεί περίπου εκατό χρόνια αργότερα. Το συγκεκριμένο όχημα φαίνεται στο σχήμα 1.3.



Σχήμα 1.2: Το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο του William Morrison



Σχήμα 1.3: Το πρώτο υβριδικό αυτοκίνητο του Ferdinand Porsche

Η κατάκτηση της αγοράς από τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα μαζικής παραγωγής 1890 – 1930

Όπως προαναφέρθηκε, αν και υπήρχαν απόπειρες σχεδιασμού και κατασκευής βενζινοκίνητων αυτοκινήτων, είναι ευρέως αποδεκτό ότι το πρώτο κατοχυρωμένο όχημα τέτοιου τύπου είναι του Karl Benz το 1885 (σχήμα 1.4). Η εφεύρεση του βενζινοκίνητου αυτοκινήτου σήμανε την αφετηρία της εξέλιξης αυτού του τύπου οχήματος και στην Αμερική. Τα πρώτα αυτοκίνητα δεν είχαν εμπρόσθιο υαλοπίνακα, πόρτες, φλάς ή, ακόμα και, στρογγυλό τιμόνι. Μπορεί να ειπωθεί ότι το αυτοκίνητο του Karl Benz αποτέλεσε γνώμονα για την παραγωγή των σύγχρονων αυτοκινήτων, καθώς πολλές αυτοκινητοβιομηχανίες ακολούθησαν τα βήματα του, προσπαθώντας να δημιουργήσουν τη δική τους εκδοχή. Εκείνη την εποχή τα ηλεκτρικά οχήματα προορίζονταν για ευρεία χρήση και κίνησαν το ενδιαφέρον των ανθρώπων. Ωστόσο, το κύριο πρόβλημά τους, αυτό των περίτεχνων ακριβών μηχανημάτων που συνθέταν, δεν επέτρεψε τη μαζική παραγωγή και αφομοίωσή τους στην αγορά από τη μεσαία τάξη. Το μοντέλο T του Henry Ford, το οποίο απεικονίζεται στο σχήμα 1.5, μαζί με τον τρόπο κατασκευής του και τη γραμμή συναρμολόγησης, έδωσε τη λύση σε αυτό το πρόβλημα. Παράλληλα, η κίνηση με βενζινοκίνητρες αποτέλεσε μια οικονομική λύση, ιδανική για μαζική παραγωγή, δίνοντας στα οχήματα αυτά την πρωταρχική μορφή που γνωρίζουμε μέχρι και σήμερα.



Σχήμα 1.4: Το πρώτο βενζινοκίνητο αυτοκίνητο του Karl Benz 1885



Σχήμα 1.5: Το αυτοκίνητο Model T του Henry Ford 1886

Χαρακτηριστικά οχημάτων στο επίκεντρο της αυτοκινητοβιομηχανίας 1930 – Σήμερα

Με τη μαζική παραγωγή του αυτοκινήτου προέκυψαν κάποια νέα χαρακτηριστικά που το καθορίζουν. Κάποια από αυτά ήταν τα ταχύμετρα, οι ζώνες ασφαλείας, τα παρμπρίζ και οι καθρέπτες οπισθοπορείας. Τα πρώτα φλας προστέθηκαν σε αυτοκίνητο το 1939, αφού είχαν ανακαλυφθεί ο κλιματισμός και τα ηλεκτρικά παράθυρα (σχήμα 1.6). Αναφορικά με ορισμένες από τις σπουδαιότερες εφευρέσεις, αυτές είναι το υδραυλικό τιμόνι το 1951 (σχήμα 1.8), ο ρυθμιστής της ταχύτητας κίνησης το 1957, οι ζώνες ασφαλείας τριών σημείων το 1959 (σχήμα 1.7) και τα θερμαινόμενα καθίσματα το 1966. Το έτος 1973 η Oldsmobile εγκατέστησε τον πρώτο αερόσακο επιβατών στο μοντέλο «Tornado», όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.9. Σχεδόν είκοσι χρόνια αργότερα, το 1998, η ομοσπονδιακή κυβέρνηση όρισε πως όλα τα επιβατηγά οχήματα οφείλουν να διαθέτουν διπλούς μετωπικούς αερόσακους. Στα τέλη της δεκαετίας του '80 και στις αρχές της δεκαετίας το '90, τα συστήματα εισόδου χωρίς κλειδί, οι ηλεκτρικές πόρτες και παράθυρα, οι ηλιοροφές και οι συσκευές αναπαραγωγής CD άρχισαν να αποτελούν τυπικά χαρακτηριστικά του αυτοκινήτου. Αυτή είναι η εποχή που η τεχνολογία θα συνεισφέρει δραστικά στην ιστορία πώλησης του αυτοκινήτου.



Σχήμα 1.6: Τα πρώτα συρόμενα παράθυρα



Σχήμα 1.7: Η πρώτη ζώνη ασφαλείας τριών σημείων



Σχήμα 1.8: Το πρώτο υδραυλικό τιμόνι



Σχήμα 1.9: Ο πρώτος επιβατικός αερόσακος

Σύγχρονα χαρακτηριστικά οχημάτων

Τα αυτοκίνητα του σήμερα είναι εξοπλισμένα με Bluetooth, σκληρούς δίσκους, προηγμένα συστήματα ασφάλειας και πλοήγησης, αλλά και τη δυνατότητα να πλοηγούνται και να σταθμεύουν πλήρως αυτόνομα. Κατασκευάζονται με χαρακτηριστικά που κάποτε θεωρούνταν πολυτέλειες, αν όχι ουτοπίες. Το άλμα της τεχνολογίας στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας είναι εκπληκτικό και, ιδιαίτερα, το σύντομο χρονικό διάστημα εξέλιξης που απαιτήθηκε σχετικά με άλλα μέσα μεταφοράς. Καθώς η τεχνολογία προχωρά, η τήρηση των τεχνικών οδήγησης και ασφαλείας κατά τις μεταφορές, άλλα και ο σχεδιασμός και η κατασκευή νέων αυτοκινήτων, βασισμένων σε νέες μεθόδους παραγωγής, προηγμένα υλικά και, περισσότερο από ποτέ, οικολογική συνείδηση, αποτελεί μονόδρομο. Σημαντικός παράγοντας στην επίτευξη των παραπάνω θεωρείται η αυτόνομη οδήγηση και η πράσινη ενέργεια, που θα απασχολήσουν τα επόμενα χρόνια. Ένα παράδειγμα προσομοίωσης οδήγησης και ανάπτυξης λογισμικού αυτόνομης οδήγησης φαίνεται στο σχήμα 1.10 .



Σχήμα 1.10: Νέα χαρακτηριστικά και τεχνολογία αυτοκινήτου

1.2.2 Γενικά χαρακτηριστικά του οχήματος

Η Mercedes Benz 300 SL, με κωδικό πλαισίου W 198 (σχήμα 1.11) είναι ένα διθέσιο σπορ αυτοκίνητο που κατασκευάστηκε από τη Mercedes Benz ως Gullwinged coupe (1954-1957) και roadster (1957-1963) [7]. Βασίστηκε στο αγωνιστικό όχημα της εταιρίας του 1952, το W194, εξοπλισμένο με μηχανικό άμεσο ψεκασμό καυσίμου ο οποίος αύξησε την ισχύ σχεδόν κατά 50 τις εκατό στον κινητήρα τριών λίτρων και έξι κυλίνδρων τοποθετημένων σε σειρά [8]. Ικανό να αναπτύξει τελική ταχύτητα έως και 263 km/h (163 mph), ήταν πρωταθλητής αγώνων σπορ αυτοκινήτων [9], καθώς και το ταχύτερο αυτοκίνητο παραγωγής της εποχής του [8].



Σχήμα 1.11: Το μοντέλο W198

Ο Max Hoffman, εισαγωγέας της Mercedes Benz στις Ηνωμένες Πολιτείες εκείνη την εποχή, εμπνεύστηκε το SL 300 και οραματίστηκε μια θέση στην αμερικανική αγορά για ένα τέτοιο αυτοκίνητο. Η εταιρία παρουσίασε το μοντέλο τον Φεβρουάριο του 1954 στη διεθνή έκθεση αυτοκινούμενου αθλητισμού στην Νέα Υόρκη (αντί για την Ευρώπη) με απώτερο σκοπό να εισαχθεί πρώτα στην αμερικανική αγορά, στην οποία και στόχευε (σχήμα 1.12). Το SL είναι η συντομογραφία για τον όρο «super light» (στα γερμανικά «super leicht») [10].



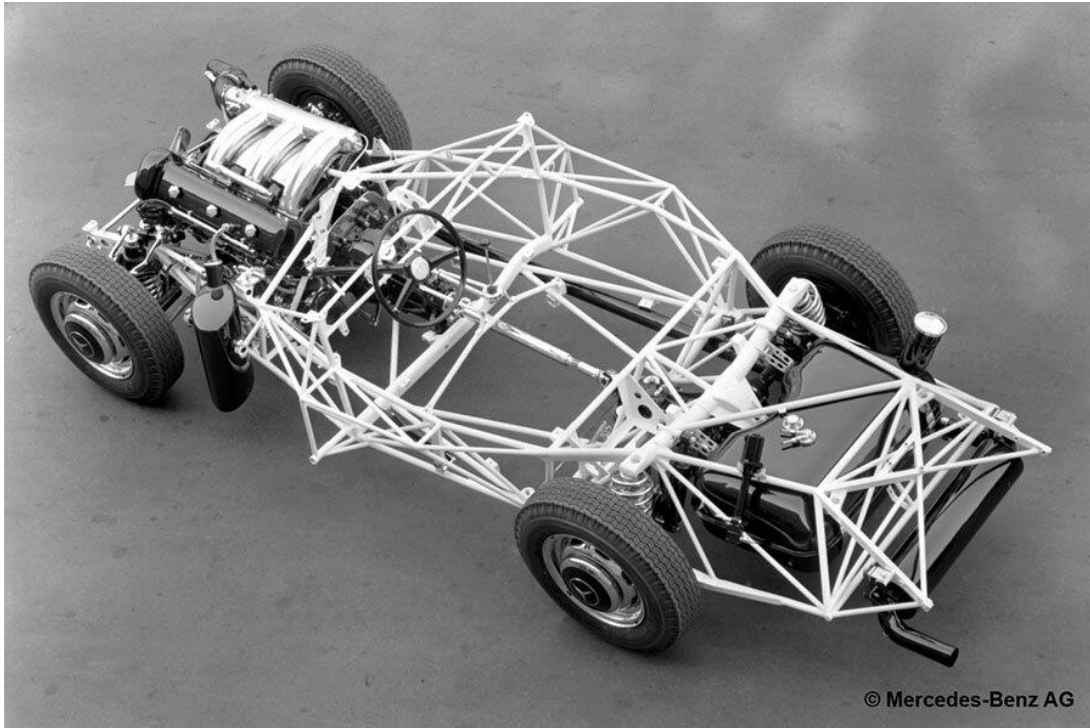
Σχήμα 1.12: Η ιστορική πρώτη εμφάνιση στις ΗΠΑ

Η πρώτη χρήση της ονομασίας αυτής από τη εταιρία Mercedes, αναφέρεται στην κατασκευή αγωνιστικού ελαφρού σωληνωτού πλαισίου του αυτοκινήτου, το οποίο φαίνεται και στο σχήμα 1.13. Το 300 SL ψηφίστηκε ως το «σπορ αυτοκίνητο του αιώνα» το 1999 [11].

Το 300 SL κατάγεται από ένα αγωνιστικό σπορ αυτοκίνητο, τη Mercedes-Benz W194. Για τον σκοπό αυτό, ο Daimler Benz αποφάσισε να αγωνιστεί το 1951 και κατασκεύασε ένα σπορ αυτοκίνητο. Ως αποτέλεσμα, αναπτύχθηκε ο μεγαλύτερος κινητήρας της Mercedes, ο M186, που συναντάται στο 300 «Adenauer saloon» (W186) και στο πολυτελές 300 S διθέσιο tourer (W188) [12].

Οι αγωνιστικές του επιτυχίες θεωρούνται ακόμα και σήμερα εκπληκτικές, καθώς ο κινητήρας του ήταν εφοδιασμένος με καρμπιρατέρ, που απέδιδε 175 ίππους, λιγότερους από τα ανταγωνιστικά αυτοκίνητα εταιριών, όπως αυτά της Ferrari και της Jaguar. Το μικρό βάρος του και ο μελετημένος σχεδιασμός του, ο οποίος κατάφερε μικρό συντελεστή οπισθέλκουσας δύναμης, αύξησαν δραστικά την ταχύτητα του οχήματος, μετατρέποντας το σε ένα γρήγορο αυτοκίνητο ικανό να ανταπεξέλθει ακόμα και σε αγώνες αντοχής εκείνης της εποχής.

Η Mercedes-Benz ανέπτυξε μια νέα έκδοση για την αγωνιστική σεζόν του 1953 προσθέτοντας ψεκάσμο καυσίμου και τροχούς 16 ιντσών. Το κιβώτιο ταχυτήτων τοποθετήθηκε στον οπίσθιο άξονα του αυτοκινήτου. Το πλαίσιο του ήταν κατασκευασμένο από Elektron, ένα κράμα μαγνησίου, το οποίο μείωσε το βάρος του κατά 85 κιλά (187 λίβρες). Η εταιρία, ωστόσο, αποφάσισε να μην αγωνιστεί με αυτό το συγκεκριμένο αυτοκίνητο, επιλέγοντας αντ' αυτού να αρχίσει να συμμετέχει στη Formula 1 το 1954 [13]. Οι μεταγενέστερες εκδόσεις αναθεώρησαν το σώμα, για να μειώσουν την αντίσταση του αέρα, και δε συνέχισαν τη διάταξη μετάδοσης.



Σχήμα 1.13: Ο ελαφρύς σκελετός του αυτοκινήτου

Στο έτος παραγωγής, η τιμή για το κουπέ 300 SL στη Γερμανία ήταν 29.000 γερμανικά μάρκα και 6.820 αμερικανικά δολάρια στις ΗΠΑ [14]. Το ανοικτό αυτοκίνητο (καμπριολέ) κόστιζε 32.500 στη Γερμανία και 10.950 στις ΗΠΑ αντίστοιχα – 10 τοις εκατό πιο ακριβό από το κουπέ στην Ευρώπη και πάνω από 70 τοις εκατό περισσότερο στις ΗΠΑ [15].

Μέσο Κόστος τυπικής έκδοσης κατά τη διάρκεια παραγωγής (προ φόρων): 6,820\$

Εκτιμώμενο κέρδος κατασκευαστή 10 % (ανά όχημα): -682\$

Τελικό Κόστος παραγωγής: 6,138\$

Προβολή τιμής από το 1955 (μέγιστη ποσότητα παραγωγής) στο 2021: 61,535\$



Σχήμα 1.14 : Προβολή του κόστους του αυτοκινήτου από το έτος παραγωγής 1955 στο 2021

Μετατροπή σε Ευρώ: **52,969.33€ ανά όχημα**

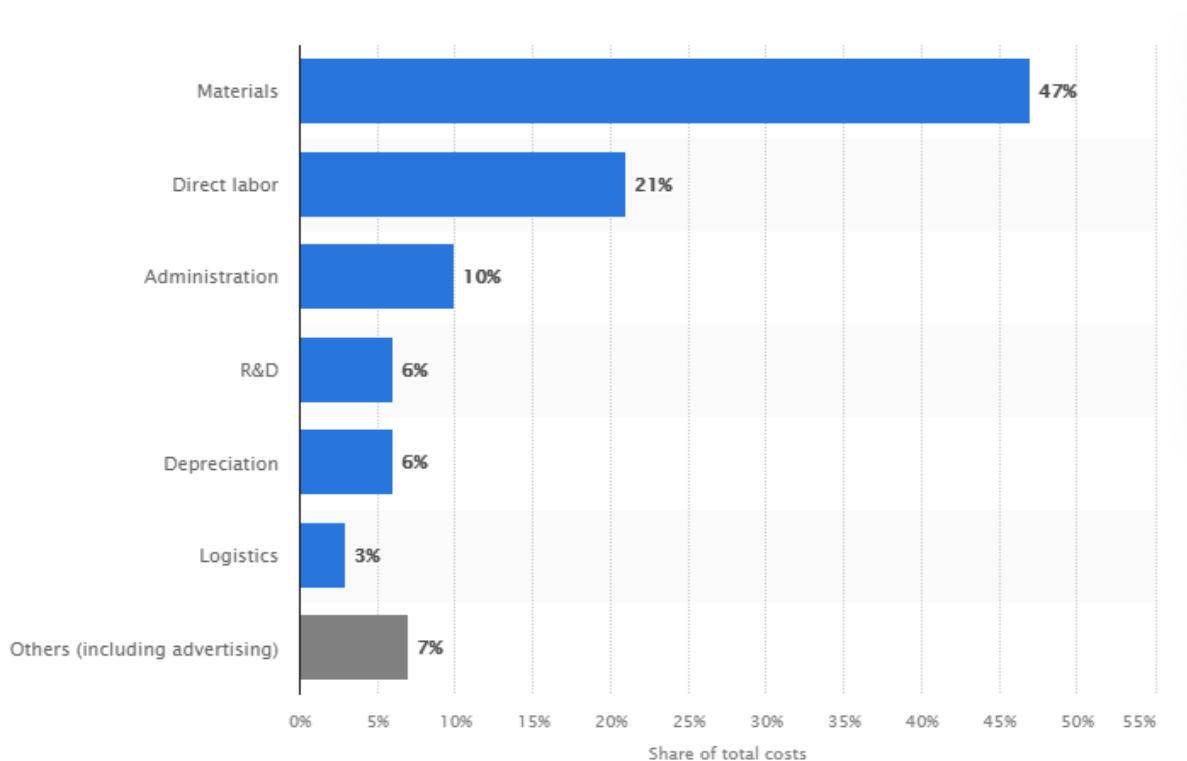
Μέση τιμή ρεπλικας: **246,040.20€ ανά όχημα**

Πίνακας 1.1: Διαθέσιμες επιλογές διαμόρφωσης του αυτοκινήτου και οι αρχικές τιμές αυτών [16].

Επιλογές	Τιμή(USD)
Χρώμα (εκτός από μεταλλικό ασημί)	65
Προστατευτικά προφυλακτήρα (4)	40
Πλυντήρια εμπρός/οπισθίας υαλοπίνακας	18
Becker ραδιόφωνο	264
Δερμάτινη επένδυση (κουπέ)	165
Αποσκευές βαλίτσας (καμπριολέ)	85
Αποστολή με κιβώτιο από το εργοστάσιο	80
Αγωνιστικά ελατήρια (4)	88
Αγωνιστικά μπροστινά αμορτισέρ (2)	41
Αγωνιστικά πίσω αμορτισέρ (2)	85
Αγωνιστικός εκκεντροφόρος	73
Ζάντες Rudge (5)	350
Προαιρετικά γρανάζια δακτυλίου και πινιόν, ανά σετ	80
Σκληρή οροφή για το καμπριολέ	178

Πίνακας 1.2: Αριθμοί παραγωγής των μοντέλων [17][14].

	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	Total	1994
Coupe	166	856	308	70	-	-	-	-	-	-	1,400	1,200
Roadster	-	-	-	618	267	200	241	256	182	94	1,858	1,458
Συνολικά	166	856	308	688	267	200	241	256	182	94	3,258	2,658



Σχήμα 1.15: Ανάλυση κόστους παραγωγής μέσου αυτοκινήτου από το 2015

Πίνακας 1.3: Μέγιστη Ισχύς και Ροπή [18]

Μέγιστη Ισχύς	240 hp (179 kW; 243 PS) SAE gross at 6,100 rpm / 212 hp (158 kW; 215 PS) @ 5,800 rpm DIN
Μέγιστη Ροπή	294 N·m (217 lb·ft; 30 kg·m) SAE gross at 4,800 rpm / 203 lb·ft (275 N·m; 28 kg·m) @ 4,600 rpm; DIN

1.2.3 Περιγραφή μερών του οχήματος προς ανάλυση

1.2.3.1 Πλαίσιο αυτοκινήτου

Στην περίπτωση των αυτοκινήτων το πλαίσιο αποτελεί τον σκελετό του οχήματος, πάνω στον οποίο θα συνδεθούν όλα τα απαραίτητα κομμάτια που το αποτελούν, όπως ο κινητήρας, το κιβώτιο ταχυτήτων, ο άξονας μετάδοσης κίνησης, το διαφορικό και οι αναρτήσεις, μετατρέποντας το αρχικό σε ένα «κυλιόμενο σασί». Ένα κυλιόμενο πλαίσιο αποτελείται από ένα συγκρότημα όλων των βασικών μερών του οχήματος χωρίς, ωστόσο, το αμάξωμα να είναι έτοιμο για λειτουργία στο δρόμο. Κάποιοι κατασκευαστές επαγγελματικών οχημάτων πωλούν εκδόσεις «chassis only», «cowl

and chassis», καθώς και εκδόσεις «chassis cab» που μπορούν να εξοπλιστούν με εξειδικευμένα αμαξώματα. Αυτά περιλαμβάνουν τροχόσπιτα, πυροσβεστικά οχήματα, ασθενοφόρα, φορητά κ.α.

Μέχρι τη δεκαετία του 1980, η τεχνολογία πλαισίου, η οποία καθορίζει άμεσα τη δυναμική απόδοση ενός οχήματος, εξελίχθηκε αποκλειστικά στον τομέα της μηχανολογίας. Με την ανάπτυξη και την εφαρμογή του συστήματος διεύθυνσης με τέσσερις τροχούς (4WS) στα μέσα της δεκαετίας του 1980, η δυναμική απόδοση έγινε το επίκεντρο της τεχνολογίας ελέγχου και, έκτοτε, η τεχνολογία ελέγχου πλαισίου, που συνδυάζει τη μηχανολογία και τη μηχανική ελέγχου, αποτελεί σημαντικό επίκεντρο της έρευνας και της ανάπτυξης [19].

Ένα σωληνωτό πλαίσιο ή ένα πλαίσιο διαστήματος σωλήνα είναι ένα τρισδιάστατο πλαίσιο που αποτελεί το επόμενο εξελικτικό βήμα από το πλαίσιο τύπου σκάλας (Σχήμα 1.16). Κυκλικό σωλήνες ή σωλήνες τετράγωνης κοπής τοποθετούνται σε διαφορετικές κατευθύνσεις και συγκολλούνται για να σχηματίσουν μια μοναδική δομή. Τοποθετώντας τους σωλήνες σε διαφορετικές κατευθύνσεις, αυτό το πλαίσιο μπορεί να ανταπεξέλθει στην άσκηση μεγάλου μεγέθους δυνάμεων από πληθώρα διευθύνσεων. Έχει υψηλή μηχανική αντοχή και συναντάται κυρίως σε αγωνιστικά αυτοκίνητα. Για μεγαλύτερη αντοχή, χρησιμοποιούνται στιβαρές κατασκευές κάτω από τις πόρτες. Αυτή η τροποποίηση αυξάνει το ύψος των θυρών και καθιστά την καμπίνα δύσκολη στην πρόσβαση. Παράλληλα, η μη πρακτικότητά του αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα του εν λόγω πλαισίου.



Σχήμα 1.16: Πλαίσιο τύπου σκάλας

Παρά το πόσο ισχυρό είναι το πλαίσιο του σωλήνα, δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κανονικά αυτοκίνητα. Τα εργοστάσια αδυνατούν να τα αναπαράγουν λόγω της πολυπλοκότητας των σχεδίων τους. Τόσο οι κοπές των σωλήνων όσο και οι συγκολλήσεις τους απαιτούν πολύ χρόνο και μεγάλη λεπτομέρεια κατά την υλοποίησή τους, διαδικασίες που περιορίζουν δραστικά τη μαζική παραγωγή.

Το πλαίσιο σωλήνα είναι σχετικά άκαμπο και αυτό κάνει πιο ομαλή την οδήγηση. Δίνει, επιπλέον, την καλύτερη αναλογία βάρους και ακαμψίας. Αυτό σημαίνει ότι το αυτοκίνητο μπορεί να είναι δυνατό χωρίς να είναι βαρύ. Το πρώτο αυτοκίνητο δρόμου που κατασκευάστηκε βάσει του συγκεκριμένου πλαισίου ήταν η Mercedes 300SL Gullwing, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.17.



Σχήμα 1.17: Παραγωγή σωληνωτού πλαισίου του SL 300

Ο καινοτόμος, για την εποχή του, σχεδιασμός του πλαισίου της 300 SL εγγυάται χαμηλό βάρος σε συνδυασμό με μέγιστη στρεπτική ακαμψία. Ωστόσο, ο σχεδιασμός του κατέστησε αδύνατες τις συμβατικές πόρτες. Το πρόβλημα αυτό επιλύθηκε με μια καινοτομία για την εποχή, τις πόρτες με μεντεσέδες που αιωρούνταν προς τα άνω, δείγμα καθαρής μηχανικής ιδιοφυΐας.

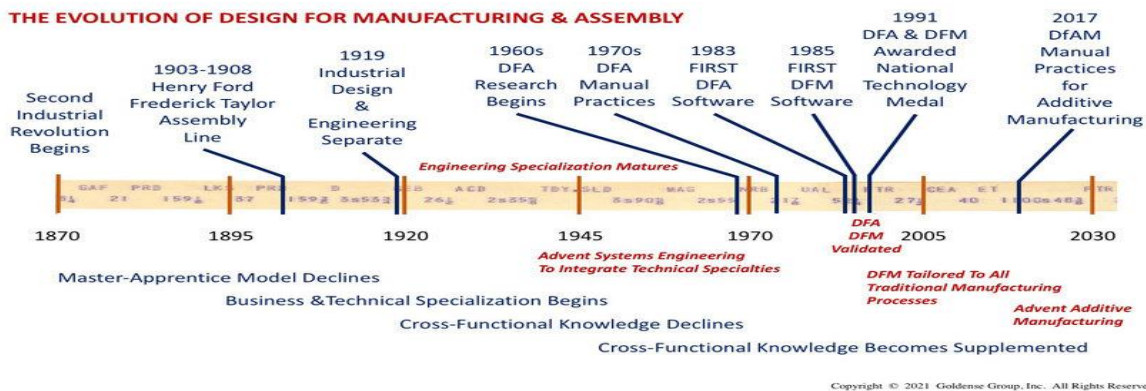
1.3 Ανάπτυξη προϊόντος λαμβάνοντας υπόψη μεθόδους σχεδιασμού για κατασκευή και σχεδιασμού για συναρμολόγηση

Η ανάγκη για τη μέθοδο Σχεδιασμού για Κατασκευή και Συναρμολόγηση (DFMA) ξεκίνησε λίγο μετά την αυγή της Βιομηχανικής Επανάστασης. Χρειάστηκαν εκατό χρόνια για να δημιουργηθεί τελικά στη δεκαετία του 1960, ενώ δεν άνθισε πραγματικά μέχρι τη δεκαετία του 1980. Ο Frederick Winslow Taylor και ο Henry Ford, συν δημιουργοί της διαδικασίας παραγωγής στη γραμμή συναρμολόγησης, άρχισαν να διαλύουν το αιωνόβιο Μοντέλο Master-Apprentice, καθώς σχεδίαζαν το Μοντέλο A το 1903. Εντόπισαν τα σωστά βήματα για μια τέτοια διαδικασία, τον σχεδιασμό και την κατασκευή προϊόντων, με κύριο στόχο τη μέγιστη αποτελεσματικότητα τόσο στην διαδικασία παραγωγής όσο και στη μετέπειτα χρήση από τον καταναλωτή. Ωστόσο, χρειάστηκαν οκτώ με δεκαπέντε χρόνια για να εκπαιδεύσουν τους υπεύθυνους μηχανικούς και σχεδιαστές σε όλες τις απαιτούμενες δεξιότητες, ένα διάστημα το οποίο εν τέλει δεν κατάφερε να καλύψει την άμεση και μεγάλη ζήτηση για αυτοκίνητα και φορτηγά που προέκυψε στις αρχές του 1900.

Έτσι, κατά τη μετάβαση από το Model A το 1903 στο Model T το 1908, ο Taylor και η Ford εισήγαγαν την εξειδίκευση σε κάθε βήμα της διαδικασίας σχεδιασμού και κατασκευής. Κάθε άτομο μπορούσε να εκπαιδευτεί, προκειμένου να υλοποιήσει το εκάστοτε κομμάτι της συνολικής διαδικασίας σε λίγες εβδομάδες έως λίγους μήνες, γεγονός που οδήγησε απευθείας σε παραγωγή μεγάλου όγκου. Τα θεμέλια της εξειδίκευσης στη μεταποίηση είχαν δημιουργηθεί

από τη δεκαετία του 1870, καθώς οι παραγωγικές προσεγγίσεις του Taylor αυξάνονταν και υιοθετούνταν συνεχώς και από άλλες εταιρίες. Η εξειδίκευση της μηχανικής ξεκίνησε στην πραγματικότητα νωρίτερα, τη δεκαετία του 1850. Η Δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση οδήγησε σε εντελώς χρηστικά σχέδια προϊόντων. Η αισθητική δεν ήταν ποτέ σημαντική.

Όπως και ο Taylor, ο Christopher Dresser είχε μια αποστολή να βελτιώσει, αυτή της εμφάνισης των προϊόντων. Ως το πρώτο άτομο που πιστώθηκε για τη βελτίωση της εμφάνισης νέων προϊόντων, ο Dresser, βοήθησε πολλές εταιρείες στα τέλη του 1800. Η ίδρυση της Σχολής Σχεδιασμού του Ρόουντ Άιλαντ το 1877 επιβεβαίωσε τη σημασία των προϊόντων με όμορφη εμφάνιση. Καθώς ο Dresser γερνούσε και τελικά έφυγε από τη ζωή το 1904, ο Joseph Sinel έγινε ο αναγνωρισμένος ειδικός και βελτίωσε περαιτέρω τις προσεγγίσεις και τις διαδικασίες σχεδιασμού προϊόντων. Η πρώτη χρήση του όρου «βιομηχανικό σχέδιο» έγινε το 1919 και πιστώνεται στον Sinel. Όταν το Ινστιτούτο Τεχνολογίας Carnegie δημιούργησε ένα επίσημο πρόγραμμα σπουδών σχεδιασμού προϊόντων το 1934, τέθηκε το τελικό ορόσημο για την ειδικότητα του Βιομηχανικού Σχεδιασμού [20]. Η χρονολογική εξέλιξη των μεθόδων σχεδίασης για την παραγωγή και τη συναρμολόγηση φαίνεται αναλυτικά και στο σχήμα 1.18.



Σχήμα 1.18: Η εξέλιξη της μεθόδου σχεδιασμού για κατασκευή και συναρμολόγηση

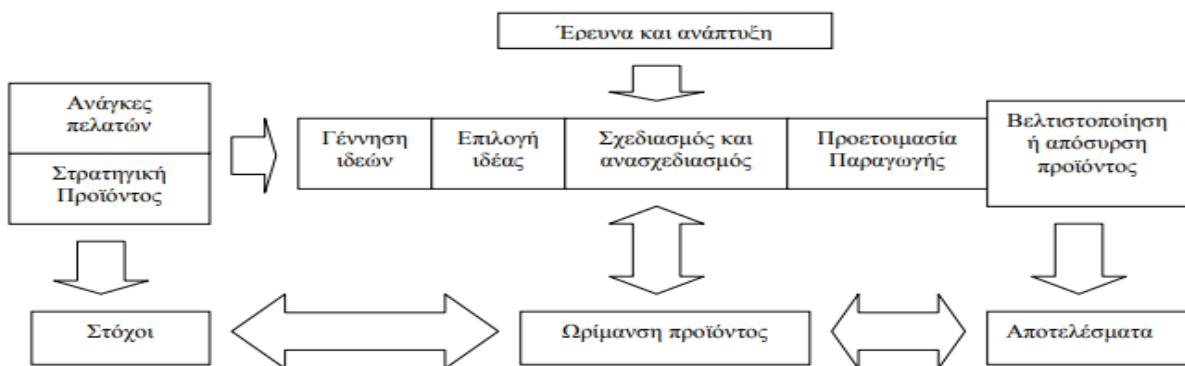
Σήμερα τα προγράμματα και οι μέθοδοι σχεδιασμού για κατασκευή και για συναρμολόγηση χρησιμοποιούνται κατά κόρον από βιομηχανικούς σχεδιαστές σε όλους τους βιομηχανικούς τομείς [21]. Ο λόγος της διαδεδομένης χρήσης τους είναι πως αποτελούν εργαλείο για κοστολόγηση των σχεδιαστικών επιλογών από πολύ αρχικό στάδιο, δίνοντας με αυτόν τον τρόπο στον σχεδιαστή τη δυνατότητα να κάνει την οικονομικότερη επιλογή.

Στη διεθνή βιβλιογραφία και σε πολυάριθμες ερευνητικές εργασίες παρουσιάζονται συνεχώς νέοι τρόποι αντιμετώπισης των εν λόγω πρακτικών διαδικασιών, ενώ, παράλληλα, δημιουργούνται νέα, βελτιωμένα και με μεγαλύτερη ακρίβεια εργαλεία λογισμικού παράλληλης ανάπτυξης προϊόντων και διαδικασιών για την παραγωγή τους. Η παράλληλη ανάπτυξη προϊόντων στοχεύει στη βελτιστοποίηση της πορείας σχεδιασμού. Η ανάπτυξη προϊόντος αναφέρεται σε όλα τα στάδια που εμπλέκονται στη μεταφορά ενός προϊόντος από την ιδέα μέχρι την

κυκλοφορία του στην αγορά. Με άλλα λόγια, ενσωματώνει ολόκληρο το ταξίδι ενός προϊόντος. Η βελτιστοποίηση της πορείας σχεδιασμού επιτυγχάνεται με νέες τεχνικές στη λήψη αποφάσεων, αλλά και τη χρήση σταθμών επαλήθευσης στην πορεία σχεδιασμού.

Η ανάπτυξη ενός νέου προϊόντος από μια εταιρία ξεκινά, όταν εμφανίζεται η ανάγκη δημιουργίας ενός νέου προϊόντος, είτε λόγω της εμφάνισης μιας καινούργιας τεχνολογίας, είτε λόγω της εμφάνισης ενός νέου ανταγωνιστικού προϊόντος, είτε λόγω αλλαγής του υπάρχοντος νομοθετικού πλαισίου, και ολοκληρώνεται με την τελική εισαγωγή του στην αγορά. Ανάπτυξη νέων προϊόντων πραγματοποιούν οι εταιρίες, ανεξαρτήτως του αν ανήκουν σε μια γρήγορα εξελισσόμενη αγορά (Rapidly changing market). Τα νέα προϊόντα μπορεί να βασίζονται σε άλλα, ήδη υπάρχοντα, και να λειτουργούν ως πρόσθετα ή βελτιωμένες εκδόσεις αυτών. Όταν βασίζονται στην ύπαρξη μιας νέας τεχνολογίας και δεν απαιτούν την ανάγκη ύπαρξης άλλων, τότε χαρακτηρίζονται ως «μεμονωμένα προϊόντα».

Συμπερασματικά, η ανάπτυξη ενός νέου προϊόντος αποτελεί μια από τις σημαντικότερες αποφάσεις που θα κληθεί να λάβει μία εταιρία ή μία επιχείρηση. Η κάθε απόφαση ξεχωριστά, αλλά και η συνισταμένη αυτών, θα καθορίσουν την ιστορία και την εξέλιξή τους. Για την ορθότερη ανάπτυξη ενός νέου προϊόντος, θα πρέπει να ακολουθηθεί το μοντέλο ανάπτυξης νέου προϊόντος του σχήματος 1.19.



Σχήμα 1.19: Το μοντέλο ανάπτυξης νέου προϊόντος

Η ανάπτυξη ενός νέου προϊόντος (product development) περιλαμβάνει τόσο τη διαδικασία καθορισμού της μορφής και των χαρακτηριστικών του (προδιαγραφές, ποιότητα, αισθητική κ.α.) όσο και τη διαδικασία μελέτης και ανάπτυξης μιας μεθόδου για την οικονομική παραγωγή του. Παραδοσιακά, οι δύο εν λόγω διαδικασίες, αυτή του καθορισμού της μορφής και των χαρακτηριστικών του προϊόντος και αυτή της ανάπτυξης της μεθόδου παραγωγής του, εκτελούνταν κατά τρόπο σειριακό. Με άλλα λόγια, ολοκληρωνόταν αρχικά η διαδικασία σχεδιασμού του προϊόντος και ακολουθούσε η μελέτη των θεμάτων παραγωγής.

Η φιλοσοφία του παράλληλου ή σύγχρονου σχεδιασμού (Concurrent Engineering), της παράλληλης, δηλαδή, μελέτης θεμάτων σχεδιασμού και παραγωγής ενός προϊόντος, στοχεύει ακριβώς στην ολοκλήρωση και ενοποίηση των διαδικασιών σχεδιασμού και παραγωγής ή κατασκευής ενός προϊόντος, με σκοπό τη βελτίωση όλων των επιμέρους στοιχείων που σχετίζονται με το προϊόν σε όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής του, όπως είναι το κόστος, η ποιότητα, ο χρονικός προγραμματισμός και η τελική απόρριψη μετά τη χρήση. Βασικός στόχος της φιλοσοφίας αυτής είναι να ελαχιστοποιηθεί ο όγκος των αλλαγών, που πραγματοποιούνται στην πορεία της ανάπτυξης ενός προϊόντος, καθώς

και ο χρόνος που μεσολαβεί από την αρχική σύλληψη μέχρι την εισαγωγή του τελικού προϊόντος στην αγορά, όπως και το αντίστοιχο κόστος. Η επιτάχυνση της διαδικασίας ανάπτυξης, εκτός του ότι μειώνει το σχετικό κόστος, επιτρέπει την ταχύτερη είσοδο στην αγορά, από την οποία προκύπτουν σαφή ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα. Η εφαρμογή παράλληλων διαδικασιών σχεδιασμού και παραγωγής επιφέρει σημαντικές βελτιώσεις.

Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι σε μια αυτοκινητοβιομηχανία που εφαρμόστηκε η παράλληλη προσέγγιση επιτεύχθηκε μείωση α) κατά 30% των επιμέρους κομματιών της μηχανής του αυτοκινήτου, β) κατά 25% του συνολικού βάρους του αυτοκινήτου και γ) κατά 50% του χρόνου παραγωγής του.

Η παράλληλη εκτέλεση των διαδικασιών σχεδιασμού του προϊόντος και της μεθόδου παραγωγής προϋποθέτει:

α) την υποστήριξη της διοίκησης της κατασκευαστικής επιχείρησης,

β) τη συνεργασία και τη συνεχή αλληλεπίδραση ομάδων εργασίας ή ειδικών από διαφορετικά τμήματα και με διαφορετικά πεδία εξειδίκευσης (σχεδιασμός, παραγωγή, μάρκετινγκ, προμήθειες, έρευνα και ανάπτυξη, κ.λπ.) και

γ) την εκτεταμένη χρήση σύγχρονων τεχνικών υποβοηθούμενων από Η/Υ.

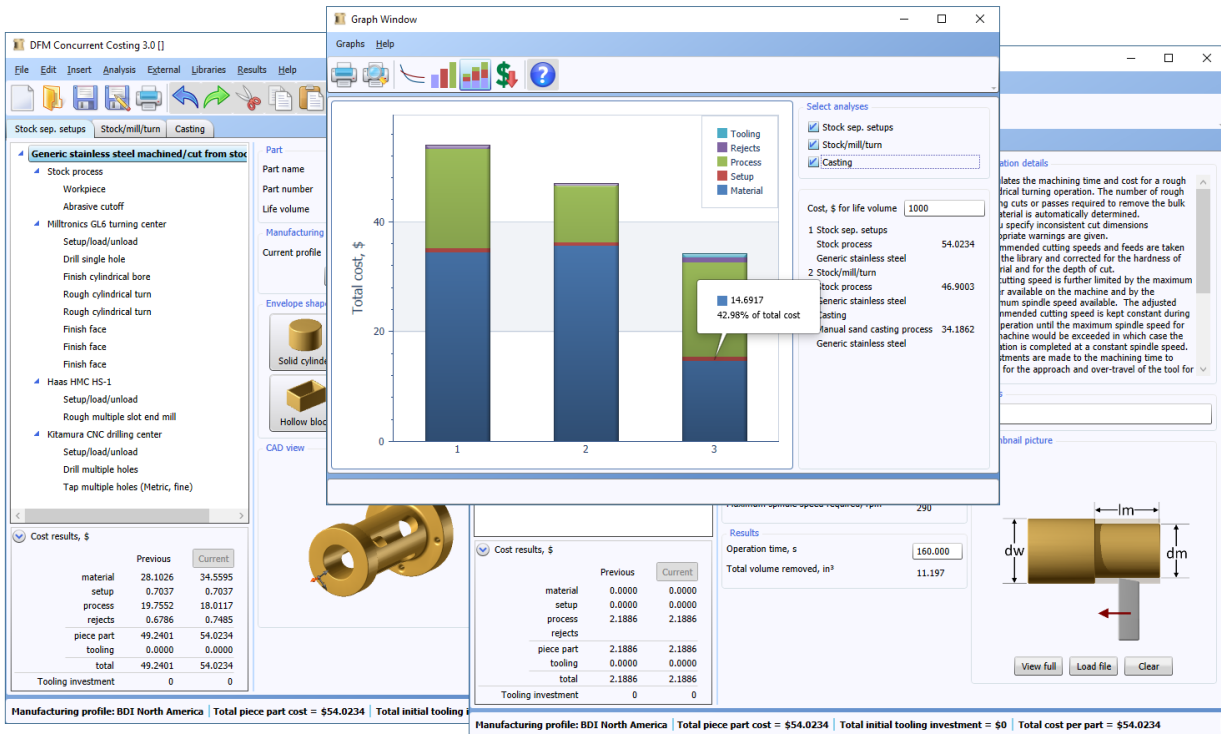
Με τον όρο κατασκευασιμότητα (Manufacturability) εννοούμε το σύνολο των κριτηρίων που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό προς κατασκευή (DFM, Design for Manufacturing), με σκοπό την εύκολη κατασκευή του σχεδίου αυτού, χωρίς αποκλίσεις από τη λειτουργικότητα και την αντοχή του, στο χαμηλότερο δυνατό κόστος και χρόνο, έχοντας κατά νου τις διαθέσιμες δυνατότητες της γραμμής παραγωγής.

1.3.1 Σχετικά παραδείγματα εφαρμογής των μεθόδων

Σήμερα, ύστερα από πολλά χρονιά εμπειρίας, έχουν αναπτυχθεί λογισμικά, τα οποία βελτιστοποιούν τις μεθόδους σχεδιασμού σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Παρέχουν με συνέπεια ακριβή σχόλια σχετικά με την αλλαγή στο κόστος που απαιτούν τα ανταλλακτικά ή και ο σχεδιασμός τους. Το κόστος παραγωγής ή απόκτησης των ανταλλακτικών αυτών συγκρίνεται και, ακολούθως, αποδίδονται οι ανάλογες εκτιμήσεις κόστους. Οι τελευταίες, σε συνδυασμό με το απαιτούμενο ποσό πρόσθετης δαπάνης, προκύπτουν από τα αποτελέσματα της ανάλυσης DFM, μια διαδικασία που αδυνατεί να πραγματοποιήσει η έως τώρα ιστορική τιμολόγηση και η αυτοματοποιημένη ανάλυση με τη βοήθεια προγραμμάτων CAD. Η ανάλυση κόστους χαρακτηρίζεται από μεγάλη ακρίβεια, καθώς το κόστος προσδιορίζεται ορθά σε κάθε βήμα που απαιτείται για την κατασκευή του εξαρτήματος και, στη συνέχεια, εξακριβώνεται κάθε σχετικό κόστος.

Ένα λογισμικό αυτής της κατηγορίας είναι το DFA Product Simplification, το οποίο χρησιμοποιεί μια διαισθητική διεπαφή ερωτήσεων και απαντήσεων, που εντοπίζει ευκαιρίες για σημαντική μείωση κόστους σε ένα προϊόν. Εφαρμόζοντας κριτήρια ελάχιστης καταμέτρησης εξαρτημάτων που έχουν δοκιμαστεί στη βιομηχανία, το λογισμικό βρίσκει εξαρτήματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ή εξαλειφθούν, διατηρώντας παράλληλα τη λειτουργικότητά του στο 100%. Το αποτέλεσμα ενός σχεδιασμού που βασίζεται σε DFA είναι ένα πιο κομψό προϊόν, λειτουργικά αποδοτικότερο και ευκολότερο στη συναρμολόγηση. Οι επανασχεδιασμοί DFA έχουν επίσης τον πρόσθετο αντίκτυπο

της αυξημένης ποιότητας και αξιοπιστίας, καθώς και του ταχύτερου χρόνου ανάπτυξης, και ελαχιστοποιούν τους προμηθευτές.



Σχήμα 1.20: Παράδειγμα χρήσης λογισμικού DFMA της εταιρίας DFA Product Simplification

Μια από τις μεγαλύτερες εταιρίες που συνεργάζεται με τη DFA Product Simplification και χρησιμοποιεί το λογισμικό της σε μεγάλο βαθμό είναι η Harley-Davidson (σχήμα 1.20). Η εταιρία συνεργάζεται με τους προμηθευτές της, προκειμένου να μειώσει το κόστος παραγωγής, γνωστοποιώντας και ταυτόχρονα επιστρέφοντας στον αγοραστή τα περιθώρια κέρδους του, χαμηλώνοντας παράλληλα τις τιμές της. Οι υπεύθυνοι της εταιρίας απευθυνόμενοι στο καταναλωτικό κοινό κοινοποιούν τους στόχους τους, όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω δήλωσή τους. «Στον πυρήνα του προγράμματός μας είναι η κατανόηση ότι η πραγματική εξοικονόμηση πόρων προέρχεται από το να βοηθήσουμε τους προμηθευτές να μειώσουν το κόστος των υλικών και να βελτιώσουν την ικανότητα κατασκευής των σχεδίων τους. Το λογισμικό μοντελοποιεί με ακρίβεια το κόστος ανταλλακτικών, παρέχοντας μια ποσοτική βάση για την αξιολόγηση ανταγωνιστικών εναλλακτικών σχεδιασμών.»

1.4 Σύνοψη

Το παρόν κεφάλαιο στοχεύει στην πλήρη κατανόηση της εξέλιξης του τροχοφόρου επιβατηγού οχήματος μέσω μιας ιστορικής αναδρομής. Αρχικά, εξετάζει τον στόχο της εργασίας, αυτόν της ανάδειξης της σημασίας της τεχνολογικής εξέλιξης στη διαμόρφωση των αυτοκινήτων και της αυτοκινητοβιομηχανίας γενικότερα, μέσα από τον ολικό

ανασχεδιασμό μερών ενός οχήματος. Ακολουθεί μια αναδρομική πορεία στον κόσμο των αυτοκινήτων, από τα πρώτα αυτοκίνητα του 19ου αιώνα, όπως το Benz Patent-Motorwagen, μέχρι την εμφάνιση των μαζικών παραγωγών και την εξέλιξη της τεχνολογίας και της ασφάλειάς τους τη σύγχρονη εποχή.

Στη συνέχεια, επιλέχθηκε το μοντέλο αυτοκινήτου Mercedes SL 300, και παρουσιάζονται λεπτομερώς τα διάφορα χαρακτηριστικά του. Δόθηκε περισσότερη έμφαση στο πλαίσιο του αυτοκινήτου, το οποίο θα αναλυθεί περαιτέρω στα επόμενα κεφάλαια.

Τέλος, παρουσιάζεται ένα σχετικό παράδειγμα εφαρμογής των σχεδιαστικών μεθόδων DFM και DFA, αναδεικνύοντας πώς η βέλτιστη σχεδίαση μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα, το κόστος και την απόδοση του τελικού προϊόντος. Το κεφάλαιο αυτό αναδεικνύει τον ρόλο της τεχνολογίας και της σχεδίασης στη συνεχή εξέλιξη των αυτοκινητοβιομηχανιών και προσφέρει μια ενδιαφέρουσα εικόνα της ιστορίας και της εξέλιξης των αυτοκινήτων στην πάροδο του χρόνου. Πραγματοποιήθηκε κατά αυτόν τον τρόπο η παρουσίαση του απαραίτητου εισαγωγικού ιστορικού υπόβαθρου, το οποίο θα χρειαστεί για την κατανόηση των στόχων και των μεθόδων σχεδιασμού που θα ακολουθήσουν.

1.5 Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου

[1] H.W. Fowler· F. G. Fowler, «Pocket Oxford Dictionary»,

Oxford Univ Pr (Sd), Αγγλία, 1976

[2] «Motor car, n», OED Online. Oxford University Press, Αγγλία, 2014

[3] Mitchel Taylor, «Model T Facts», Αμερική, 2013

[4] Gordon John Steele, «10 Moments That Made American Business», American Heritage, Volume 58 ,Issue 1, 2007

[5] Price, R. G. , «Division of Labor, Assembly Line Thought – The Paradox of Democratic Capitalism», Rational Evolution, 2004

[6] Chris Tohn, «Top 10 Best Selling Cars of All Time», Auto Guide, 2013

[7] Werner Oswald, «Mercedes-Benz Personenwagen 1945–1985», Motorbuch, Stuttgart, Γερμανία, 2001

[8] LaPalm, Julia, «Uberbird: The Most Important Postwar Benz of Them All», Motortrend, 2013

[9] Rex McAfee, Daimler Ag, «When Mercedes-Benz Dominated SCCA Racing in the 1950s», Sports Car Digest, 2019

[10] Benjamin Bessinger, «Mercedes-Konzernarchiv. 15 Regalkilometer Autogeschichte», Zeit Online, 2018

[11] Bernd Ostmann, «Mercedes-Sportwagen. Gipfeltreffen von drei Generationen», Auto Motor Sport, Γερμανία, 2017

[12] Michael Rieder, « Urahn-Forschung», Motor Klassik, Γερμανία, 1989

- [13] Anne Fauser, «Der Mercedes-Benz 300 SL (W 194) mit der Chassisnummer 11», Daimler-Media, Γερμανία, 2012
- [14] Nitske Robert, «Mercedes-Benz 300 SL», Motorbook International, 1974
- [15] Mike Covello, «Standard Catalog of Imported Cars 1946 to 2002», Krause Publications, Γερμανία, 2002
- [16] Karl Ludvigsen, «300 SLR Tech Report», Hagerty Insider, Γερμανία, 2022
- [17] Adler Dennis, « Mercedes-Benz 300 SL», Motorbooks Intl, Osceola Country, 1994
- [18] Zal Pawel, «1954 Mercedes-Benz 300 SL opt. 3.42 axle», Automobile-Catalogue, Γερμανία, 2018
- [19] Yasuji Shibahata, Tochigi, Shimotakanezawa, Haga-machi, Haga-gun, «Honda R&D Co. Ltd.», Haga, Haga District, Tochigi 321-3321, Ιαπωνία, 2004
- [20] Bradford Goldense, «A History of Design for Manufacturing and Assembly», Research Gate, Cambridge, 2022
- [21] Boothroyd G., Knight W., Dewhurst P., «Product Design for Manufacture and Assembly», Crc Press, Μπόκα Ράτον, Φλόριντα, ΗΠΑ, 2010

Κεφάλαιο 2

Σχεδιασμός με έμφαση στην κατασκευή και στη συναρμολόγηση

Περιεχόμενα

2 Σχεδιασμός με τεχνικές DFM/DFA.....	21
2.1 Εισαγωγή	21
2.2 Σχεδιασμός για βελτίωση της κατασκευασιμότητας DFM	23
2.3 Αρχές σχεδιασμού για βελτίωση της κατασκευασιμότητας.....	24
2.4 Σχεδιασμός για βελτίωση της συναρμολόγησης DFA.....	26
2.5 Αρχές σχεδιασμού για βελτίωση της συναρμολόγησης	27
2.6 Τεχνικές DFM/DFA	30
2.6.1 Τεχνική κατά Boothroyd-Dewhurst	30
Σχήμα 2.1: Σχηματικό της συναρμολόγησης ελεγκτή (Boothroyd, 2005)	34
Σχήμα 2.2: Συναρμολόγηση ελεγκτή μετά την εφαρμογή της μεθόδου (Boothroyd, 2005).....	38
2.6.2 Τεχνική κατά Lucas	39
Σχήμα 2.3: Η μέθοδος Lucas	40
Σχήμα 2.4: Η μέθοδος Lucas για μηχανική συναρμολόγηση.....	41
2.6.3 Ανάλυση κατασκευής DFM.....	44
2.7 Σύνοψη	53
2.8 Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου.....	53

2 Σχεδιασμός με τεχνικές DFM/DFA

2.1 Εισαγωγή

Ο σχεδιασμός με έμφαση στη συναρμολόγηση και στην κατασκευασιμότητα αποτελούν δυο σημαντικές έννοιες στις διαδικασίες σχεδιασμού και κατασκευής προϊόντων. Κύριος στόχος του σχεδιασμού με έμφαση στη συναρμολόγηση είναι η αποτελεσματικότητα κατά τη συναρμολόγηση του προϊόντος. Η απλοποίηση της διαδικασίας της

συναρμολόγησης επιτυγχάνεται μειώνοντας τον αριθμό των εξαρτημάτων, ελαχιστοποιώντας τα βήματα συναρμολόγησης και διασφαλίζοντας ότι τα εξαρτήματα είναι εύκολα προσβάσιμα. Η προσβασιμότητα κρίνεται απαραίτητη τόσο για τη συναρμολόγηση όσο και για μια πιθανή μελλοντική συντήρηση που ενδεχομένως να χρειαστεί το προϊόν. Παράλληλα, διευκολύνεται ο χειρισμός των εξαρτημάτων, ενώ αποφεύγονται ζημιές κατά την τοποθέτησή τους.

Η κατανόηση της διαδικασίας σχεδιασμού είναι σημαντική τόσο για την ορθή διαχείρισή της, όσο και για τη βελτίωση των προϊόντων και της συνολικής αποτελεσματικότητας των εταιρειών. Η έρευνα σχεδιασμού αποτελεί γνώμονα, βάσει του οποίου θα υποδειχθεί η βέλτιστη χρονική στιγμή, αλλά και το προϊόν, για το οποίο θα χρησιμοποιηθούν πόροι, ώστε να ενισχυθεί η δημιουργική απόδοση και η ποιότητα του σχεδιασμένου προϊόντος [22]. Ο σχεδιασμός προϊόντων επιτρέπει στην εταιρία την παραγωγή προϊόντων, που θα ανταποκρίνονται στις ανάγκες και τις προσδοκίες του καταναλωτή. Παράλληλα, παρέχει τη δυνατότητα περιορισμού του κόστους παραγωγής και βελτίωσης της ανθεκτικότητας και απόδοσής τους. Μια νέα ιδιαίτερη αισθητική θα εξασφαλίσει το πολυπόθητο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στην αγορά, ενισχύοντας την αναγνωρισιμότητα της εταιρίας.

Στα πρώτα στάδια, οι σχεδιαστές θέτουν συγκεκριμένους στόχους, που χαρακτηρίζουν το μηχάνημα ή το σύστημα, το οποίο καλούνται να σχεδιάσουν. Ορισμένοι από αυτούς είναι ο χρόνος και το κόστος παραγωγής, η δυνατότητα κατασκευής και συναρμολόγησης, η βελτιωμένη απόδοση για κάποιες επιλεγμένες λειτουργίες, η αισθητική, τα κριτήρια διαλογής και άλλα. Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων, ο σχεδιαστής θα πρέπει να ακολουθήσει μια μεθοδολογία που ονομάζεται «Βήματα της βασικής διαδικασίας σχεδιασμού προϊόντων», στάδια της οποίας είναι τα εξής:

1. Καθορισμός των προδιαγραφών και των απαιτήσεων του προϊόντος. Στο στάδιο αυτό εξακριβώνονται οι βασικές απαιτήσεις, όπως η λειτουργικότητα και η αισθητική, καθώς και οι πιθανές προδιαγραφές ασφαλείας, κόστους και απόδοσης.
2. Ανάπτυξη ιδεών. Η κάλυψη αναγκών του καταναλωτή πυροδοτεί την ανάπτυξη ιδεών του σχεδιαστή. Ο τελευταίος θα ορίσει τον στόχο ανάπτυξης του προϊόντος, δηλαδή τη λειτουργία του με απώτερο σκοπό την κάλυψη της ανάγκης. Η συλλογή πολύτιμων πληροφοριών γύρω από τον στόχο ονομάζεται έρευνα, ενώ οι επιλογές διεργασίας αποτελούν ένα σύνολο δεδομένων και παραμέτρων, οι οποίες θα καθορίσουν τη διαδικασία του σχεδιασμού προς τον στόχο.
3. Καταγραφή των σχεδίων. Στο παρόν στάδιο, οι παραπάνω ιδέες παίρνουν μια πρωταρχική μορφή με τη χρήση σκαριφημάτων, μακετών και πρωτότυπων μοντέλων, αφού πρώτα έχει πραγματοποιηθεί η ανάλυση, ο απαιτούμενος δηλαδή έλεγχος, αν οι επιλαχούσες ιδέες είναι φυσικά κατασκευάσιμες.
4. Αξιολόγηση των σχεδίων. Στο στάδιο αυτό, αξιολογούνται τα διάφορα σχέδια που έχουν αναπτυχθεί βάσει των απαιτήσεων και προδιαγραφών του προϊόντος. Περαιτέρω πειραματισμός επιτυγχάνεται στο εργαστήριο με την κατασκευή πρωτότυπου και εκτενούς ελέγχου αυτού. Επιπλέον, επιβεβαιώνεται η λειτουργικότητα και η αισθητική του προϊόντος.
5. Περιγραφή λύσης. Αποτελεί μια αναλυτική έκθεση, η οποία περιλαμβάνει τη περιγραφή του προϊόντος που σχεδιάστηκε, τα ακριβή κατασκευαστικά σχέδια, τις προδιαγραφές, τη λίστα κομματιών και ανταλλακτικών και την εκτίμηση κόστους.

6. Κατασκευή, διανομή και κατανάλωση. Κατασκευή είναι ο υπολογισμός του όγκου και των διαδικασιών παραγωγής. Είναι το στάδιο όπου λαμβάνει χώρα ο ποιοτικός έλεγχος, καθώς και οι μέθοδοι κατασκευής και συναρμολόγησης. Διανομή είναι τα δίκτυα που θα ακολουθήσει το προϊόν από τη παραγωγή στο καταναλωτή, συμπεριλαμβανομένων των προωθητικών ενεργειών για το προϊόν και της ανταγωνιστικής τιμολόγησης, με περιθώρια κέρδους. Κατανάλωση είναι η τελική χρήση του προϊόντος από τον καταναλωτή, η κάλυψη ουσιαστικά της πρωταρχικής ανάγκης. Το εν λόγω στάδιο περιλαμβάνει επιπλέον τη διαδικασία της επισκευής και της συντήρησης.

Τα βήματα που προαναφέρθηκαν αποτελούν μια γενική περιγραφή των ενεργειών που θα πρέπει να ακολουθήσει ο σχεδιαστής για τον πλήρη σχεδιασμό ενός προϊόντος. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο κάθε σχεδιασμός είναι διαφορετικός και, συνεπώς, διαφέρουν και τα βήματα κατά την ανάπτυξή του, ενώ δεν υπάρχει σίγουρη μέθοδος ανάπτυξης, η οποία θα εγγυηθεί την επιτυχία. Οι μέθοδοι σχεδιασμού για κατασκευή και συναρμολόγηση βοηθούν τόσο στον καθορισμό του στόχου και τη σύνθεση της έρευνας, όσο και στις διεργασίες μορφοποίησης ανάλυσης και κατασκευής του προϊόντος. Η χρησιμότητα των μεθόδων βρίσκεται στην ανάπτυξη του προϊόντος με μια πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση ήδη από τα πρωταρχικά στάδια του σχεδιασμού. Δίνοντας μορφή εξαρχής στις πιθανές λύσεις, δεν θα επιβαρυνθούν σημαντικά τα στάδια της κατασκευής και της συναρμολόγησης. Συμπερασματικά, ο σχεδιασμός προϊόντων είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την επιτυχία της επιχείρησης, καθώς επηρεάζει την ποιότητα, την απόδοση και την ανταγωνιστικότητα αυτής. Η συνεισφορά των τεχνικών σχεδιασμού θα αναλυθεί σε επόμενες ενότητες.

2.2 Σχεδιασμός για βελτίωση της κατασκευασιμότητας DFM

Το DFM (design for manufacturing ή design for manufacturability) είναι μια μηχανολογική προσέγγιση σχεδιασμού, η οποία δίνει έμφαση στην εκτενή εξέταση των διαδικασιών παραγωγής και στην εύρεση και αντιμετώπιση των σχεδιαστικών δυσκολιών του προϊόντος, ήδη από τα πρώτα στάδια ανάπτυξής του, ώστε να βελτιστοποιήσει τις δυνατότητες και να μειώσει το κόστος κατασκευής του. Η μέθοδος κυριαρχεί πολλές δεκαετίες στον χώρο και είναι αποτέλεσμα συνεισφοράς πολλών ατόμων και οργανισμών του τομέα της κατασκευαστικής μηχανικής. Η εύρεση της μεθόδου δε μπορεί να αποδοθεί σε ένα μόνο άτομο, ωστόσο τα κύρια πρόσωπα που συνέβαλαν στην ανάπτυξη των αρχών της μεθόδου περιλαμβάνουν τον Joseph Juran, τον Genichi Taguchi, τον Shigeo Shingo και τον Edward Deming.

Στο παρελθόν ο σχεδιαστής λειτουργούσε ανεξάρτητα από τους μηχανικούς παραγωγής, με αποτέλεσμα πολλές φορές να προτείνονται λύσεις με απαγορευτικό κόστος. Τη σύγχρονη εποχή, εφαρμόζοντας τις αρχές της τεχνικής αυτής, επιτυγχάνεται η αποφυγή προβλημάτων από τα πρώτα στάδια του σχεδιασμού. Δυσκολίες, όπως η κατασκευή του προϊόντος, η μη βιώσιμη παραγωγή, οι ελλείψεις και η ασυμβατότητα στα διαθέσιμα εργαλεία κατασκευής, καθώς και άλλες κατασκευαστικές αδυναμίες επιλύονται, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη αποδοτικότητα παραγωγής. Παράλληλα, παρουσιάζεται μια σημαντική εξοικονόμηση στον χρόνο και στο κόστος, βελτιώνεται η ποιότητα του προϊόντος, ενώ μειώνεται το ποσό ανεκμετάλλευτου υλικού και των αποβλήτων [23].

2.3 Αρχές σχεδιασμού για βελτίωση της κατασκευασιμότητας

Τα βήματα που περιλαμβάνονται στην τεχνική DFM ενδέχεται να διαφέρουν ανάλογα με το προϊόν που σχεδιάζεται και τις διαδικασίες κατασκευής που χρησιμοποιεί ο εκάστοτε οργανισμός [24]. Ωστόσο, τα γενικά βήματα που εμπλέκονται στην DFM μπορούν να συνοψιστούν ως εξής [25] :

1. Η μείωση του συνολικού αριθμού των εξαρτημάτων. Ο κυριότερος παράγοντας μείωσης κόστους παραγωγής είναι η μείωση των εξαρτημάτων που το αποτελούν. Λιγότερα εξαρτήματα συνεπάγεται λιγότερες αγορές, φύλαξη και διανομή. Ο χρόνος ανάπτυξης μειώνεται, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη ποσότητα παραγωγής σε συντομότερο χρονικό διάστημα και με έμφαση στην ποιότητα του προϊόντος. Ο απαιτούμενος εξοπλισμός συχνά ελαχιστοποιείται, ωστόσο εμφανίζεται συχνά η ανάγκη για εύρεση νέων μηχανημάτων με εξειδίκευση σε συγκεκριμένες λειτουργίες. Σε γενικές γραμμές, μειώνεται το επίπεδο έντασης των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τη διάρκεια του κύκλου ζωής του προϊόντος. Η εξάλειψη των περιττών εξαρτημάτων βασίζεται κυρίως στη χρήση μονοκόμματων δομών και στην επιλογή διαδικασιών παραγωγής, όπως η έγχυση, η χύτευση, η εξώθηση και η κονιομεταλλουργία.
2. Η ανάπτυξη ενός αρθρωτού σχεδίου (modular design). Η χρήση ενός αρθρωτού σχεδίου στον σχεδιασμό προϊόντων απλοποιεί πληθώρα κατασκευαστικών δραστηριοτήτων, όπως η επιθεώρηση, η δοκιμή, η αγορά, ο επανασχεδιασμός και η συντήρηση. Παράλληλα, προστίθεται ευελιξία στην ενημέρωση του προϊόντος κατά την διαδικασία του επανασχεδιασμού. Η εκτέλεση δοκιμών πριν από την τελική παραγωγή απλοποιείται μαζί με τη συναρμολόγηση, η οποία απαιτεί πλέον μόνο τη χρήση τυπικών εξαρτημάτων.
3. Ο σχεδιασμός εξαρτημάτων με δυνατότητα πολλαπλών χρήσεων. Πολλές κατασκευαστικές εταιρίες χρησιμοποιούν ανταλλακτικά, τα οποία έχουν σχεδιαστεί, ώστε να ταιριάζουν σε διαφορετικά προϊόντα. Ο σχεδιασμός τους προσφέρει δηλαδή πολλαπλές χρήσεις. Τα συγκεκριμένα εξαρτήματα παρουσιάζουν τις ίδιες ή διαφορετικές λειτουργίες ανάλογα με τα προϊόντα που μοιράζονται. Προκειμένου να προσδιοριστούν τα εξαρτήματα αυτά, είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός τους από την εταιρία σε αγορασμένα και σε κατασκευασμένα. Στη συνέχεια, ταξινομούνται σε οικογενείες εξαρτημάτων πολλαπλής χρήσης. Στόχος είναι να αυξηθεί ο αριθμός των οικογενειών αυτών, η ελαχιστοποίηση δηλαδή των σχεδιαστικών παραλλαγών σε εξαρτήματα που προσφέρουν τις ίδιες ή παρόμοιες λειτουργίες. Κατά τον επανασχεδιασμό σε υπάρχοντα προϊόντα και ιδιαίτερα κατά τον σχεδιασμό νέων, θα πρέπει να προτιμάται η χρήση τυπικών εξαρτημάτων πολλαπλής χρήσης.
4. Η χρήση τυποποιημένων εξαρτημάτων. Τα τυποποιημένα εξαρτήματα κοστίζουν λιγότερο από τα σχεδιασμένα και κατασκευασμένα για ειδικές χρήσεις. Η υψηλή διαθεσιμότητά τους, παράλληλα με την τιμή μειώνει και τον χρόνο παράδοσης του προϊόντος. Επιπλέον, η χρήση τυποποιημένων εξαρτημάτων συχνά προσθέτει αξιοπιστία στο τελικό προϊόν, ενώ βοηθά τον κατασκευαστή στην τήρηση του χρονοδιαγράμματος παραγωγής.
5. Ο σχεδιασμός πολυλειτουργικών εξαρτημάτων. Τα πολυλειτουργικά μέρη είναι αυτά που θα μειώσουν τον συνολικό αριθμό εξαρτημάτων στο τελικό προϊόν. Η μείωση αυτή θα σημάνει ελαχιστοποίηση της πιθανότητας εμφάνισης ελαττωματικού προϊόντος, ενίσχυση της χρήσης αυτοματοποιημένων διεργασιών και συνολικό μετριασμό του κόστους παραγωγής.

6. Ο σχεδιασμός για ευκολία κατασκευής. Ο βέλτιστος συνδυασμός μεταξύ υλικών και διαδικασιών κατασκευής συνεπάγεται μείωση του κόστους παραγωγής. Σε γενικές γραμμές, τελικές διεργασίες, όπως το φινίρισμα και η βαφή, όσο το προϊόν το επιτρέπει, θα πρέπει να αποφεύγονται. Εκτενείς ανοχές και κακής ποιότητας τελείωμα στην επιφάνεια των εξαρτημάτων οδηγούν σε προβλήματα που αυξάνουν το κόστος παραγωγής περισσότερο από το αναγκαίο.
7. Η αποφυγή σχεδιασμού πολύπλοκων εξαρτημάτων. Τα εξαρτήματα αυτά απαιτούν τη χρήση ειδικών εργαλείων, εργαλειομηχανών και διατάξεων. Ταυτόχρονα, η επαγγελματική κατάρτιση των εργαζομένων, ώστε να είναι σε θέση να παράγουν τα εν λόγω προϊόντα, συνεπάγεται χρόνο και κόστος.
8. Η ελαχιστοποίηση των κατευθύνσεων συναρμολόγησης. Όλα τα εξαρτήματα θα πρέπει να συναρμολογούνται προς μία κατεύθυνση τόσο στο προϊόν όσο και στη γραμμή παραγωγής. Ο καλύτερος τρόπος προσθήκης μερών είναι από άνω προς τα κάτω, παράλληλα δηλαδή με την κατεύθυνση της βαρύτητας, ώστε να διευκολύνεται η διαδικασία συναρμολόγησης. Η επιλογή των διαφορετικών διατάξεων εργασίας των μηχανών διαδραματίζει εξίσου σημαντικό ρόλο, καθώς άσκοπες μετακινήσεις του κομματιού και επανατοποθέτησή του για περαιτέρω κατεργασία, θα οδηγήσει σε ελλείψεις ακριβείας και αύξηση του χρόνου, συνεπώς και του κόστους παραγωγής.
9. Η ελαχιστοποίηση του χειρισμού. Ο χειρισμός περιλαμβάνει τις διαδικασίες της τοποθέτησης, τον προσανατολισμό και τη στερέωση ενός εξαρτήματος στο προϊόν. Για τη διευκόλυνση και βελτίωση του θα πρέπει να επιλέγεται ο σχεδιασμός συμμετρικών μερών, όταν αυτό είναι δυνατό. Σε περίπτωση επιβεβλημένης ασυμμετρίας, αυτή θα πρέπει να είναι υπερβολική για να αποφευχθούν αστοχίες στην τοποθέτηση.

Τα παραπάνω βήματα των τεχνικών DFM θα επιτρέψουν στον σχεδιαστή, ήδη από τα πρωταρχικά στάδια της διαδικασίας, την αποφυγή σχεδιαστικών λαθών. Τα οφέλη του συγκεκριμένου σχεδιασμού θα αναδειχθούν στα επόμενα στάδια της παραγωγής. Οι διαφορετικές σχεδιαστικές προσεγγίσεις θα γεννήσουν πληθώρα εναλλακτικών προτάσεων, οι οποίες θα πρέπει να συγκριθούν και να αξιολογηθούν, ώστε να εντοπιστεί η βέλτιστη εξ αυτών. Οι σχεδιαστικές εναλλακτικές συγκρίνονται με βάση τα παρακάτω:

- Εντοπισμός των κρίσιμων μερών. Κρίσιμα είναι τα μέρη των οποίων η λειτουργικότητα είναι ζωτικής σημασίας για το προϊόν. Έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν κατασκευαστικές δυσκολίες, ακόμα και να οδηγήσουν σε ελαττωματικό προϊόν.
- Ανάλυση της διαδικασίας παραγωγής. Όλες οι διαδικασίες που απαιτούνται για την παραγωγή του εξαρτήματος θα πρέπει να αναλυθούν, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες, όπως το υλικό, η μέθοδος κατασκευής και η διαδικασία συναρμολόγησης.
- Αξιολόγηση κάθε σχεδιαστικής εναλλακτικής. Στα διάφορα σχέδια για κάθε εξάρτημα θα πρέπει να εντοπιστούν όλες οι τυχόν σχεδιαστικές και κατασκευαστικές προκλήσεις, καθώς και πιθανά ελαττώματα κατά την κατασκευή. Παράγοντες, όπως η πολυπλοκότητα, οι ανοχές και το μέγεθος του εξαρτήματος, θα βοηθήσουν στον διαχωρισμό των πιθανών τελικών σχεδίων.
- Δοκιμή και επικύρωση του βελτιωμένου εξαρτήματος. Είναι το στάδιο κατά το οποίο ο αριθμός των ποικίλων εναλλακτικών θα πρέπει να έχει μειωθεί αισθητά, ώστε να πληρούνται οι απαραίτητες λειτουργικές προϋποθέσεις και να κατασκευαστούν πρωτότυπα, στα οποία θα πραγματοποιηθούν περαιτέρω δοκιμές. Τα

πρωτότυπα κατασκευάζονται σε κλίμακα ή στις φυσικές επιθυμητές διαστάσεις του προϊόντος και παρέχουν τη δυνατότητα προσαρμογών, έως ότου ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός.

Συμπερασματικά, η επιλογή ενός ανταλλακτικού με τη χρήση των τεχνικών DMF περιλαμβάνει την εξέταση όλων των παραγόντων που σχετίζονται με τις διαδικασίες σχεδιασμού και κατασκευής του προϊόντος. Ακολουθώντας τα βήματα που προαναφέρθηκαν, οι σχεδιαστές διασφαλίζουν ότι το επιλεγόμενο εξάρτημα θα συμβάλει στη μείωση του κόστους και στη βελτίωση του προϊόντος. Επιπλέον, μία πληθώρα εργαλείων αξιοποιούνται, τα οποία διαθέτουν οι σχεδιαστές, τόσο για τη δημιουργία προτάσεων όσο και για τη μετέπειτα αξιολόγησή τους. Προγράμματα σχεδίασης τύπου CAD/CAE, προγραμματισμού εργαλειομηχανών τύπου CNC, ανάλυσης δυναμικής ρευστών τύπου CFD, ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων τύπου FAE, καθώς και νέα λογισμικά που αναπτύσσονται γύρω από τις τεχνικές DFM, διευκολύνουν τον σχεδιαστή να δημιουργήσει με τη μέγιστη ακρίβεια παραλλαγές εξαρτημάτων, να αναλύσει και να αξιολογήσει την κάθε μια από αυτές και να επιλέξει τη βέλτιστη λύση. Αξίζει να σημειωθεί πως, εξίσου σημαντικό ρόλο στην παραπάνω διαδικασία διαδραματίζει η γνώση των σχεδιαστών για την ολοκληρωμένη διαδικασία παραγωγής, καθώς επίσης και η διαμόρφωση καλών σχέσεων με τους μηχανικούς παραγωγής. Η συνεχόμενη επικοινωνία και η ανατροφοδότηση από το πρώτο έως και το τελευταίο στάδιο σχεδιασμού και κατασκευής θα σημάνει τη δημιουργία μιας βέλτιστης, βιώσιμης και αποδοτικής, κυρίως από πλευράς κόστους, λύσης.

2.4 Σχεδιασμός για βελτίωση της συναρμολόγησης DFA

Ο DFA (Design For Assembly), ο σχεδιασμός για συναρμολόγηση, αποτελεί μια προσέγγιση, κύριο μέλημα της οποίας είναι ο σχεδιασμός για τη βελτίωση της ευκολίας και της αποτελεσματικότητας της διαδικασίας συναρμολόγησης. Η μέθοδος περιλαμβάνει τον λεπτομερή σχεδιασμό εξαρτημάτων με τρόπο που διευκολύνει τη συναρμολόγηση των εξαρτημάτων που απαρτίζουν το τελικό προϊόν, μειώνοντας, κατά αυτόν τον τρόπο, τον χρόνο συναρμολόγησης και το κόστος κατασκευής και βελτιώνοντας τη συνολική παραγωγική διαδικασία. Τα κύρια οφέλη κόστους της εφαρμογής προκύπτουν από τη μείωση του αριθμού των μερών του προϊόντος προς συναρμολόγηση.

Ο σχεδιασμός με έμφαση στη συναρμολόγηση λαμβάνει πληθώρα διαφορετικών μορφών. Στα τέλη της δεκαετίας του 1960 και κατά τη δεκαετία του 1970 πρωτοεμφανίστηκαν διάφορες συστάσεις, σε μορφή κανόνων, οι οποίες έδωσαν τη δυνατότητα στους σχεδιαστές να εξετάσουν προβλήματα συναρμολόγησης κατά τη διαδικασία σχεδιασμού. Είθισται, οι εν λόγω κανόνες να παρουσιάζονται με σχετικά παραδείγματα τρόπων βελτίωσης της δυσκολίας συναρμολόγησης. Μόλις στα τέλη της δεκαετίας του 1970 αναπτύχθηκαν αριθμητικές μέθοδοι αξιολόγησης σχεδίων, που θα επέτρεπαν την ανάπτυξη μελετών συναρμολόγησης σε ήδη υπάρχοντα και μελλοντικά προτεινόμενα σχέδια.

Είναι ευρέως αποδεκτό ότι η πρώτη ανάπτυξη ανάλογης μεθόδου αξιολόγησης πραγματοποιήθηκε από την εταιρία Hitachi και ονομάστηκε «μέθοδος αξιολόγησης συναρμολόγησης» (AEM or assembly evaluation method). Η αρχή της μεθόδου βασίζεται στην έκφραση «μία κίνηση για ένα εξάρτημα». Για πολυπλοκότερες κινήσεις, εφαρμόστηκε ένα σύστημα απώλειας πόντων. Η αποδοτικότητα συναρμολόγησης του τελικού προϊόντος αξιολογείται αφαιρώντας τους

χαμένους πόντους. Η δημιουργία της μεθόδου έθεσε τα θεμέλια της ανάπτυξης διεργασιών αυτόματης συναρμολόγησης [26].

Υπάρχουν τρεις τρόποι συναρμολόγησης ενός μηχανικού συνόλου. Ο πρώτος είναι η χειρωνακτική συναρμολόγηση, η οποία απαιτεί την παρουσία ανθρώπινου δυναμικού που εκτελεί τις περισσότερες διαδικασίες κατασκευής και τοποθέτησης, όπως η συναρμολόγηση μικρότερων εξαρτημάτων βιδώνοντας, κολλώντας και δοκιμάζοντας τα τελικά προϊόντα. Ο δεύτερος τελείται με τη χρήση ειδικών διατάξεων και μηχανών, οι οποίες αντικαθιστούν τις λειτουργίες και την ανάγκη του ανθρώπινου παράγοντα έως κάποιο βαθμό. Η τρίτη, πιο σύγχρονη και πλέον ευρέως ασκούμενη, είναι η συναρμολόγηση με τη χρήση ρομποτικών βραχιόνων και διατάξεων συναρμολογήσεως που εξαλείφουν το ανθρώπινο δυναμικό στον μέγιστο βαθμό. Συχνά απαιτείται συνδυασμός των τριών παραπάνω τρόπων, ωστόσο σε κάθε περίπτωση ο μηχανολογικός σχεδιασμός οφείλει να είναι βέλτιστος, ώστε να εξασφαλίζει τη διευκόλυνση της συναρμολόγησης. Η δομή και οι λειτουργίες της κατασκευής σε συνάρτηση με το κόστος σχετικής εργασίας συναρμολόγησης των υποσυνόλων θα πρέπει να οδηγούν σε μια τεχνικά εφικτή και οικονομικά βιώσιμη λύση.

2.5 Αρχές σχεδιασμού για βελτίωση της συναρμολόγησης

Η εφαρμογή του σχεδιασμού για συναρμολόγηση, όπως έχει αναπτυχθεί τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια, στο πρωταρχικό στάδιο του σχεδιασμού, οδήγησε σε τεράστια οφέλη, όπως στην απλοποίηση προϊόντων, στο χαμηλότερο κόστος συναρμολόγησης και κατασκευής, στη βελτιωμένη ποιότητα και στα μειωμένα γενικά έξοδα και χρόνο διάθεσης στην αγορά. Η μέθοδος συνεχώς διευρύνεται, ώστε να συμπεριλάβει τη δυσκολία κατασκευής των επιμέρους εξαρτημάτων προς συναρμολόγηση, παρέχοντας την απαραίτητη βάση για εργασία με τη συμβολή τόσο του ανθρώπινου όσο και του μηχανικού παράγοντα. Τα τελευταία χρόνια, οι περιβαλλοντικές ανησυχίες απαιτούν να λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό τόσο οι διαδικασίες πιθανής αποσυναρμολόγησης για συντήρηση, όσο και η ανακύκλωση, όταν το προϊόν ολοκληρώσει τον κύκλο ζωής του [27].

Βασικοί στόχοι του σχεδιασμού με έμφαση στη συναρμολόγηση αποτελούν η ελαχιστοποίηση του αριθμού των απαιτούμενων εξαρτημάτων, η απλοποίηση της δομής του προϊόντος, η ελαχιστοποίηση των ενεργειών συναρμολόγησης και η ταυτόχρονη ενίσχυση ευκολίας αυτής με τη χρήση απλών, αλλά αξιόπιστων συνδέσμων και μηχανισμών συναρμολόγησης.

Κάθε προϊόν είναι διαφορετικό και, ως εκ τούτου, τα βήματα που θα πρέπει να ακολουθούν οι σχεδιαστές κατά την εφαρμογή της μεθόδου επιβάλλεται να προσαρμόζονται στις ανάγκες και τις προδιαγραφές του εκάστοτε προϊόντος. Σε γενικές γραμμές, τα βήματα που ορίζει η μέθοδος είναι τα εξής :

1. Η ανάλυση των απαιτήσεων της συναρμολόγησης. Ήδη από το πρώτο στάδιο θα πρέπει να οριστούν οι απαιτήσεις συναρμολόγησης του προϊόντος, όπως η αξιοπιστία, η απλότητα και η ευκολία.
2. Η απλοποίηση της δομής του προϊόντος. Το προϊόν θα πρέπει να σχεδιαστεί με απλή και λειτουργική δομή. Αυτό συνήθως συνεπάγεται την ελαχιστοποίηση του αριθμού εξαρτημάτων, διαδικασία που μπορεί εύκολα να επιτευχθεί συνδυάζοντας πολλά μικρότερα εξαρτήματα σε ένα ή χρησιμοποιώντας τυποποιημένα εξαρτήματα.

3. Ο σχεδιασμός για ευκολία χειρισμού και προσανατολισμού. Τα εξαρτήματα θα πρέπει να είναι σχεδιασμένα με τρόπο που ο χειρισμός τους να είναι εύκολος και να προσανατολίζονται ορθά κατά τη συναρμολόγηση. Η χρήση συμμετρικού σχεδιασμού, όπου η δομή το επιτρέπει, αλλά και ενδείξεων, όπως καρτέλες, υποδοχές και κλειδιά, θα διευκολύνουν την καθοδήγηση κατά την παραγωγή, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο τον κίνδυνο σφαλμάτων συναρμολόγησης.
4. Η ελαχιστοποίηση της ανάγκης χρήσης ειδικών εργαλείων για την κατασκευή. Τα εξαρτήματα θα πρέπει να σχεδιάζονται με βάση τα διαθέσιμα εργαλεία ή τον ήδη υπάρχοντα αυτοματοποιημένο εξοπλισμό για συναρμολόγηση. Εξειδικευμένα και πολύπλοκα εργαλεία ισοδυναμούν με αύξηση γνώσης και κατάρτισης των χειριστών, χρόνου και, συνεπώς, κόστους συναρμολόγησης. Παράλληλα, αυξάνονται τα έξοδα συντήρησης και επισκευής του τελικού προϊόντος, καθώς μειώνεται ο αριθμός των υπεύθυνων ατόμων για τις συγκεκριμένες λειτουργίες.
5. Η παροχή σαφών και αναλυτικών οδηγιών συναρμολόγησης. Η διαδικασία της συναρμολόγησης θα πρέπει να καλύπτεται λεπτομερώς με κατανοητές οδηγίες και με τη χρήση οπτικών βοηθημάτων και σχεδιαγραμμάτων, ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη καθοδήγηση των χειριστών συναρμολόγησης. Οι σαφείς οδηγίες θα σημάνουν μείωση σφαλμάτων και βελτίωση της απόδοσης.
6. Η βελτιστοποίηση της προσβασιμότητας για τη συναρμολόγηση. Τόσο τα εξαρτήματα, όσο και τα υποσυστήματα θα πρέπει να εξασφαλίζουν προσβασιμότητα κατά τη συναρμολόγηση. Σχεδιαστικά αυτό επιτυγχάνεται με την επιλογή αναιρούμενων πάνελ, ειδικών σημείων πρόσβασης και αρθρωτών υποσυστημάτων υπεύθυνων για τη συναρμολόγηση και τη μελλοντική συντήρηση.
7. Η εξέταση περιορισμών κατασκευής και συναρμολόγησης. Οι σχεδιαστές είναι σημαντικό να βρίσκονται σε διαρκή επικοινωνία με τις ομάδες κατασκευής και συναρμολόγησης, ώστε να είναι σε θέση να εντοπίσουν περιορισμούς που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού, εξασφαλίζοντας την αποτελεσματική συναρμολόγηση του τελικού σχεδίου.

Τα παραπάνω βήματα έχουν δημιουργηθεί με σκοπό να καθοδηγήσουν τον σχεδιαστή στην ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου προϊόντος, το οποίο θα σχεδιαστεί με τρόπο που θα προσφέρει απλοποιημένες διαδικασίες συναρμολόγησης, μειωμένο κόστος παραγωγής και βελτιωμένη συνολική ποιότητα και αποτελεσματικότητα. Τίθεται στην κρίση του σχεδιαστή τόσο η σειρά που θα ακολουθηθεί, όσο και τα επιμέρους βήματα που θα αξιοποιηθούν κατά τον σχεδιασμό και στη συνέχεια θα προσαρμοστούν στο προϊόν. Παράλληλα, ο σχεδιαστής θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη και τα κυριότερα σφάλματα κατά τη συναρμολόγηση, ώστε να τα αποφύγει. Αυτά είναι τα ακόλουθα:

- Λανθασμένη αντιστοίχιση εξαρτημάτων. Η σύνδεση των εξαρτημάτων σε λανθασμένες θέσεις ή σε διαφορετικό από τον επιθυμητό προσανατολισμό συνήθως οφείλεται σε ανεπαρκείς ή μη ξεκάθαρες οδηγίες συναρμολόγησης. Η έλλειψη σημάνσεων και αναγνωριστικών σημείων, καθώς επίσης και η ελλιπής εκπαίδευση του ανθρώπινου δυναμικού είναι δυνατό να οδηγήσει σε ανάλογο αποτέλεσμα.
- Λανθασμένη σειρά συναρμογής. Η παράληψη κάποιου βήματος της σειράς συναρμολόγησης, λόγω ελλείψεων στις οδηγίες και τις προδιαγραφές, θα επιφέρει μεγάλες απώλειες στην παραγωγή. Το προσωπικό επιβάλλεται να εκπαιδεύεται επαρκώς για τις περίπλοκες διαδικασίες συναρμογής.
- Ασυμβατότητα των εξαρτημάτων. Υπάρχει περίπτωση, τα εξαρτήματα να μην είναι συμβατά μεταξύ τους. Κάτι που μπορεί να οφείλεται κυρίως σε μη ευθυγραμμισμένα συνδετικά σημεία, σε διαφορετικά μεγέθη και σε

αστοχία διαστασιολόγησης. Για να επιτευχθεί η σωστή συναρμογή θα είναι αναπόφευκτες οι επιπλέον προσαρμογές και τροποποιήσεις που θα χρεώσουν την παραγωγή.

- Αστοχίες κατά την τοποθέτηση. Το εργατικό δυναμικό, αλλά και οι αυτοματοποιημένες διατάξεις συναρμολόγησης, ενδέχεται να προκαλέσουν δυσκολίες στη συναρμογή, όταν δεν τοποθετούν με ακρίβεια και προσοχή τα εξαρτήματα στις σωστές θέσεις. Η μη ευθυγραμμισμένη τοποθέτηση θα αποφέρει ένα ελαττωματικό προϊόν.
- Η ελλιπής στερέωση. Όταν κατά τη συναρμολόγηση τα εξαρτήματα δεν στερεώνονται σωστά ή δεν είναι αρκετά σταθερά, προκαλείται αστάθεια στο προϊόν επιφέροντας πιθανές βλάβες ή ατυχήματα και δυσλειτουργίες κατά τη χρήση.

Οι αρχές σχεδίασης για συναρμολόγηση ποικίλουν ανάλογα με τον τομέα και τη φύση του. Μερικές βασικές αρχές που είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη είναι η απλότητα, η αναγνωρισιμότητα, η συμβατότητα και η συντήρηση ή επισκευή. Οι κυριότερες κεντρικές αρχές της σχεδίασης για συναρμολόγηση είναι οι λυόμενες συνδέσεις και οι ελεύθερες συναρμογές.

Οι λυόμενες συνδέσεις (Dissolvable connections) χαρακτηρίζονται ως μη μόνιμες ή αποσπώμενες συνδέσεις μεταξύ εξαρτημάτων ή μερών του προϊόντος. Η χρήση τους διευκολύνει τη συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση των εξαρτημάτων τόσο στην αρχική κατασκευή, όσο και σε μετέπειτα λειτουργίες, όπως επισκευές, συντήρηση, αντικαταστάσεις και αναβαθμίσεις. Οι συνδέσεις αυτές περιλαμβάνουν βιδωτά εξαρτήματα, συστήματα συγκράτησης, πλαστικούς και μεταλλικούς συνδετήρες, κουμπώματα και άλλα μη μόνιμα συνδετικά στοιχεία που τα καθιστούν ιδανικά για εύκολη αποσυναρμολόγηση.

Οι ελεύθερες συναρμογές επιτρέπουν μια μέθοδο συναρμολόγησης κατά την οποία τα μέρη του προϊόντος είναι σχεδιασμένα και κατασκευασμένα με τρόπο που να μην απαιτείται η χρήση ειδικών εργαλείων και συνδέσμων για τη σύνδεση και αποσύνδεσή τους. Συναντώνται συχνά σε προϊόντα, όπως έπιπλα, παιχνίδια και είδη ηλεκτρονικής όπου δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να προσαρμόσει το προϊόν στις ανάγκες και τις προτιμήσεις του, προσθέτοντας και αφαιρώντας εξαρτήματα, χωρίς ιδιαίτερους περιορισμούς. Προκειμένου να επιτευχθεί η ασφαλής χρήση, η ανθεκτικότητα και η ευκολία αλληλεπίδρασης με το προϊόν, τα συστήματα εξαρτημάτων που βασίζονται σε ελεύθερες συναρμογές απαιτούν προσεκτική σχεδίαση και κατασκευή.

Συμπερασματικά, αφενός η μέθοδος σχεδιασμού για βέλτιστη κατασκευασιμότητα και η μέθοδος σχεδιασμού για βέλτιστη συναρμολόγηση δίνουν έμφαση σε διαφορετικούς στόχους, με αποτέλεσμα συχνά να επικαλύπτουν τη συνισταμένη επιθυμία μείωσης κόστους και βελτίωσης της αποτελεσματικότητας των διεργασιών κατασκευής. Αυτό συμβαίνει διότι ο σχεδιασμός για βέλτιστη κατασκευασιμότητα δίνει έμφαση στις διαδικασίες κατασκευής συμπεριλαμβανομένων των τρόπων επιλογής υλικών και παραγωγής. Αφετέρου, ο σχεδιασμός για βέλτιστη συναρμολόγηση επικεντρώνεται στη διαδικασία, εξασφαλίζοντας ότι τα εξαρτήματα ταιριάζουν άρτια και εύκολα μεταξύ τους και απαιτούν σχετικά συντομότερο χρόνο με τη μέγιστη ακρίβεια. Η χρήση όσο το δυνατόν λιγότερων μερών, όπου στοχεύει η μια, και η ενσωμάτωση όσο το δυνατόν περισσότερων λειτουργιών σε ένα εξάρτημα, που προτείνει η άλλη, συχνά αντικρούονται, με αποτέλεσμα να γεννάται ένα προϊόν με πολύπλοκο σχεδιασμό, ιδιαίτερη μορφή και πολλαπλές εφαρμογές. Όλα τα παραπάνω οδηγούν σε μία οικονομικά απαγορευτική σχεδιαστική λύση. Η

κρίση των σχεδιαστών και των μηχανικών παραγωγής είναι αυτή που θα αναδείξει, ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή και τις απαιτήσεις του προϊόντος, σε ποια από τις δύο μεθόδους θα δοθεί περισσότερη βαρύτητα για να επέλθει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Ιδανικά, ένα καλοσχεδιασμένο προϊόν ενσωματώνει τις αρχές και των δύο μεθόδων, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη συνολική ικανότητα κατασκευής και συναρμολόγησης. Λαμβάνοντας υπόψη και τις δύο μεθόδους κατά τη φάση του σχεδιασμού, οι εταιρίες μπορούν να βελτιστοποιήσουν τη συνολική απόδοση παραγωγής, παρέχοντας στον πελάτη μια ιδιαίτερη εμπειρία χρήσης του προϊόντος τους.

2.6 Τεχνικές DFM/DFA

2.6.1 Τεχνική κατά Boothroyd-Dewhurst

Η μέθοδος αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1960 από τους Geoffrey Boothroyd και Peter Dewhurst [21]. Επικεντρώνεται στην ανάλυση του σχεδιασμού των μερών του προϊόντος και την αξιολόγηση του βαθμού ευκολίας της κατασκευής και της συναρμολόγησής του. Βασικό στόχο αποτελεί η απλούστευση της κατασκευής και συναρμολόγησης, ώστε να μειωθεί το κόστος, ο χρόνος και η πολυπλοκότητα της παραγωγής. Η τεχνική βασίζεται σε δύο αρχές, οι οποίες είναι οι εξής:

1. Η εφαρμογή κριτηρίων σε κάθε εξάρτημα ξεχωριστά, ώστε να καθοριστεί αν θα πρέπει να διαχωριστεί από το σύστημα εξαρτημάτων. Η εκτίμηση του κόστους συναρμολόγησης και χειρισμού για κάθε εξάρτημα θα αναδείξει την κατάλληλη διεργασία κατασκευής και συναρμολόγησης.
2. Η αξιολόγηση του υφιστάμενου σχεδιασμού, με απώτερο σκοπό την επαναληπτική βελτίωσή του. Η διαδικασία ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:
 - Επιλογή μεθόδου συναρμολόγησης για κάθε εξάρτημα.
 - Ανάλυση των εξαρτημάτων για τις διαθέσιμες μεθόδους συναρμολόγησης.
 - Ανασχεδιασμός βάσει των ελλείψεων που προέκυψαν από την ανάλυση.
 - Επανάληψη των βημάτων έως ότου αποδοθεί, αν όχι ο βέλτιστος, ένας ικανοποιητικός σχεδιασμός.

Ένα συγκεκριμένο φύλλο εργασίας έχει δημιουργηθεί βάσει του οποίου πραγματοποιείται η ανάλυση. Αξιοποιούνται πίνακες και διαγράμματα, προκειμένου να υπολογιστούν οι απαιτούμενοι χρόνοι χειρισμού και συναρμολόγησης των μερών. Κάθε πίνακας διαθέτει έναν διψήφιο κωδικό, ο οποίος δείχνει το μέγεθος, το βάρος και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εξαρτήματος. Οι χρόνοι χειρισμού επηρεάζονται από τις παραπάνω παραμέτρους, απλοποιώντας ή περιπλέκοντας, στη συνέχεια, τη διαδικασία της συναρμολόγησης. Για κάθε εξάρτημα θα πρέπει να καθοριστούν:

- Το μέγεθός του
- Το πάχος του
- Το βάρος του
- Πόσο εύκαμπτο είναι
- Πόσο εύθραυστο είναι
- Πόσο ολισθηρό είναι

- Πόσο κολλώδες είναι
- Αν απαιτεί τη χρήση δύο άκρων η συναρμολόγησή του
- Αν απαιτεί τη χρήση ειδικών εργαλείων λαβής η συναρμολόγησή του
- Αν απαιτεί οπτική μεγέθυνση η συναρμολόγησή του
- Αν απαιτείται η χρήση μηχανικών διατάξεων υποβοήθησης για τη συναρμολόγησή του

Πρέπει να σημειωθεί, ότι δευτερεύουσες λειτουργίες συναρμολόγησης, οι οποίες δε σχετίζονται άμεσα με αυτήν, συμπεριλαμβάνονται στο φύλλο εργασίας. Ένα παράδειγμα είναι η κατανομή επιπλέον χρόνου κάθε φορά που το συναρμολογούμενο σύστημα αναπροσανατολίζεται.

Στη συνέχεια, αξιολογείται η αναγκαιότητα του κάθε εξαρτήματος για τη συναρμολόγηση με βάση τα παρακάτω ερωτήματα :

- Υπάρχει μετακίνηση του εξαρτήματος σε σχέση με κάποιο άλλο εξάρτημα;
- Οι ιδιότητες του υλικού είναι απαραίτητες για τις λειτουργίες του;
- Απαιτεί η συναρμολόγηση το εξάρτημα να αποτελεί μια ξεχωριστή οντότητα;

Έπειτα, ο κατάλογος των εξαρτημάτων αξιολογείται, ώστε να εντοπιστεί ο αριθμός των θεωρητικά απαραίτητων εξαρτημάτων για το προϊόν, ο οποίος συμβολίζεται ως Nm.

Πίνακας 2.1: Μέθοδος Boothroyd Dewhurst για την αξιολόγηση της DFA

A	B	c	D	E	F	G	H	I	Όνομα Συστήματος Συναρμολόγησης
Ταυτότητα Εξαρτήματος	Αριθμός Διαδοχικών Πανομοιότυπων Λειτουργιών	Διψήφιος Κωδικός Χειρισμού	Χειροκίνητος Χρόνος Χειρισμού Ανά Εξάρτημα	Διψήφιος Κωδικός Εισαγωγής	Χειροκίνητος Χρόνος Εισαγωγής Ανά Εξάρτημα	Χρόνος Λειτουργίας (BD + F)	Κόστος Λειτουργίας	:m Απαραίτητο Εξάρτημα;	
Σύνολο	s:					T = m	c _{ra} =	N.=	

Στη στήλη I του πίνακα 2.1 χρησιμοποιείται ο αριθμός 1, για να υποδηλώσει ότι το εξάρτημα είναι απαραίτητο για το τελικό προϊόν, ενώ ο αριθμός 0 για εξαρτήματα που μπορούν να παραλειφθούν. Ο ιδανικός χρόνος συναρμολόγησης ανά εξάρτημα ορίζεται από τη μέθοδο ίσος με τρία δευτερόλεπτα. Συνεπώς, η απόδοση σχεδιασμού υπολογίζεται ως $(3s \times Nm)/T_m$, όπου Nm ο αριθμός των απαραίτητων εξαρτημάτων και Tm ο χρόνος λειτουργίας που απαιτεί το εκάστοτε εξάρτημα.

Η συγκεκριμένη μέθοδος σχεδιασμού για συναρμολόγηση χρησιμοποιεί ένα διψήφιο σύστημα ταξινόμησης. Κάθε ψηφίο μπορεί να λάβει τιμές από 0 έως 9. Το πρώτο ψηφίο χωρίζεται σε ομάδες, οι οποίες είναι οι εξής :

- Ομάδα 1: Αν το πρώτο ψηφίο είναι 0 έως 3, τότε το εξάρτημα έχει ονομαστικό μέγεθος και βάρος. Επιπλέον, είναι εύκολα διαχειρίσιμο από εργατικό δυναμικό και, μάλιστα, με τη χρήση του ενός χεριού και χωρίς να απαιτούνται εργαλεία.
- Ομάδα 2: Αν το πρώτο ψηφίο είναι 4 έως 7, τότε το εξάρτημα απαιτεί τη χρήση εργαλείων λαβής, λόγω μικρού μεγέθους, για τη συναρμολόγηση.
- Ομάδα 3: Αν το πρώτο ψηφίο είναι 8, τότε το εξάρτημα παρουσιάζει δυσκολία στη συναρμολόγηση λόγω απαιτητικού φωλιάσματος και δυσκολιών κατά τον προσανατολισμό.
- Ομάδα 4: Αν το πρώτο ψηφίο είναι 9, τότε το εξάρτημα παρουσιάζει τη μέγιστη δυσκολία συναρμολόγησης, καθώς απαιτεί δύο ανθρώπινα χέρια ή δύο εργάτες ή μηχανική βοήθεια χειρισμού.

Οι ομάδες 1 και 2 υποδιαιρούνται σε κατηγορίες που υποδηλώνουν τον βαθμό προσανατολισμού που απαιτείται βάσει της συμμετρίας των εξαρτημάτων.

Το δεύτερο ψηφίο του κώδικα χειρισμού δείχνει χαρακτηριστικά του εξαρτήματος, όπως η ευελιξία, η ολισθηρότητα, η ευθραυστότητα και η τάση του να φωλιάζει κατά την τοποθέτηση. Είναι, επίσης, συνάρτηση των ομάδων του πρώτου ψηφίου. Οι ομάδες του δεύτερου ψηφίου είναι οι εξής :

- Ομάδα 1: Αν το πρώτο ψηφίο είναι 0 έως 3, τότε το δεύτερο ψηφίο θα δείξει το πάχος και το μέγεθος του εξαρτήματος.
- Ομάδα 2: Αν το πρώτο ψηφίο είναι 4 έως 7, τότε το δεύτερο ψηφίο θα δείξει το πάχος του εξαρτήματος, το εργαλείο που απαιτείται για τον χειρισμό και την ανάγκη οπτικής μεγέθυνσης της διαδικασίας χειρισμού.
- Ομάδα 3: Αν το πρώτο ψηφίο είναι 8, τότε το δεύτερο ψηφίο θα δείξει το μέγεθος και τη συμμετρία του εξαρτήματος.
- Ομάδα 4: Αν το πρώτο ψηφίο είναι 9, τότε το δεύτερο ψηφίο θα δείξει το βάρος, τη συμμετρία και την τάση του για σύμπλεξη κατά την τοποθέτηση με άλλα εξαρτήματα.

Σε περίπτωση χειροκίνητης εισαγωγής και στερέωσης του εξαρτήματος, η μέθοδος περιλαμβάνει περιορισμένες βασικές εργασίες συναρμολόγησης, όπως η συγκόλληση, η χρήση βιδών και ηλών και ούτω καθεξής. Τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού που επηρεάζουν άμεσα του χρόνους εισαγωγής του εξαρτήματος είναι:

- Η προσβασιμότητα στην τοποθεσία συναρμολόγησης.
- Η ευκολία χρήσης του εργαλείου που απαιτείται για τον χειρισμό.
- Η ορατότητα στην τοποθεσία συναρμολόγησης.
- Η ευκολία ευθυγράμμισης και τοποθέτησής του κατά τη συναρμολόγηση.
- Το βάθος όπου θα πρέπει να τοποθετηθεί το εξάρτημα.

Για το σύστημα κωδικοποίησης χειροκίνητης εισαγωγής και στερέωσης ισχύουν τα εξής:

- Ομάδα 1: Αν το πρώτο ψηφίο είναι 0 έως 2, τότε το εξάρτημα δεν ασφαλίζει αμέσως μετά την τοποθέτηση.
- Ομάδα 2: Αν το πρώτο ψηφίο είναι 3 έως 5, τότε το εξάρτημα ασφαλίζει μόνο του ή ασφαλίζει ένα άλλο εξάρτημα με την τοποθέτησή του.

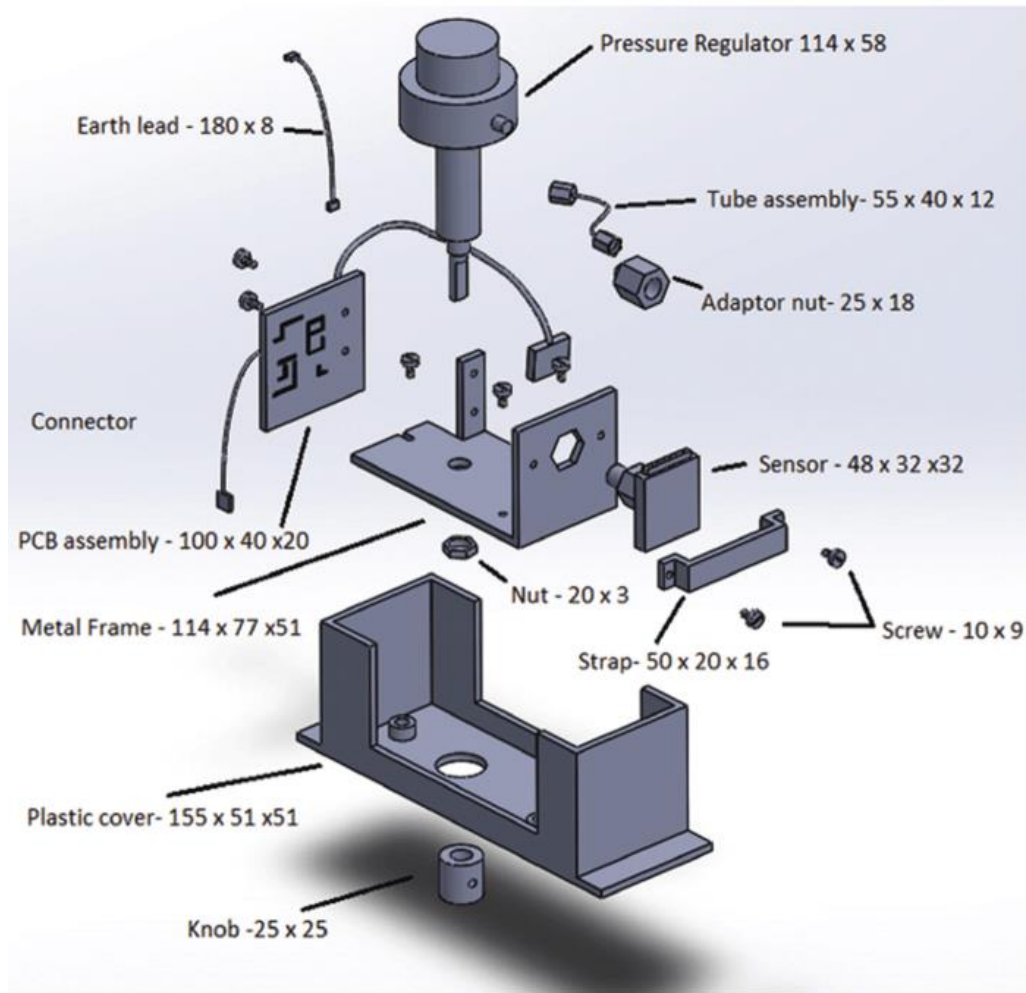
Σε περίπτωση που το πρώτο ψηφίο είναι 9, τότε τα εξαρτήματα έχουν ήδη τοποθετηθεί.

Στη συνέχεια, οι ομάδες 1 και 2 χωρίζονται σε υποκατηγορίες που λαμβάνουν υπόψη τις περιοχές με δυσκολία πρόσβασης και/ή αυτές με περιορισμένη ορατότητα κατά τη συναρμολόγηση. Το δεύτερο ψηφίο του κωδικού συναρμολόγησης βασίζεται στις ομαδικές διαιρέσεις του πρώτου ψηφίου ως εξής:

- Ομάδα 1: Αν το πρώτο ψηφίο είναι 0 έως 2, τότε το δεύτερο ψηφίο αναφέρεται στην ευκολία με την οποία μπορούν να τοποθετηθούν τα εξαρτήματα. Φανερώνει, επίσης, εάν το εξάρτημα απαιτεί να είναι στερεωμένο, προκειμένου να διατηρηθεί ο προσανατολισμός και η θέση του στη συναρμολόγηση.
- Ομάδα 2: Αν το πρώτο ψηφίο είναι 3 έως 5, τότε το δεύτερο ψηφίο δείχνει την ευκολία σύνδεσης των εξαρτημάτων. Οι συγκεκριμένες λειτουργίες ονομάζονται λειτουργίες στερέωσης και περιλαμβάνουν κουμπώματα, βιδώματα και διαδικασίες που εμπεριέχουν πλαστική παραμόρφωση.
- Ομάδα 3: Αν το πρώτο ψηφίο είναι 9, τότε το δεύτερο ψηφίο υποδηλώνει την απαίτηση χρήσης μηχανικών, χημικών και μεταλλουργικών διεργασιών.

Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου Boothroyd και Dewhurst είναι πως ενδέχεται να είναι χρονοβόρα λόγω της ποσότητας των περίπλοκων πληροφοριών που εμπλέκονται στη διαδικασία ανάλυσης. Για αυτόν τον σκοπό έχει αναπτυχθεί ένα λογισμικό, προκειμένου να μειωθεί ο χρόνος που απαιτεί η εφαρμογή της εν λόγω διαδικασίας. Η μέθοδος μειώνει τον συνολικό αριθμό μεμονωμένων εξαρτημάτων σε ένα σύστημα συναρμολόγησης, αυξάνοντας, ωστόσο, την πολυπλοκότητα των εξαρτημάτων, με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται η διαδικασία της κατασκευής και, συνεπώς, της συναρμολόγησης [27].

Για την επίτευξη της βέλτιστης κατανόησης της μεθόδου, κρίνεται απαραίτητη η παρουσίαση ενός σχηματικού του συστήματος εξαρτημάτων, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1. Η βελτίωση του σχεδιασμού θα πραγματοποιηθεί με τη μείωση εξαρτημάτων της διάταξης, διευκολύνοντας τόσο την παραγωγή, όσο και τη συναρμολόγηση του προϊόντος.



Σχήμα 2.1: Σχηματικό της συναρμολόγησης ελεγκτή (Boothroyd, 2005)

Πίνακας 2.2: Μέθοδος Boothroyd Dewhurst για τη συναρμολόγηση ενός ελεγκτή

Μέθοδος Boothroyd Dewhurst							
Δεν απαιτείται κράτημα του εξαρτήματος για τη διατήρηση του προσανατολισμού και της θέσης				Απαιτείται κράτημα του εξαρτήματος για τη διατήρηση του προσανατολισμού και της θέσης			
Ευκολία ευθυγράμμισης και τοποθέτησης κατά τη διαδικασία συναρμολόγησης		Δυσκολία ευθυγράμμισης και τοποθέτησης κατά τη διαδικασία συναρμολόγησης		Ευκολία ευθυγράμμισης και τοποθέτησης κατά τη διαδικασία συναρμολόγησης		Δυσκολία ευθυγράμμισης και τοποθέτησης κατά τη διαδικασία συναρμολόγησης	
Καμία αντίστασ η κατά	Αντίστασ η κατά την	Καμία αντίστασ η κατά	Αντίστασ η κατά την	Καμία αντίστασ η κατά	Αντίστασ η κατά την	Καμία αντίστασ η κατά	Αντίστασ η κατά την

	την εισαγωγ ή	εισαγωγ ή	την εισαγωγ ή	εισαγωγ ή	την εισαγωγ ή	εισαγωγ ή	την εισαγωγ ή	εισαγωγ ή
	0	1	2	3	6	7	8	9
Το εξάρτημα και το εργαλείο συναρμολόγησής μπορούν να φτάσουν εύκολα στη θέση	1.5	2.5	2.5	3.5	5.5	6.5	6.5	7.5
Το εξάρτημα και το εργαλείο συναρμολόγησής δεν μπορούν να φτάσουν στη θέση λόγω παρεμπόδισης της πρόσβασης ή περιορισμένης όρασης	4	5	5	6	8	9	9	10
Το εξάρτημα και το εργαλείο συναρμολόγησής δεν μπορούν να φτάσουν στη θέση λόγω παρεμπόδισης της πρόσβασης ή περιορισμένης όρασης	5.5	6.5	6.5	7.5	9.5	10.5	10.5	11.5

Οι τιμές του πίνακα αφορούν το μέσο, εκτιμώμενο χρόνο (σε δευτερόλεπτα) για χειροκίνητη εισαγωγή εξαρτημάτων όπου ούτε το αναλυόμενο εξάρτημα ούτε οποιοδήποτε άλλο εξάρτημα του συστήματος ασφαλίζεται αμέσως μετά την τοποθέτησή του.

Πίνακας 2.3: Φύλλο εργασίας για τη συναρμολόγηση ελεγκτή

Εξάρτημα	Αριθμός Εξαρτημάτων	Κωδικός Χειροκίνητου Χειρισμού	Χρόνος Χειρισμού ανά Εξάρτημα σε sec	Κωδικός Χειροκίνητης Εισαγωγής	Χρόνος Εισαγωγής ανά Εξάρτημα σε sec	Συνολικός Χρόνος Λειτουργίας σε sec	Αριθμός Ελαχίστων Εξαρτημάτων	Περιγραφή
1. Pressure regulator	1	30	1.95	00	1.50	3.45	1	Ασφαλίστε στο εξάρτημα
2. Metal frame	1	30	1.95	06	5.50	7.45	1	Προσθέστε μεταλλικό πλαίσιο
3. Nut	1	00	1.13	39	8.00	9.13	0	Προσθέστε και βιδώστε
4. Reorientation	1			98	9.00	9.00		Επαναπροσανατολισμός και προσαρμογή
5. Sensor	1	30	1.95	08	6.50	8.45	1	Προσθέστε αισθητήρα
6. Strap	1	20	1.80	08	6.50	8.30	0	Προσθέστε και κρατήστε πατημένο τον ιμάντα
7. Screw	2	11	1.80	39	8.00	19.60	0	Προσθέστε και βιδώστε
8. Application of tape	1			99	12.00	12.00		Εφαρμόστε ταινία
9. Adapter nut	1	10	1.50	49	10.50	12.00	0	Προσθέστε και βιδώστε
10. Tube assembly	1	91	3.00	10	4.00	7.00	0	Προσθέστε και βιδώστε
11. Fastening the screw	1			92	5.00	5.00		Βιδώστε
12. PCB assembly	1	83	5.60	08	6.50	12.10	1	Προσθέστε και κρατήστε πατημένο
13. Screw	2	11	1.80	39	8.00	19.60	0	Προσθέστε και βιδώστε
14. Connector	1	30	1.95	31	5.00	6.95	0	Προσθέστε και κουμπώστε τον

								σύνδεσμο προσαρμογής
15. Earth lead	1	83	5.60	31	5.00	10.60	0	Προσθέστε και κουμπώστε τη γείωση
16. Reorient ation of assembly	1			98	9.00	9.00		Αναπροσανατολί στε τη συναρμολόγηση και ρυθμίστε τη διάταξη
17. Knob assembly	1	30	1.95	08	6.50	8.45	1	Προσθέστε και βιδώστε
18. Fastenin g the screw	1			92	5.00	5.00		Προσθέστε και βιδώστε
19. Plastic cover	1	30	1.95	08	6.50	8.45	0	Προσθέστε και κρατήστε πατημένο το πλαστικό κάλυμμα
20. Reorienti ng the assembly	1			98	9.00	9.00		Αναπροσανατολί στε τη συναρμολόγηση και ρυθμίστε τη διάταξη
21. Screw	3	11	1.80	49	10.50	36.90	0	Προσθέστε και βιδώστε

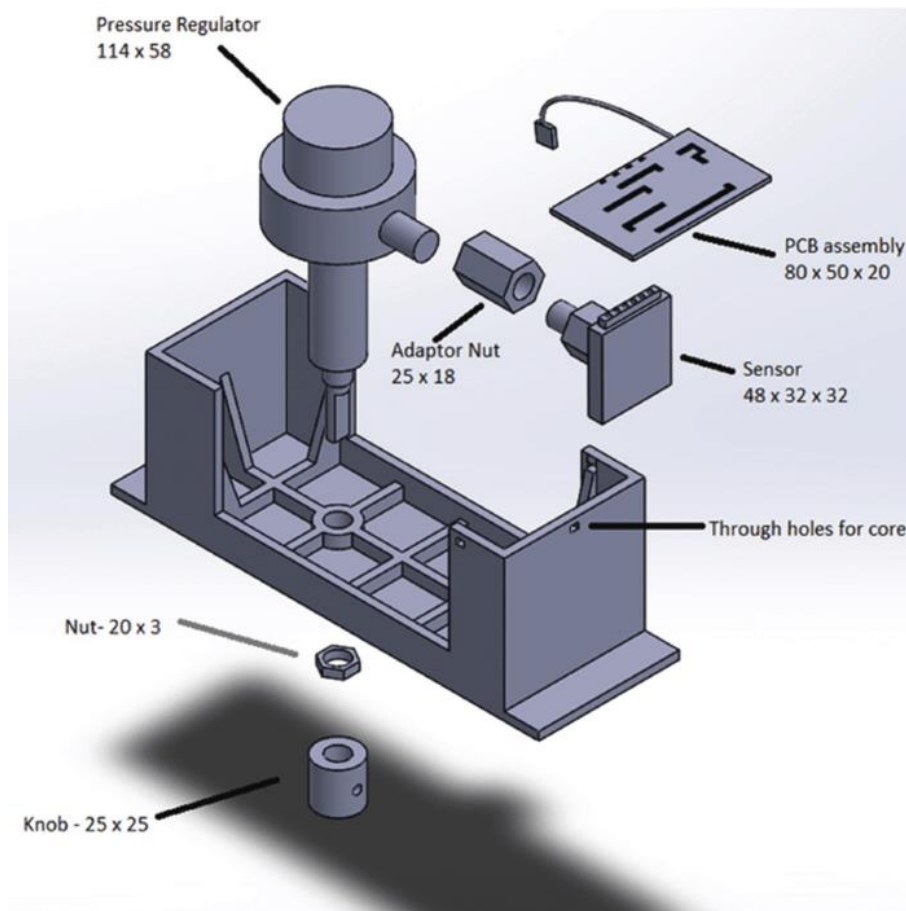
Στον πίνακα 2.3 γίνεται η ανάλυση των σταδίων της διαδικασίας συναρμολόγησης. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο συνολικός χρόνος λειτουργίας είναι το άθροισμα των χρόνων χειρισμού και εισαγωγής πολλαπλασιαζόμενο με τον αριθμό των εξαρτημάτων. Επομένως, προκύπτει πως ο συνολικός χρόνος λειτουργίας της ταινίας είναι 8,3 δευτερόλεπτα.

Μετά την εφαρμογή των κριτηρίων για την εύρεση του ελάχιστου αριθμού εξαρτημάτων, παρατηρείται ότι:

- i. Η ταινία δεν κινείται σε σχέση με τα υπόλοιπα εξαρτήματα.
- ii. Δεν είναι απαγορευτική η χρήση του υλικού κατασκευής της ταινίας, και, συνεπώς, μπορεί να κατασκευασθεί από το ίδιο υλικό κατασκευής του μεταλλικού σκελετού.
- iii. Ο κατασκευαστής του ελεγκτή προμηθεύεται από έτερο κατασκευαστή τον αισθητήρα, με αποτέλεσμα να μην επιτρέπονται αλλαγές στο σχεδιασμό.
- iv. Δεν είναι απαραίτητο η ταινία να είναι ξεχωριστή από τον αισθητήρα, για να διευκολύνεται η συναρμολόγηση του τελευταίου.

Συμπερασματικά, η ταινία μπορεί να εξαλειφθεί, δικαιολογώντας κατά αυτόν τον τρόπο την τοποθέτηση του αριθμού 0 στη στήλη που αντιστοιχεί στον ελάχιστο αριθμό εξαρτημάτων.

Χρησιμοποιώντας τις αρχές του σχεδιασμού για συναρμολόγηση κατά τη μέθοδο Boothroyd Dewhurst, προτείνεται ένας αριθμός πιθανών αλλαγών στον πρωταρχικό σχεδιασμό για τη διάταξη ελεγκτή που απεικονίζεται στο σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2: Συναρμολόγηση ελεγκτή μετά την εφαρμογή της μεθόδου (Boothroyd, 2005)

Πίνακας 2.4: Προτεινόμενες αλλαγές σχεδιασμού για τον ελεγκτή

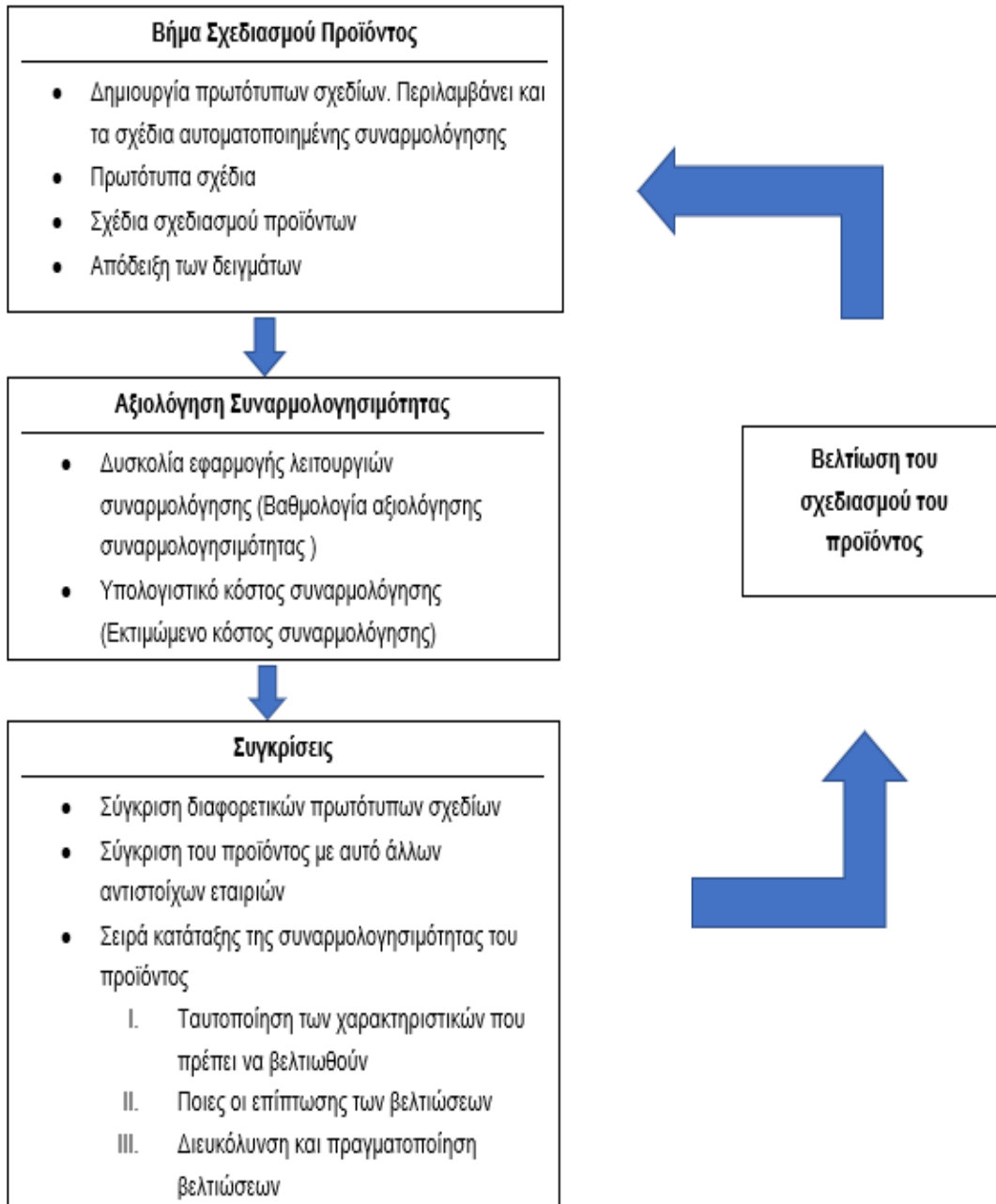
	Προτεινόμενες Αλλαγές Σχεδίου	Εξαρτήματα (Από τον πίνακα 2.3)	Εξοικονόμηση Χρόνου (sec)
1	Το πλαστικό κάλυμμα πρέπει να συνδεθεί με το πλαίσιο και τρεις βίδες πρέπει να αφαιρεθούν και να επαναπροσανατολιστούν	19,20,21	54.35
2	Αφαιρέστε τον ιμάντα και δύο βίδες	6,7	27.9

3	Αφαιρέστε τις βίδες που συγκρατούν τη διάταξη PCB	13	19.6
4	Εξαλείψτε την ανάγκη επαναπροσανατολισμού δύο φορών	4,16	18.00
5	Η συναρμολόγηση του σωλήνα και η λειτουργία στερέωσης με βίδες πρέπει να εξαλειφθούν	10,11	12.00
6	Η γείωση πρέπει να εξαλειφθεί	15	10.60
7	Ο σύνδεσμος προσαρμογής πρέπει να εξαλειφθεί	14	6.95

Εάν εγκριθούν οι προτεινόμενες αλλαγές σχεδιασμού, θα οδηγήσουν σε εξοικονόμηση τουλάχιστον 149,4 δευτερολέπτων του χρόνου συναρμολόγησης. Αυτό ισοδυναμεί με μείωση 66% του συνολικού χρόνου συναρμολόγησης. Επιπλέον, πολλά εξαρτήματα θα μπορούσαν ενδεχομένως να εξαλειφθούν. Αυτό συνεπάγεται περαιτέρω μειωμένο κόστος παραγωγής. Ο νέος χρόνος συναρμολόγησης για το συναρμολογούμενο σύστημα ανασχεδιασμένου ελεγκτή είναι πλέον 84 δευτερόλεπτα από τα 233,4. Σε αυτό το στάδιο θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι τεχνικές και οικονομικές συνέπειες των αλλαγών σχεδιασμού, όπως οι επιδράσεις στη λειτουργικότητα και τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας. Η τεκμηριωμένη εξοικονόμηση εξαρτημάτων, κατασκευής και συναρμολόγησης υποδηλώνει άμεσο κόστος. Για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους, είναι απαραίτητο να προστεθούν και γενικά έξοδα. Αυτά είναι σημαντικά, επειδή αντιπροσωπεύουν περίπου το 200% ή περισσότερο του άμεσου κόστους [21].

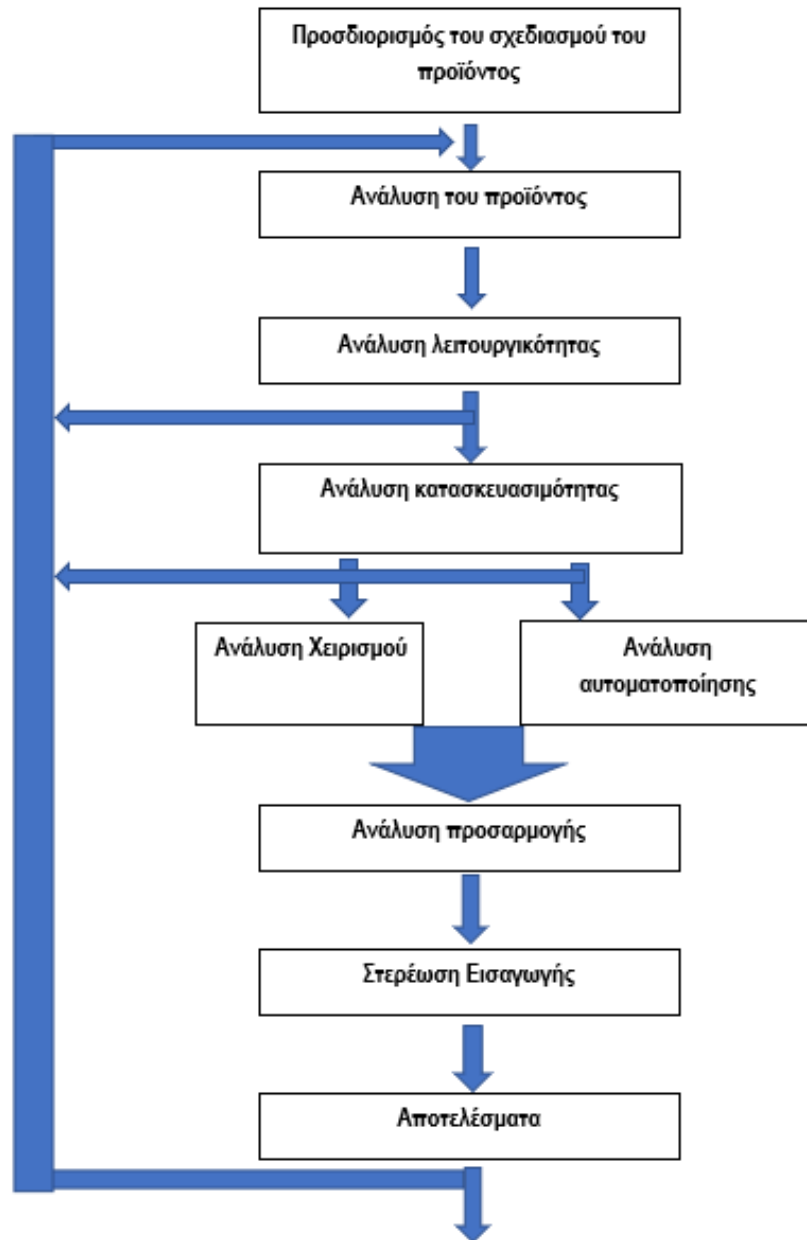
2.6.2 Τεχνική κατά Lucas

Η τεχνική σχεδιασμού με έμφαση στη συναρμολόγηση και στην κατασκευασιμότητα κατά Lucas αναπτύχθηκε από τον Daniel E. Lucas το 1976. Αποτελεί επίσης μια σειρά κανόνων για τη σχεδίαση προϊόντων που επιδιώκουν να μειώσουν το κόστος και τον χρόνο συναρμολόγησης. Οι βασικές αρχές της είναι η απλότητα, η συμμετρία, η εξασφάλιση της προσβασιμότητας και η μείωση των κινήσεων των εργαζομένων κατά τη συναρμολόγηση. Στοχεύει στην απλοποίηση των διαδικασιών συναρμολόγησης και στη μείωση των δαπανών που σχετίζονται με την παραγωγή. Αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της μηχανικής σχεδίασης, ενώ, σε αντίθεση με την μέθοδο των Boothroyd-Dewhurst, που, όπως προαναφέρθηκε, στηρίζεται σε πίνακες με χρόνους χειρισμού και εισαγωγής, η μέθοδος αυτή βασίζεται σε ένα σύστημα βαθμών, δίνοντας σχετικές μετρήσεις της δυσκολίας της συναρμολόγησης.



Σχήμα 2.3: Η μέθοδος Lucas

Το διάγραμμα ροής αξιολόγησης της συναρμολογησιμότητας και της βελτίωσης σχεδιασμού (σχήμα 2.30 αναθέτει ένα σχετικό μέτρο δυσκολίας σε κάθε εργασία συναρμολόγησης. Η μέθοδος βασίζεται σε τρεις ξεχωριστές αναλύσεις που εκτελούνται διαδοχικά. Αυτές οι αναλύσεις περιγράφονται μέσω του διαγράμματος ροής ακολουθίας συναρμολόγησης. Στο σχήμα 2.4 απεικονίζεται η διαδικασία σχεδιασμού Lucas για μηχανική συναρμολόγηση (DFMA).



Σχήμα 2.4: Η μέθοδος Lucas για μηχανική συναρμολόγηση

Κρίνεται απαραίτητη η περαιτέρω ανάλυση και παρουσίαση κάποιων από τις επιμέρους λειτουργίες που αναφέρονται στο σχήμα 2.4. Συγκεκριμένα:

- Ανάλυση λειτουργικότητας. Κατά το πρώτο μέρος της αξιολόγησης, αναλύεται η λειτουργικότητα του προϊόντος. Τα εξαρτήματα χωρίζονται σε δύο ομάδες. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει στοιχεία που εκτελούν μια κύρια λειτουργία, η οποία δεν επιτρέπει την εξάλειψή τους. Αυτά τα εξαρτήματα θεωρούνται βασικά ή «Α» μέρη. Τα

εξαρτήματα της δεύτερης ομάδας «B» είναι μη απαραίτητα στοιχεία, όπως συνδετήρες και δείκτες θέσης. Η απόδοση σχεδιασμού μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τον τύπο: $DE = A/(A+B) * 100 \%$. Πρέπει να είναι τουλάχιστον 60%, ώστε να προχωρήσει η αξιολόγηση του προϊόντος στο επόμενο στάδιο.

- Ανάλυση αυτοματισμού/τροφοδοσίας. Η ανάλυση αυτοματισμού αποτελεί το δεύτερο μέρος του συγκεκριμένου συστήματος αξιολόγησης. Αφορά στα προβλήματα που σχετίζονται με τον χειρισμό εξαρτημάτων και υποσυστημάτων κατά τη συναρμολόγηση. Αποτελούν μια ομάδα ερωτήσεων σχετικά με το μέγεθος, το βάρος, τις δυσκολίες χειρισμού και τον προσανατολισμό του εξαρτήματος. Υπολογίζεται, επίσης, ο δείκτης τροφοδοσίας/χειρισμού του. Η αναλογία τροφοδοσίας ή χειρισμού ισούται με :

Αναλογία F/H = (Δείκτης τροφοδοσίας/χειρισμού) / αριθμός βασικών εξαρτημάτων. Η ανάλυση προσαρμογής διεξάγεται με παρόμοιο τρόπο. Η επιθυμητή τιμή είναι 2,5.

- Ανάλυση προσαρμογής. Η ανάλυση προσαρμογής είναι παρόμοια με την ανάλυση αυτοματισμού ή τροφοδοσίας. Ο επιθυμητός δείκτης προσαρμογής για κάθε συναρμολογούμενο σύστημα είναι 1.5. Ωστόσο, συνήθως υπάρχει μεγαλύτερη απόκλιση στους δείκτες προσαρμογής σε σύγκριση με τους δείκτες αυτοματισμού ή τροφοδοσίας. Η συνολική επιθυμητή αναλογία προσαρμογής είναι 2,5 και ισούται με:

Αναλογία προσαρμογής = Συνολικός δείκτης προσαρμογής/αριθμός βασικών εξαρτημάτων

- Ανάλυση κατασκευασιμότητας. Το τελευταίο μέρος της μεθόδου Lucas περιλαμβάνει τον υπολογισμό κατασκευής του κάθε εξαρτήματος. Μπορεί να επηρεάσει τόσο το υλικό επιλογής, όσο και τη διαδικασία που ακολουθείται για την κατασκευή του εξαρτήματος. Ο υπολογισμός δεν αποτελεί ακριβή κοστολόγηση του εξαρτήματος, ωστόσο είναι μία προσέγγιση που θα βοηθήσει τους σχεδιαστές, παρέχοντας ένα σχετικό μέτρο του κόστους κατασκευής.

Οι τιμές καθενός από τους παραπάνω συντελεστές προέρχονται από λεπτομερείς πίνακες που έχουν αναπτυχθεί για τον σκοπό αυτό. Η κατηγοριοποίηση τους φαίνεται στον πίνακα 2.5.

Πίνακας 2.5: Προτεινόμενες αλλαγές σχεδιασμού για τον ελεγκτή

Χειροκίνητη ανάλυση χειρισμού κατά Lucas				Χειροκίνητη ανάλυση τοποθέτησης/εισαγωγής κατά Lucas			
Δείκτης Χειρισμού = A+B+C+D				Δείκτης Εισαγωγής = A+B+C+D+E+F			
Α. Μέγεθος και Βάρος		Β. Δυσκολίες Χειρισμού		Α. Τοποθέτηση και Στερέωση		D. Προσβασιμότητα και Ορατότητα	
Πολύ μικρό - απαιτεί εργαλεία	1.5	Λεπτό	0.4	Αυτοπροσανατολισμός χωρίς κράτημα	1.0	Απευθείας	0
Βολικό - απαιτεί μόνο ένα χέρι	1	Ευέλικτο	0.6	Απαιτεί κράτημα	2.0	Περιορισμένη	1.5
Μεγάλο και/ή βαρύ απαιτεί περισσότερα από ένα χέρι	1.5	Κολλώδεις	0.5	Αυτασφάλιση	1.3		
Μεγάλο και/ή βαρύ απαιτεί ανυψωτικό ή δύο εργάτες	3	Από	0.8	Βίδωμα	4.0		
		Σοβαρό φώλιασμα	0.7	Χρήση ηλών	4.0		
		Αιχμηρό/Λείο	0.3	Απαιτεί Κάμψη	4.0		
		Άθικτο	0.5				
		Πρόβλημα ολισθηρότητας	0.2				
		Καμία δυσκολία χειρισμού	0				

C. Προσανατολισμός		D. Περιστροφικός Προσανατολισμός		B. Κατεύθυνση διαδικασίας		E. Ευθυγράμμιση	
Συμμετρικός-δεν απαιτεί προσανατολισμό	0	Περιστροφική Συμμετρία	0	Σε ευθεία γραμμή από τα άνω	0	Εύκολη ευθυγράμμιση	0
Ορατό από άκρη σε άκρη	1.0	Ορατή Περιστροφική Συμμετρία	0.2	Ευθεία γραμμή όχι από πάνω	0.1	Δύσκολη ευθυγράμμιση	0.7
Μη ορατό από άκρη σε άκρη	1.5	Μη Ορατή Περιστροφική Συμμετρία	0.4	Όχι σε ευθεία γραμμή γραμμή	1.6		
				C. Εισαγωγή/Τοποθέτηση		F. Δύναμη Εισαγωγής/Τοποθέτησης	
				Μονή	0	Καμία Αντίσταση στην εισαγωγή	0
				Πολλαπλές	0.7	Αντίσταση στην εισαγωγή	0.6
				Ταυτόχρονες Πολλαπλές	1.2		

2.6.3 Ανάλυση κατασκευής DFM

Το πέρας των τριών αναλύσεων συναρμολόγησης (DFA) θα σημάνει την αρχή της ανάλυσης κατασκευής κατά Lucas, η οποία θα εξετάσει το κατασκευαστικό κόστος κάθε κομματιού (DFM). Το κόστος αυτό θα καθορίσει το υλικό κατασκευής, καθώς και τις απαραίτητες διεργασίες για την κατασκευή του. Όπως προαναφέρθηκε, δεν αποτελεί την τελική κοστολόγηση του προϊόντος, αλλά μια προσεγγιστική τιμή, απαραίτητη για τη σχεδιαστική ανάπτυξή του.

Ο δείκτης κόστους εξαρτήματος ορίζεται ως:

$$M_i = R_c * P_c + M_c \quad (2.1)$$

όπου:

- R_c , είναι ο συντελεστής σχετικού κόστους και ισούται με :

$$R_c = C_c * C_{mp} * C_s * C_t \quad (2.2)$$

$$R_c = C_c * C_{mp} * C_s * C_f \quad (2.3)$$

Στην παραπάνω εξίσωση έχουμε :

- C_c : συντελεστής πολυπλοκότητας
- C_{mp} : συντελεστής (καταλληλότητας) υλικού
- C_s : συντελεστής της μικρότερης διατομής
- C_t : συντελεστής ανοχών
- C_f : συντελεστής φινιρίσματος

Επίσης ισχύει :

- P_c : συντελεστής κατεργασιών
- M_c : συντελεστής κόστους υλικού
- V : όγκος (mm^3)
- C_{mt} : συντελεστής κόστους του υλικού
- W_c : συντελεστής αποβλήτου

Η τελική εξίσωση του συντελεστή κόστους του υλικού θα είναι :

$$M_c = V * C_{mt} * W_c \quad (2.4)$$

Οι τιμές των συντελεστών προκύπτουν από αναλυτικούς πίνακες 2.6 έως 2.16. Οι συντελεστές είναι αδιάστατα μεγέθη, δεν μπορούν να χαρακτηριστούν με μια συγκεκριμένη φυσική μονάδα μέτρησης, αλλά αποτελούν ανεξάρτητα, αστικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται σε εξισώσεις ή αντιπροσωπεύουν έννοιες όπως η ποιότητα, η καταλληλότητα, η πολυπλοκότητα και άλλες αφαιρετικές ιδέες.

Σε πρώτη φάση, καθορίζεται η κατηγορία στην οποία ανήκει το κομμάτι.

- I. Κατηγορία Α, αν είναι κυλινδρικό (πίνακας 2.6)
- II. Κατηγορία Β, αν είναι πρισματικό (πίνακας 2.7)
- III. Κατηγορία Γ, αν είναι επίπεδο ή λεπτότοιχο (πίνακας 2.8)

Πίνακας 2.6: Κατηγοριοποίηση κυλινδρικού εξαρτήματος

A. Κυλινδρικό Εξάρτημα				
A1	A2	A3	A4	A5
Μόνο βασικά εκ περιστροφής χαρακτηριστικά	Κανονικά δευτερεύοντα / επαναλαμβανόμενα χαρακτηριστικά	Εσωτερικά χαρακτηριστικά	Εσωτερικά ή εξωτερικά χαρακτηριστικά	Ακανόνιστη ή σύνθετη μορφή
Περιστροφική συμμετρία, αυλάκια, υποκοπές, λοξοτομές, διαβαθμίσεις, κωνικά τμήματα και οπές κατά μήκος του κύριου άξονα ή της κεντρικής γραμμής	Εσωτερικά / εξωτερικά σπειρώματα, μοτίβα εγχάραξης και απλά περιγράμματα, διαμπερείς πλατύνσεις, πολύσφηνα, σφηνόδρομοι, επάνω ή γύρω από τον κύριο άξονα ή την κεντρική γραμμή	Οπές, σπειρώματα, φρεζαρίσματα οπών, και άλλα εσωτερικά χαρακτηριστικά εκτός του κύριου άξονα	Προβολές, σύνθετα χαρακτηριστικά, τυφλές πλατύνσεις, πολύσφηνα και σφηνόδρομοι σε δευτερεύοντες άξονες	Επιφάνειες σύνθετου περιγράμματος ή σειρές χαρακτηριστικών που δεν είναι αντιπροσωπευτικές των προηγούμενων κατηγοριών

Πίνακας 2.7: Κατηγοριοποίηση πρισματικού εξαρτήματος

B. Πρισματικό Εξάρτημα				
B1	B2	B3	B4	B5
Μόνο βασικά χαρακτηριστικά	Κανονικά δευτερεύοντα / επαναλαμβανόμενα χαρακτηριστικά	Ορθογώνια ή ευθύγραμμα χαρακτηριστικά	Απλά καμπυλόγραμμα χαρακτηριστικά σε ένα επίπεδο	Ακανόνιστη μορφή ή μορφή με σύνθετο περίγραμμα
Διαμπερείς διαβαθμίσεις, λοξοτομές, σχισμές, κανάλια, αυλάκια και οπές, σπειρώματα σε έναν άξονα	Κανονικά διαμπερή χαρακτηριστικά, αυλάκια σχήματος T, γραμμικές οδοντώσεις, διατομές κανονικών οδοντώσεων, κ.λπ., επαναλαμβανόμενες οπές, σπειρώματα, φρεζαρίσματα οπών σε ένα επίπεδο	Κανονικές ορθογώνιες ή ευθειογενείς οπές (rockets), προβολές σε έναν ή περισσότερους άξονες, οπές υπό γωνία, σπειρώματα και φρεζαρίσματα οπών	Καμπύλες σε εσωτερικές ή εξωτερικές επιφάνειες	Σύνθετες γλυπτές επιφάνειες, μορφές που δεν ανήκουν σε προηγούμενη κατηγορία

Πίνακας 2.8: Κατηγοριοποίηση επίπεδου ή λεπτότοιχου εξαρτήματος

Γ. Επίπεδο ή λεπτότοιχο Εξάρτημα				
Γ1	Γ2	Γ3	Γ4	Γ5
Μόνο βασικά χαρακτηριστικά	Ομοιόμορφη διατομή ή πάχος τοιχώματος	Μη ομοιόμορφη διατομή ή πάχος τοιχώματος	Κυλινδρικά, κωνικά ή παραλληλεπίπεδα κομμάτια	Ακανόνιστη μορφή ή μορφή με σύνθετο διαμορφωμένα περίγραμμα
Παραλληλεπίπεδα, ροδέλες, απλές κάμψεις, μορφές και διαμπερή χαρακτηριστικά επάνω ή παράλληλα στον κύριο άξονα	Απλοί τροχοί και οδοντωτοί τροχοί, πολλαπλές ή συνεχείς κάμψεις και μορφές	Αλλαγές διατομής μη αποτελούμενες από πολλαπλές κάμψεις ή μορφές, διαβαθμίσεις, κωνικά τμήματα, και τυφλά χαρακτηριστικά	Τεμάχια με πιθανές μεταβολές της διατομής	Σύνθετα ή ακανόνιστα χαρακτηριστικά ή σειρές χαρακτηριστικών που δεν είναι αντιπροσωπευτικές των προηγούμενων κατηγοριών

Πίνακας 2.9: Ο συντελεστής πολυπλοκότητας του εξαρτήματος

Συντελεστής πολυπλοκότητας, Cc								
	Έλαση	Χύτευση σε άμμο	Χύτευση	Σφρηλάτηση	Πρέσα	Κοπή	Κον/ργία	Χύτευση πλαστικού
A1	1	1	1	1		1	1	1
A2	1	1.2	1.1	2.1		1.2	2.1	1.1
A3	3	1.3	1.3	2.3		2.9	2.3	1.3
A4		1.8	2	2.6		5.3	2.6	2
A5		3.2	3.8	3		6.1	4	3.8
B1	2	1.1	1	1	1	1	1	
B2	3	1.2	2.2	2.2	1.3	1.3	1.3	
B3	5	1.4	2.2	2.2	2.6	1.7	1.8	
B4		1.8	2.3	2.3	2.6	1.7	1.8	
B5		2.6	2.7	2.7	2.8	3.5	3	
Γ1	1.5	2.1	2.1	1	1	1	1	
Γ2	3	2.3	2.2	1.2	1.2	1.4	1	1.2
Γ3	3.5	2.8	2.3	1.6	1.5	3.1	1.4	1.8
Γ4		3.7	2.5	2.5	2.2	5.4	2.4	2.9
Γ5		5	3.6	3.4	2.5	6.5	4	3.6

Πίνακας 2.10: Ο συντελεστής καταλληλότητας υλικού του εξαρτήματος

Συντελεστής υλικού, C _{mp}								
	Έλαση	Χύτευση σε άμμο	Χύτευση	Σφυρηλάτηση	Πρέσα	Κοπή	Κον/ργία	Χύτευση πλαστικού
Χυτοσίδηρος		1				1.2	1.6	
Χάλυβας (χαμηλός σε C)	1.3	1.2		1	1.2	1.4	1.2	
Κράμα χάλυβα	2	1.3		2	1.5	2.5	1.1	
Ανοξειδωτος χάλυβας	2	1.5		1	1.5	4	1.1	
Κράμα χαλκού	1	1		1	1	1.1	1	
Κράμα αλουμινίου	1	1	1.5	1	1	1	1	
Κράμα ψευδάργυρου	1	1	1.2		1	1.1	1	
Θερμοπλαστικά						1.1		1
Θερμοσκληρυνόμενα	1.2					1.2		1
Ελαστομερή						1.1		1.5

Πίνακας 2.11: Ο συντελεστής μικρότερης διατομής του εξαρτήματος

Συντελεστής μικρότερης διατομής, C _s σε mm								
Ελάχιστη διατομή	Έλαση	Χύτευση σε άμμο	Χύτευση	Σφυρηλάτηση	Πρέσα	Κοπή	Κον/ργία	Χύτευση πλαστικού
<= 0,4	1				1	1.6		2
>0,4 – 0,6	1		1.5		1	1.4		1.2
>0,6 – 1,0	1		1	1.5	1	1	1.2	
>1,0 – 3,0	1	2	1	1	1	1	1	1
>3,0 – 5,0	1	1	1	1	1.2	1	1	1
>5,0	1	1	1	1	1.7	1	1	1

Πίνακας 2.12: Ο συντελεστής ανοχών του εξαρτήματος

Συντελεστής ανοχών, C _t												
Ανοχή (mm)	Έλαση			Χύτευση σε άμμο			Χύτευση			Σφυρηλάτηση		
	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+
≤0.004	3.7	5.3	6.1	4.6	5.6	6.8	5.1	6.1	7	4.3	5.6	6.6
>0.004-0.01	2.8	3.1	4.3	3.5	3.8	4.9	3.5	4.2	5	3.2	3.5	4.6
>0.01-0.03	1.9	2.4	2.6	2.8	3	3.2	2.8	3	3.6	2.6	2.8	3
>0.03-0.05	1.1	1.5	1.9	2.4	2.5	2.8	2.8	2.5	2.8	2.3	2.4	2.5
>0.05-0.08	1	1	1	2.2	2.4	2.5	1.5	2	2.4	2.2	2.3	2.4
>0.08-0.15	1	1	1	2	2.2	2.4	1	1.4	2	1.9	2.2	2.3
>0.15-0.3	1	1	1	1.9	2	2.2	1	1	1	1.8	1.9	2.2
>0.3	1	1	1	1.5	1.7	1.9	1	1	1	1.4	1.6	1.8
>0.004-0.01	2.8	3.1	4.3	3.5	3.8	4.9	4.2	4.2	5	3.2	3.5	4.6

Συντελεστής ανοχών, C _t												
Ανοχή (mm)	Πρέσα			Κοπή			Κον/ργία			Χύτευση πλαστικού		
	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+
≤0.004	4.6	5.4	6.5	3.7	5.3		3.1	4.6	5.4	4.8	6.3	7.1
>0.004-0.01	3.2	3.8	4.5	2.8	3.1	4.3	1.4	1.7	2.1	3.6	3.9	5.2
>0.01-0.03	2.6	2.8	3.2	2.2	2.4	2.6	1	1.1	1.4	2.9	3.4	3.4
>0.03-0.05	2.2	2.4	2.5	1.2	1.4	1.6	1	1	1	1.9	2.1	2.3
>0.05-0.08	1	1.4	1.6	1.1	1.2	1.4	1	1	1	1	1	1
>0.08-0.15	1	1	1	1	1.1	1.2	1	1	1	1	1	1
>0.15-0.3	1	1	1	1	1	1.1	1	1	1	1	1	1
>0.3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
>0.004-0.01	3.2	3.8	4.5	2.8	3.1	4.3	1.4	1.7	2.1	3.6	3.9	5.2

Πίνακας 2.13: Ο συντελεστής φινιρίσματος του εξαρτήματος

Συντελεστής φινιρίσματος, C _f													
Φινίρισμα επιφάνειας (μm)		Έλαση			Χύτευση σε άμμο			Χύτευση			Σφυρηλάτηση		
		1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+
Πάρα πολύ λεία	≤0,4	4.3	5.1	6.3	4.9	5.6	6.6	4.3	5.1	6.3	4.9	5.65	6.6
Πολύ λεία	>0,4-0,6	2	2.5	2.9	3.9	4.2	4.6	1.2	1.5	1.7	3.2	3.4	3.8
Λεία	>0,6-0,8	1.1	1.2	1.4	3	3.2	3.5	1.2	1.2	1.5	2.6	2.8	3
Σχεδόν λεία	>0,8-1,0	1	1.1	1.2	2.5	2.6	3	1	1.1	1.3	2.3	2.4	2.6
Κανονική	>1,0-3,0	1	1	1	2.3	2.4	2.6	1	1	1	1.9	2	2.2
Σχεδόν Κανονική	>3,0-5,0	1	1	1	2	2.1	2.3	1	1	1	1.4	1.5	1.7
Σχεδόν τραχεία	>5,0-10,0	1	1	1	1.9	2	2.1	1	1	1	1	1.1	1.3
Πολύ τραχεία	>10,0	1	1	1	1	1.1	1.3	1	1	1	1	1	1

Συντελεστής φινιρίσματος, Cf													
Φινίρισμα επιφάνειας (μm)		Πρέσα			Κοπή			Κον/ργία			Χύτευση πλαστικού		
		1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+
Πάρα πολύ λεία	≤0,4	4.4	5.3	6.8	4.14	4.84		4.3	5.1	6.3	1.2	1.2	1.2
Πολύ λεία	>0,4-0,6	1.3	1.5	1.8	1.2	1.5	1.7	2	2.5	2.9	1	1	1
Λεία	>0,6-0,8	1	1.2	1.5	1.1	1.3	1.5	1.1	1.2	1.5	1	1	1
Σχεδόν λεία	>0,8-1,0	1.1	1	1.2	1	1	1.3	1	1.1	1.3	1	1	1
Κανονική	>1,0-3,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Σχεδόν Κανονική	>3,0-5,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Σχεδόν τραχεία	>5,0-10,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Πολύ τραχεία	>10,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Πίνακας 2.14: Ο συντελεστής κατεργασιών του εξαρτήματος

Συντελεστής κατεργασιών, P _c									
Ποσότητα ανά έτος	Έλαση	Χύτευση σε άμμο	Χύτευση	Σφυρηλάτηση	Πρέσα	Κοπή (αυτόματη)	Κοπή (χειροκίνητη)	Κον/ργία	Χύτευση πλαστικού
10	2000	513	10000	15000	8000	5000	505	50000	10000
50	4000	113	2000	3000	1600	1000	105	10000	3000
100	2000	63	1000	1500	800	500	55	5000	1000
200	1000	38	500	750	400	250	30	2500	500
400	500	26	250	376	200	126	18	1250	250
600	330	21	128	251	134	85	14	836	167
800	250	19	126	189	100	64	11	628	126
1,000	200	18	100	151	80	51	10	500	100
2,000	100	16	51	76	40	26	7.7	253	51
4,000	50	14.3	26	39	20	14	6.5	128	26
6,000	35	13.8	17	26	14	9.6	6	86	17
8,000	26	13.6	13	20	10	7.5	5.8	66	13
10,000	21	13.5	11	16	8	6.2	5.7	53	11
20,000	11	13.3	3.8	8.7	4.4	3.7	5.46	28	5.8
30,000	7.3	13.2	4.1	6.2	3.1	2.9	5.38	19.7	4.1
40,000	5.6	13.1	3.3	5	2.4	2.47	5.34	15.5	3.3
50,000	4.6	13.1	2.8	4.2	2	2.22	5.31	13	2.8
60,000	3.9	13.1	2.4	3.7	1.8	2.05	5.29	11.4	2.4
70,000	3.5	13.1	2.2	3.4	1.6	1.3	5.28	10.2	2.2
80,000	3.3	13.1	2	3.1	1.4	1.85	5.27	9.3	2
90,000	2.8	13.1	1.9	2.9	1.3	1.78	5.26	8.6	1.9
100,000	2.6	13.1	1.78	2.7	1.2	1.72	5.26	8	1.8
200,000	1.61	13	1.28	1.97	0.83	1.47	5.24	5.54	1.3
400,000	1.11	13	1	1.59	0.63	1.35	5.22	4.29	1
600,000	0.94	13	0.95	1.47	0.57	1.3	5.22	3.87	0.95
800,000	0.86	13	0.91	1.47	0.53	1.28	5.21	3.67	0.91
1,000,000	0.81	13	0.88	1.37	0.51	1.27	5.21	3.54	0.88
1,500,000	0.74	13	0.85	1.32	0.49	1.25	5.21	3.37	0.85
2,000,000	0.71	13	0.83	1.3	0.47	1.24	5.21	3.29	0.83
2,500,000	0.69	13	0.82	1.28	0.47	1.24	5.21	3.24	0.82
3,000,000	0.67	13	0.81	1.27	0.46	1.24	5.21	3.21	0.81

Πίνακας 2.15: Ο συντελεστής κόστους του υλικού του εξαρτήματος

Συντελεστής Κόστους Υλικού, C _{mt}	
Υλικό	(cents / mm ³)
Χυτοσίδηρος	0.00105
Χάλυβας (χαμηλός σε C)	0.00068
Κράμα χάλυβα	0.00259
Ανοξειδωτος χάλυβας	0.00341
Κράμα χαλκού	0.00564
Κράμα αλουμινίου	0.000675
Κράμα ψευδάργυρου	0.00369
Θερμοπλαστικά	0.00107
Νάιλον, ακρυλικά και άλλα	0.00035
Θερμοσκληρυνόμενα	0.00058
Ελαστομερή	0.00035

Πίνακας 2.16: Ο συντελεστής αποβλήτου του εξαρτήματος

Συντελεστής αποβλήτου, W _c								
	Έλαση	Χύτευση σε άμμο	Χύτευση	Σφυρηλάτηση	Πρέσα	Κοπή	Κον/ργία	Χύτευση πλαστικού
A1	1	1.1	1	1.1		1.6	1	1
A2	1	1.1	1.1	1.1		2	1	1.1
A3	1	1.2	1.1	1.2		2.5	1	1.1
A4		1.3	1.2	1.2		3	1	1.2
A5		1.4	1.3	1.3		4	1.2	1.3
B1	1	1.1	1	1.1		1.7	1	1
B2	1	1.1	1.1	1.1		2.2	1	1.1
B3	1	1.2	1.1	1.2		2.8	1	1.1
B4		1.3	1.2	1.2		4	1	1.1
B5		1.4	1.3	1.3		6	1.2	1.2
Γ1	1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.8	1	1
Γ2	1	1.2	1.1	1.1	1.2	2.4	1	1.1
Γ3	1	1.3	1.1	1.1	1.4	4	1	1.1
Γ4		1.4	1.2	1.2	1.4	6	1	1.1
Γ5		1.6	1.3	1.3	11.6	8	1.2	1.2

Συμπερασματικά, η συναρμολόγηση και η κατασκευασιμότητα είναι δύο σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό ενός προϊόντος από τους σχεδιαστές και τους μηχανικούς παραγωγής. Απαιτείται σχεδίαση που να διευκολύνει τη συναρμολόγηση. Οι μέθοδοι που εξετάστηκαν λαμβάνουν υπόψη τη δυνατότητα πρόσβασης σε κρίσιμα σημεία, τη δυνατότητα σύνδεσης των διαφόρων εξαρτημάτων, τη χρήση απλών

εργαλείων και τη μείωση του αριθμού των βημάτων στη διαδικασία συναρμολόγησης και παραγωγής. Στο επόμενο κεφάλαιο, θα αναπτυχθεί ο πρωταρχικός σχεδιασμός του πλαισίου του αυτοκινήτου και ακολούθως θα εφαρμοστούν οι μέθοδοι DFM και DFA, βάσει των οποίων θα σχεδιαστεί το νέο πλαίσιο.

2.7 Σύνοψη

Το παρόν κεφάλαιο επικεντρώθηκε στον σχεδιασμό για βέλτιστη κατασκευασιμότητα (DFM) και στον σχεδιασμό για βέλτιστη συναρμολόγηση (DFA) στον τομέα της μηχανικής και της βιομηχανικής παραγωγής. Εξετάστηκαν οι αρχές του σχεδιασμού που επιτρέπουν τη βέλτιστη κατασκευασιμότητα και συναρμολόγηση, καθώς και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη των στόχων αυτών.

Συγκεκριμένα, αναλύθηκαν οι αρχές του σχεδιασμού για βέλτιστη συναρμολόγηση και κατασκευασιμότητα, καθώς και οι τεχνικές DFM/DFA που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία. Παρουσιάστηκαν η τεχνική κατά Boothroyd-Dewhurst, που επικεντρώνεται στην απλοποίηση των διαδικασιών κατασκευής, καθώς και η τεχνική κατά Lucas, που αφορά στην εξειδίκευση των μερών για βέλτιστη συναρμολόγηση.

Επιπλέον, διεξήχθη ανάλυση κατασκευής DFM, που επικεντρώθηκε στη βελτιστοποίηση των διαδικασιών και των υλικών για την ευκολότερη κατασκευή. Για την κατανόηση της μεθόδου αξιοποιήθηκε ως προϊόν-παράδειγμα ένας ελεγκτής. Συνεπώς, παρέχεται μια πλήρης και λεπτομερής εικόνα των αρχών, των τεχνικών και των μεθοδολογιών που συνδέονται με τον σχεδιασμό για βέλτιστη κατασκευασιμότητα και συναρμολόγηση, εξυπηρετώντας την εισαγωγή στον τομέα αυτόν. Στη συνέχεια, θα ακολουθήσει η εφαρμογή αυτών σε μέρη του αυτοκινήτου, όπου κρίνεται απαραίτητο.

2.8 Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου

[22] T. J. Howard, S. J. Culley and E. Dekoninck, «Creativity in the engineering design process», Research Gate, Δανία, 2008

[23] Hill P. H., Rinehart H., «The science of engineering design», Holt, Rinehart & Winston of Canada Ltd, 1968

[24] Tien-Chien chang, Richard A Wysk and Hsu-Pin Wang, «Information taken from Computer-Aided Manufacturing», Roberto Orozco Sanchez, 1998

[25] Lee D. E. and Melkanodd M. A., «Product design analysis using the assembly design evaluation metric», Proceedings of the ASME Computers in Engineering Conference, Vol. 1, Vol. 1, 95-102, Santa Clara, CA., 1991

[26] Miyakawa, S. and Ohashi, T., «The Hitachi Assembly Evaluation Method (AEM)», JSME International Journal, Series C, Vol. 45, No. 2, 2002

[27] G. Boothroyd, L. Alting, «Design for Assembly and Disassembly, CIRP Annals - Manufacturing Technology», Science Direct, Elsevier, Volume 41, Issue 2, 1992

Κεφάλαιο 3

Σχεδιασμός υφιστάμενου πλαισίου

Περιεχόμενα

3 Σχεδιασμός υφιστάμενου πλαισίου	55
3.1 Εισαγωγή	55
3.2 Μηχανολογικός σχεδιασμός υφιστάμενου πλαισίου	56
3.3 Υλικά κατασκευής υφιστάμενου πλαισίου	56
3.4 Τρισδιάστατος σχεδιασμός πλαισίου	57
Σχήμα 3.1: Μηχανολογικό σχέδιο πλαισίου από το εγχειρίδιο χρήσης του αυτοκινήτου	58
Σχήμα 3.2: Τρισδιάστατο σχέδιο πλαισίου του αυτοκινήτου από το πρόγραμμα Solidworks 2020, άνω όψη	58
Σχήμα 3.3: Τρισδιάστατο σχέδιο πλαισίου του αυτοκινήτου από το πρόγραμμα Solidworks 2020, πλάγια όψη	59
Σχήμα 3.4: Τρισδιάστατο σχέδιο πλαισίου του αυτοκινήτου από το πρόγραμμα Solidworks 2020, ισομετρική όψη	59
Σχήμα 3.5: Σχεδιάγραμμα του καταλόγου εξαρτημάτων του πλαισίου του αυτοκινήτου	64
3.5 Σύνοψη	64
3.6 Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου.....	65

3 Σχεδιασμός υφιστάμενου πλαισίου

3.1 Εισαγωγή

Ο σχεδιασμός του πλαισίου πραγματοποιήθηκε εξολοκλήρου με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή, χρησιμοποιώντας το πακέτο λογισμικού σχεδίασης Solid Works 2020. Το πρόγραμμα βασίζεται στη τρισδιάστατη σχεδίαση (3D CAD ή Computer Aided Design), που χρησιμοποιείται ευρέως για τον σχεδιασμό και τη μοντελοποίηση προϊόντων και εξαρτημάτων. Ανήκει στην εταιρεία Dassault Systèmes και χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορους τομείς, όπως οι μηχανολογικές και ηλεκτρονικές εφαρμογές, η αεροναυπηγική, η αυτοκινητοβιομηχανία και η κατασκευή προϊόντων, καθώς και για εκπαιδευτικούς σκοπούς.

Η συγκεκριμένη πλατφόρμα περιλαμβάνει ποικίλα εργαλεία σχεδίασης, όπως εργαλεία για τη δημιουργία εξαρτημάτων και συναρμολογήσεων, τη διαχείριση αρχείων, καθώς και τη δυνατότητα πραγματοποίησης πληθώρας αναλύσεων, που θα αξιοποιηθούν στη συνέχεια. Τα αποτελέσματα των μεθόδων σχεδιασμού, με έμφαση στην κατασκευή και στη συναρμολόγηση θα οδηγήσουν σε μια βελτιωμένη σχεδιαστική πρόταση.

3.2 Μηχανολογικός σχεδιασμός υφιστάμενου πλαισίου

Ο σχεδιασμός του υφιστάμενου πλαισίου της Mercedes-Benz SL 300 Gullwing πραγματοποιήθηκε από τον Rudolf Uhlenhaut. Ο Uhlenhaut εργαζόταν στη Mercedes-Benz από το 1931 ως υπεύθυνος για την ανάπτυξη πολλών σημαντικών αυτοκινήτων της εταιρείας. Στις βασικές του αρμοδιότητες ανήκε ο σχεδιασμός του σασί και του συστήματος ανάρτησης του συγκεκριμένου μοντέλου. Οι σχεδιαστικές του ιδέες βασίστηκαν στην εμπειρία του από τους αγώνες αυτοκινήτων, καθώς ο ίδιος ήταν ο σχεδιαστής και της Mercedes-Benz W196, ενός αγωνιστικού αυτοκινήτου που κέρδισε διάφορα πρωταθλήματα στη δεκαετία του 1950.

Το σασί της SL 300 Gullwing κατασκευάστηκε από αλουμίνιο και είχε μια ειδικά σχεδιασμένη ανάρτηση, ανεξάρτητη για τον κάθε τροχό, που προσαρμόζονταν στις ανάγκες του οδηγού. Η αυξημένη ισχύς του κινητήρα απαιτήσε την ενίσχυση του πλαισίου. Ο σχεδιασμός του θεωρείται μια από τις σημαντικότερες καινοτομίες της εποχής, καθώς συνδυάζει την αντοχή με την απόδοση και την άνεση οδήγησης. Το αυτοκίνητο διαθέτει μια εξαιρετικά σταθερή βάση, ενώ οι αναρτήσεις το έκαναν άνετο κατά την οδήγηση σε ποικίλους τύπους εδαφών.

Αξιοσημείωτο είναι πως ο σχεδιασμός του πλαισίου βοήθησε στη δημιουργία της ιδιαίτερης εμφάνισης του αυτοκινήτου. Η οροφή με τις χαρακτηριστικές πτυχώσεις έγινε δυνατή μέσω της σταθερής και ελαφριάς κατασκευής του, και το αποτέλεσμα ήταν ένα αυτοκίνητο που γνώρισε μεγάλη απήχηση στην εποχή του. Τη σύγχρονη εποχή θεωρείται μια από τις σημαντικότερες δημιουργίες στην ιστορία της αυτοκίνησης, καθώς αποτελεί εξαιρετικό παράδειγμα της ανάγκης για συνδυασμό αντοχής και απόδοσης στον σχεδιασμό αυτοκινήτων.

3.3 Υλικά κατασκευής υφιστάμενου πλαισίου

Όπως τα σύγχρονα αγωνιστικά αυτοκίνητα, το 300 SL έχει ένα σωληνωτό πλαίσιο σχεδιασμένο από τον επικεφαλής μηχανικό της Mercedes, Rudolf Uhlenhaut. Ένα σωληνωτό πλαίσιο παρέχει υψηλή σταθερότητα, διατηρώντας χαμηλή τη μάζα του οχήματος. Λεπτοί, ευθύγραμμοι σωλήνες χρωμίου-μολυβδαινίου συναρμολογήθηκαν ως τρίγωνα, με το τελικό πλαίσιο να ζυγίζει περίπου 82 κιλά. Το υλικό το οποίο επιλέχθηκε είναι το AISI 4130 Steel, ανοπτημένο στους 865° C. Οι ιδιότητες του συγκεκριμένου χάλυβα (πίνακες 3.1 και 3.2) το καθιστούν ευέλικτο μέταλλο, ιδιαίτερα οι μηχανικές του ιδιότητες, όπως η υψηλή ολκιμότητα, η καλή συγκολλησιμότητα και το γεγονός ότι μπορεί να κατεργαστεί εύκολα. Ο κύριος λόγος για την ανόπτηση του χάλυβα 4130 είναι η προετοιμασία του για κατεργασία. Η προκύπτουσα δομή, που λαμβάνεται με την ανόπτηση του κράματος, το καθιστά ιδανικό για τον σχηματισμό απλών σχημάτων, όπως

τα φύλλα ή οι σωλήνες. Οι ιδιότητές του καθιστούν εύκολη τη συμβατική μηχανική κατεργασία του, εκτός εάν έχει σκληρυνθεί σημαντικά. Η ανόπτηση έχει βαθμολογία μηχανικής κατεργασίας 72%, η οποία αυξάνεται, εάν λάβει χώρα περαιτέρω σκλήρυνση λόγω του σχηματισμού μαρτενσίτη. Ο χάλυβας 4130 μπορεί να συγκολληθεί εύκολα λόγω της χαμηλής περιεκτικότητάς του σε άνθρακα. Παράλληλα, οι ιδιότητές του το καθιστούν την τέλεια επιλογή για την αυτοκινητοβιομηχανία, καθώς είναι σκληρό, εύκολα κατεργασμένο και συγκολλησιμο υλικό. Όταν υποβάλλεται σε θερμική επεξεργασία, αναπτύσσει μηχανικές ιδιότητες που το καθιστούν πολύ ισχυρό μέταλλο, αν και μπορεί να χάσει μέρος της μηχανικής του ικανότητας [28],[29],[30] και [31].

Πίνακας 3.1: Σύνθεση κράματος κατά βάρος (%)

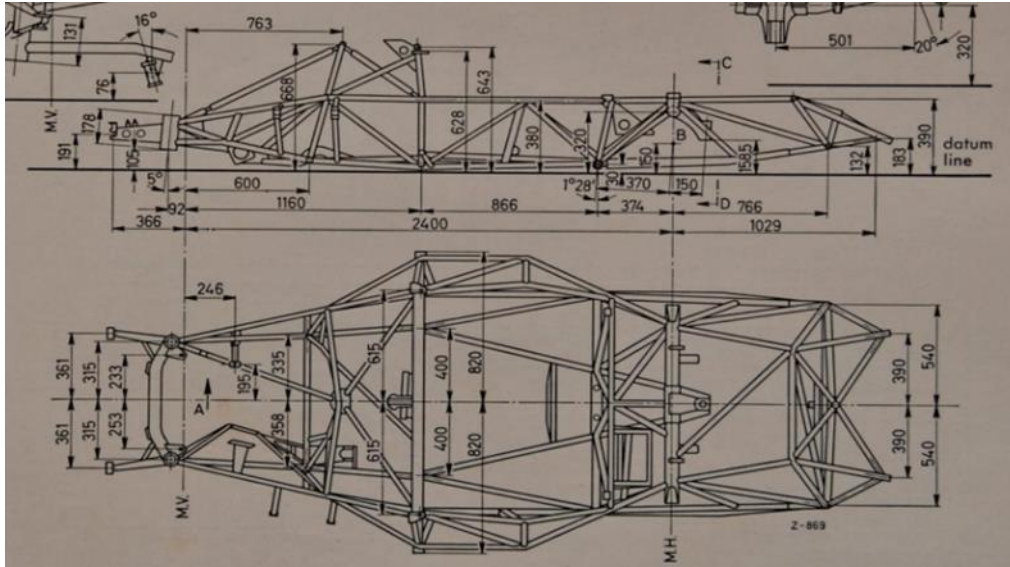
SAE grade	Cr	Mo	C ^{eq}	Mn	P, max.	S, max.	Si
4130	0.80–1.10	0.15–0.25	0.28–0.33	0.40–0.60	0.035	0.040	0.15–0.35

Πίνακας 3.2: Ιδιότητες Υλικού AISI 4130

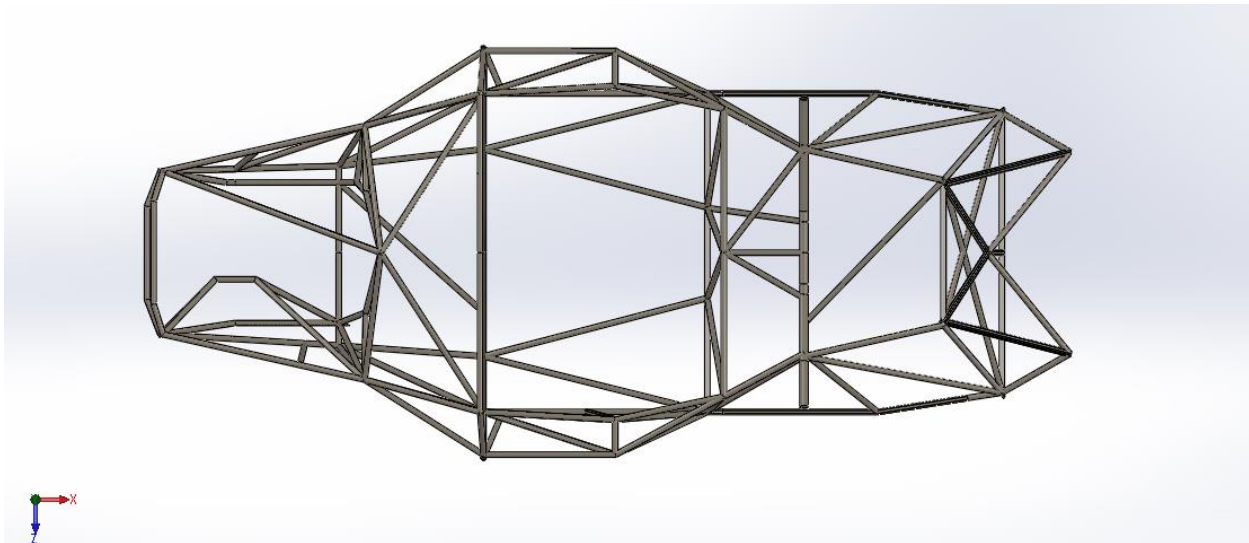
Property	Value	Units
Elastic Modulus	2.05e+11	N/m ²
Poisson's Ratio	0.285	N/A
Shear Modulus	8e+10	N/m ²
Mass Density	7850	kg/m ³
Tensile Strength	560000000	N/m ²
Yield Strength	460000000	N/m ²

3.4 Τρισδιάστατος σχεδιασμός πλαισίου

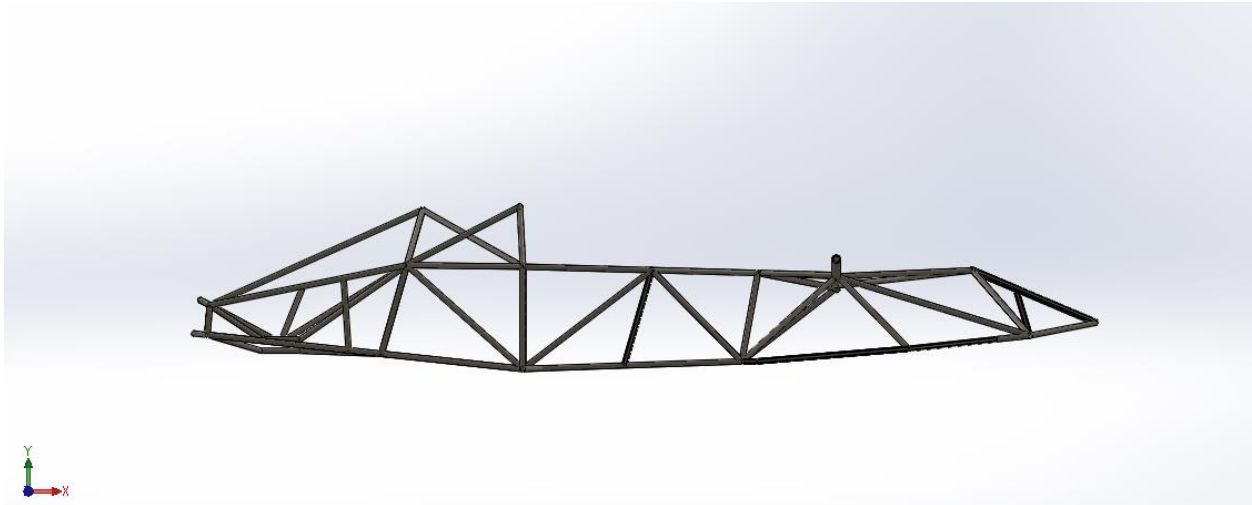
Ο σχεδιασμός του πλαισίου πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη τις προδιαγραφές του μοντέλου. Το απαραίτητο μηχανολογικό σχέδιο βρέθηκε στο εγχειρίδιο του αυτοκινήτου (σχήμα 3.1). Αυτό περιλαμβάνει τα σχέδια και τις πληροφορίες που αφορούν τα μηχανικά και μηχανολογικά συστήματα του αυτοκινήτου. Ωστόσο, υπήρχαν διαστασιολογικές ελλείψεις, οι οποίες καλυφθήκαν με τη χρήση μαθηματικών και τριγωνομετρίας, καθώς και με τη βοήθεια φωτογραφιών και σχεδίων από το διαδίκτυο. Το εμπρόσθιο μέρος και η οπίσθια ανάρτηση πρέπει να συνδεθούν άκαμπτα με το πλαίσιο. Οποιαδήποτε παραμόρφωση αυτών των σημείων θα επηρεάσει τον χειρισμό του οχήματος. Οι σωληνώσεις που χρησιμοποιήθηκαν είναι κυλινδρικοί 21.3 x 2.3 χιλιοστών, καθώς και τετράγωνοι 20 x 20 x 2 χιλιοστών, βάσει του διαθέσιμου μηχανολογικού σχεδίου. Ο τρισδιάστατος σχεδιασμός πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος Solid Works 2020 όπως φαίνεται στα σχήματα 3.2, 3.3 και 3.4. Τα μηχανολογικά σχέδια του πλαισίου παρουσιάζονται στο παράρτημα.



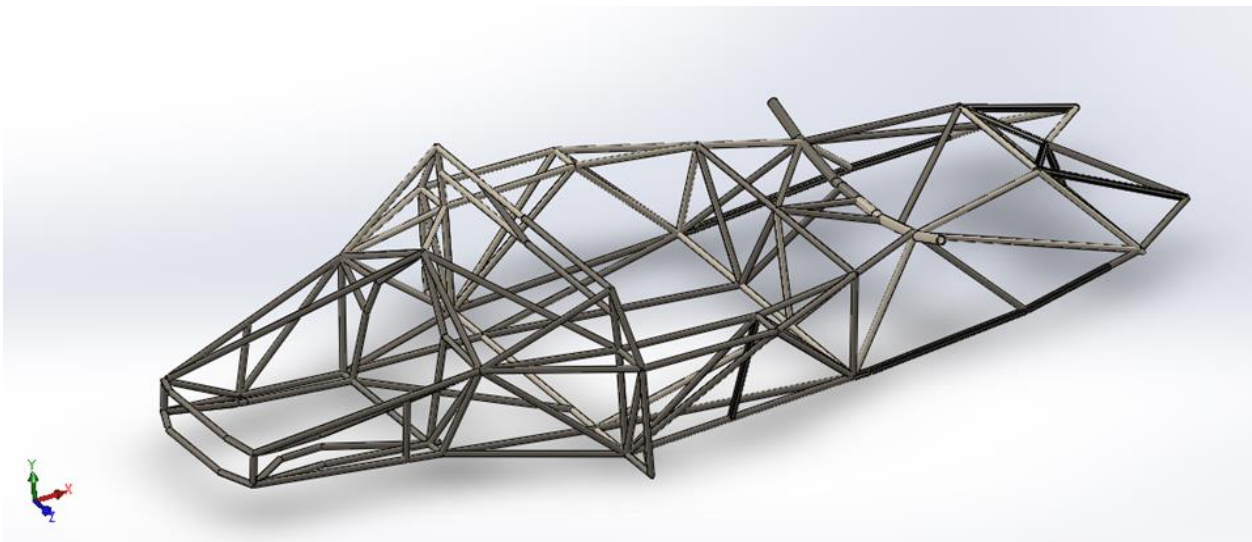
Σχήμα 3.1: Μηχανολογικό σχέδιο πλαισίου από το εγχειρίδιο χρήσης του αυτοκίνητου



Σχήμα 3.2: Τρισδιάστατο σχέδιο πλαισίου του αυτοκίνητου από το πρόγραμμα Solidworks 2020, άνω όψη



Σχήμα 3.3: Τρισδιάστατο σχέδιο πλαισίου του αυτοκίνητου από το πρόγραμμα Solidworks 2020, πλάγια όψη



Σχήμα 3.4: Τρισδιάστατο σχέδιο πλαισίου του αυτοκίνητου από το πρόγραμμα Solidworks 2020, ισομετρική όψη

Στη συνέχεια, με τη βοήθεια του τρισδιάστατου σχεδίου του πλαισίου δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα ο κατάλογος εξαρτημάτων. Ο κατάλογος εξαρτημάτων (πίνακας 3.3) στο μηχανολογικό σχέδιο αποτελεί μία λίστα που περιλαμβάνει όλα τα εξαρτήματα που απαιτούνται για την κατασκευή του συγκεκριμένου μηχανολογικού συστήματος. Το υλικό κατασκευής είναι αποκλειστικά ο AISI 4130 χάλυβας. Αναλυτικά, διαθέτει τα ονόματα των εξαρτημάτων, τα σχέδια και τις διαστάσεις τους, τις ποσότητες που απαιτούνται και οποιεσδήποτε άλλες λεπτομέρειες που μπορούν να βοηθήσουν στην κατασκευή του πλαισίου. Αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του μηχανολογικού σχεδίου, καθώς βοηθά

στην οργάνωση και τον προγραμματισμό της κατασκευής του μηχανολογικού συστήματος και διασφαλίζει πως όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα θα είναι διαθέσιμα κατά την κατασκευή.

Πίνακας 3.3: Ο κατάλογος εξαρτημάτων του υφιστάμενου σωληνωτού πλαισίου του αυτοκινήτου [Solid Works 2020]

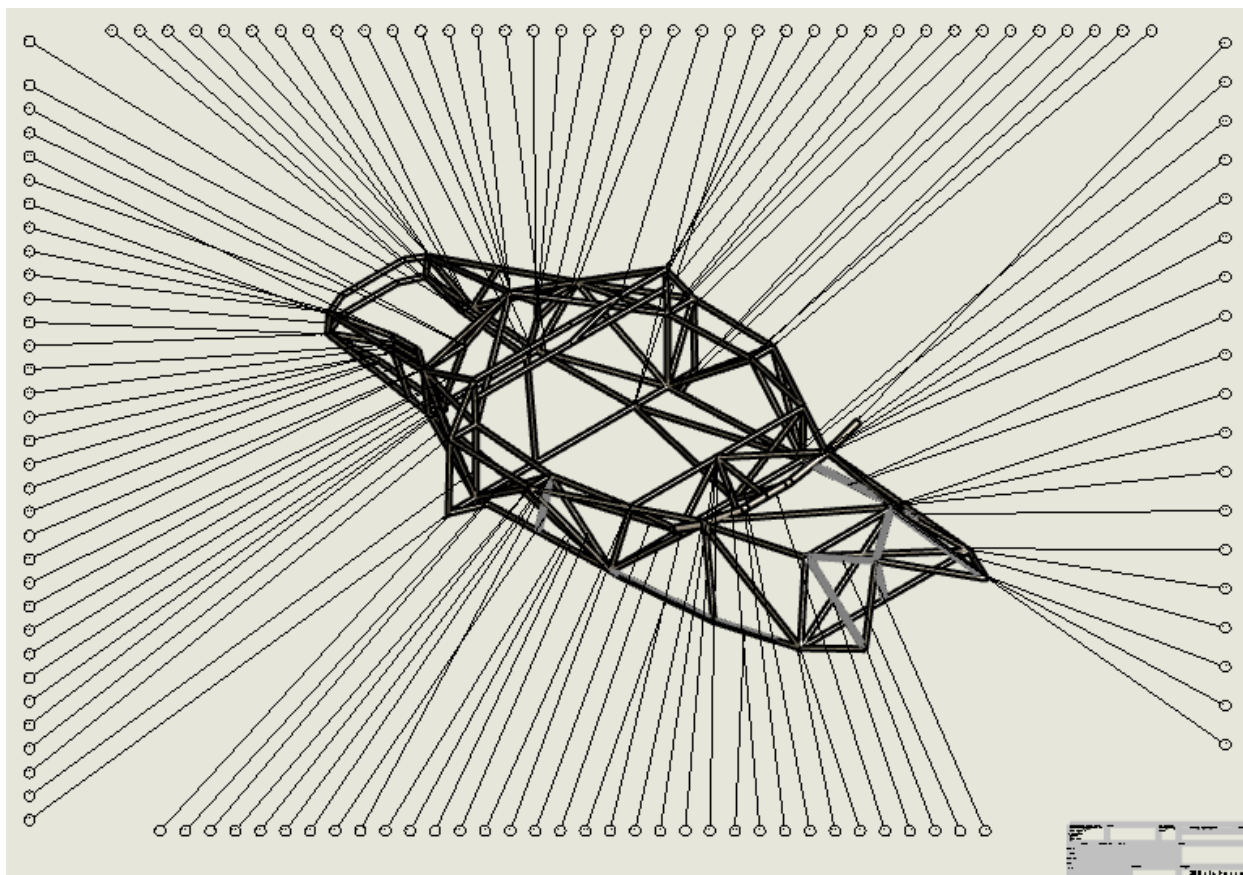
Κατάλογος Εξαρτημάτων			
Αριθμός Εξαρτήματος	Ποσότητα Εξαρτήματος	Σύντομη Περιγραφή	Μέγεθος Εξαρτήματος (mm)
1	1	PIPE 21.30 X 2.3	866.52
2	1	PIPE 21.30 X 2.3	892.79
3	2	PIPE 21.30 X 2.3	307.03
4	1	PIPE 21.30 X 2.3	888.84
5	1	PIPE 21.30 X 2.3	875.11
6	2	PIPE 21.30 X 2.3	553.69
7	1	PIPE 21.30 X 2.3	776.71
8	2	PIPE 21.30 X 2.3	546.90
9	2	PIPE 21.30 X 2.3	133.60
10	2	PIPE 21.30 X 2.3	813.13
11	1	PIPE 21.30 X 2.3	315.75
12	2	PIPE 21.30 X 2.3	369.83
13	1	PIPE 21.30 X 2.3	1119.00
14	1	PIPE 21.30 X 2.3	511.47
15	1	PIPE 21.30 X 2.3	357.80
16	1	PIPE 21.30 X 2.3	404.51
17	1	PIPE 21.30 X 2.3	527.70
18	1	PIPE 21.30 X 2.3	895.25
19	1	PIPE 21.30 X 2.3	415.94
20	1	PIPE 21.30 X 2.3	523.27
21	2	PIPE 21.30 X 2.3	431.31
22	2	PIPE 21.30 X 2.3	135.00
23	1	PIPE 21.30 X 2.3	533.37
24	1	PIPE 21.30 X 2.3	558.64
25	1	PIPE 21.30 X 2.3	672.91
26	1	PIPE 21.30 X 2.3	655.06
27	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	392.18
28	1	PIPE 21.30 X 2.3	558.64
29	1	PIPE 21.30 X 2.3	533.37
30	1	PIPE 21.30 X 2.3	415.94
31	2	PIPE 21.30 X 2.3	185.92
32	1	PIPE 21.30 X 2.3	426.98
33	1	PIPE 21.30 X 2.3	523.61
34	2	PIPE 21.30 X 2.3	479.44
35	2	PIPE 21.30 X 2.3	353.32

Αριθμός Εξαρτήματος	Ποσότητα Εξαρτήματος	Σύντομη Περιγραφή	Μέγεθος Εξαρτήματος (mm)
36	2	PIPE 21.30 X 2.3	165.00
37	2	PIPE 21.30 X 2.3	437.32
38	2	PIPE 21.30 X 2.3	190.39
39	1	PIPE 21.30 X 2.3	426.98
40	1	PIPE 21.30 X 2.3	523.61
41	2	PIPE 21.30 X 2.3	620.58
42	2	PIPE 21.30 X 2.3	295.45
43	2	PIPE 21.30 X 2.3	238.33
44	2	PIPE 21.30 X 2.3	613.65
45	1	PIPE 21.30 X 2.3	635.57
46	1	PIPE 21.30 X 2.3	341.60
47	1	PIPE 21.30 X 2.3	364.85
48	1	PIPE 21.30 X 2.3	625.92
49	3	PIPE 21.30 X 2.3	476.38
50	2	PIPE 21.30 X 2.3	543.52
51	2	PIPE 21.30 X 2.3	545.34
52	2	PIPE 21.30 X 2.3	765.81
53	2	PIPE 21.30 X 2.3	519.08
54	1	PIPE 21.30 X 2.3	566.94
55	1	PIPE 21.30 X 2.3	564.77
56	1	PIPE 21.30 X 2.3	252.79
57	1	PIPE 21.30 X 2.3	323.35
58	1	PIPE 21.30 X 2.3	396.55
59	1	PIPE 21.30 X 2.3	388.14
60	1	PIPE 21.30 X 2.3	244.84
61	2	PIPE 21.30 X 2.3	629.10
62	1	PIPE 21.30 X 2.3	610.81
63	1	PIPE 21.30 X 2.3	754.04
64	1	PIPE 21.30 X 2.3	317.19
65	1	PIPE 21.30 X 2.3	138.48
66	1	PIPE 21.30 X 2.3	256.45
67	1	PIPE 21.30 X 2.3	256.50
68	1	PIPE 21.30 X 2.3	297.96
69	1	PIPE 21.30 X 2.3	316.84
70	1	PIPE 21.30 X 2.3	387.80
71	1	PIPE 21.30 X 2.3	259.92
72	1	PIPE 21.30 X 2.3	425.58
73	2	PIPE 33.70 X 4.0	188.47
74	2	PIPE 33.70 X 4.0	266.56
75	2	PIPE 33.70 X 4.0	43.09
76	2	PIPE 33.70 X 4.0	120.00
77	1	PIPE 21.30 X 2.3	523.27
78	1	PIPE 21.30 X 2.3	655.06
79	1	PIPE 21.30 X 2.3	672.91
80	1	PIPE 21.30 X 2.3	700.78

Αριθμός Εξαρτήματος	Ποσότητα Εξαρτήματος	Σύντομη Περιγραφή	Μέγεθος Εξαρτήματος (mm)
81	1	PIPE 21.30 X 2.3	153.92
82	1	PIPE 21.30 X 2.3	364.08
83	1	PIPE 21.30 X 2.3	153.66
84	1	PIPE 21.30 X 2.3	701.58
85	1	PIPE 21.30 X 2.3	820.92
86	1	PIPE 21.30 X 2.3	132.66
87	1	PIPE 21.30 X 2.3	399.95
88	1	PIPE 21.30 X 2.3	132.66
89	1	PIPE 21.30 X 2.3	857.74
90	1	PIPE 21.30 X 2.3	402.78
91	1	PIPE 21.30 X 2.3	34.25
92	1	PIPE 21.30 X 2.3	261.87
93	1	PIPE 21.30 X 2.3	446.40
94	1	PIPE 21.30 X 2.3	294.70
95	1	PIPE 21.30 X 2.3	116.95
96	1	PIPE 21.30 X 2.3	116.88
97	1	PIPE 21.30 X 2.3	313.06
98	1	PIPE 21.30 X 2.3	967.90
99	1	PIPE 21.30 X 2.3	320.74
100	1	PIPE 21.30 X 2.3	165.16
101	1	PIPE 21.30 X 2.3	648.51
102	1	PIPE 21.30 X 2.3	303.28
103	1	PIPE 21.30 X 2.3	162.37
104	1	PIPE 21.30 X 2.3	366.11
105	2	PIPE 21.30 X 2.3	466.33
106	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	603.35
107	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	355.85
108	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	603.35
109	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	355.85
110	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	202.39
111	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	349.27
112	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	563.32
113	2	PIPE 21.30 X 2.3	521.46
114	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	563.32
115	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	349.27
116	2	PIPE 21.30 X 2.3	1230.00

Αριθμός Εξαρτήματος	Ποσότητα Εξαρτήματος	Σύντομη Περιγραφή	Μέγεθος Εξαρτήματος (mm)
117	1	PIPE 21.30 X 2.3	404.51
118	1	PIPE 21.30 X 2.3	527.70
119	1	PIPE 21.30 X 2.3	866.52
120	1	PIPE 21.30 X 2.3	892.79
121	1	PIPE 21.30 X 2.3	895.25
122	2	PIPE 21.30 X 2.3	457.12
123	1	PIPE 21.30 X 2.3	1122.87
124	1	PIPE 21.30 X 2.3	570.58
125	2	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	60.42
Σύνολο	159		

Σε συνδυασμό με τον κατάλογο εξαρτημάτων, διατίθεται και το σχήμα 3.5. Το τελευταίο παρέχει το σύνολο των εξαρτημάτων που απαρτίζουν το πλαίσιο. Κάθε εξάρτημα συμβολίζεται με έναν αριθμό, παρέχοντας κατά αυτόν τον τρόπο μια ολοκληρωμένη σύνδεση με τον κατάλογο, ώστε να καταστεί εύληπτη η κατανόηση των χαρακτηριστικών του και του τρόπου με τον οποίο θα συνδεθεί το τελικό μηχανολογικό σύστημα. Στη συγκεκριμένη έρευνα δεν απαιτείται η χρήση του σχεδιαγράμματος και ο ρόλος του είναι καθαρά ενδεικτικός για την κατανόηση ενός ολοκληρωμένου καταλόγου εξαρτημάτων, ενός αναλυτικού μηχανολογικού σχεδίου. Στο παράρτημα της έρευνας διατίθεται αναλυτικότερη απεικόνιση αυτού.



Σχήμα 3.5: Σχεδιάγραμμα του καταλόγου εξαρτημάτων του πλαισίου του αυτοκινήτου

Συμπερασματικά, στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε, με τη βοήθεια σχεδιαστικού προγράμματος του ηλεκτρονικού υπολογιστή, ο τρισδιάστατος σχεδιασμός του πλαισίου του αυτοκινήτου. Ακολούθως αναλύθηκε η επιλογή υλικών για την κατασκευή του υφιστάμενου μοντέλου και δημιουργήθηκε ο κατάλογος εξαρτημάτων, ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια. Στο επόμενο κεφάλαιο, θα διεξαχθούν η δυναμική και η στατική ανάλυση του σκελετού, προκειμένου να εντοπιστούν πιθανά αδύναμα σημεία αυτού και να κατανοηθεί σε βάθος ο σχεδιασμός του.

3.5 Σύνοψη

Στο πλαίσιο του παρόντος κεφαλαίου, εξετάστηκε ο μηχανολογικός σχεδιασμός του υφιστάμενου πλαισίου του αυτοκινήτου. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε έρευνα, προκειμένου να εντοπιστούν τα υλικά κατασκευής του πλαισίου. Καταλυτική σημασία είχε η εύρεση μηχανολογικού σχεδίου από το εγχειρίδιο χρήσης του αυτοκινήτου.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ο τρισδιάστατος σχεδιασμός του πλαισίου, χρησιμοποιώντας λογισμικό CAD (Computer-Aided Design), το Solidworks 2020. Το αποτέλεσμα αυτού του σχεδιασμού παρουσιάζεται με λεπτομέρεια, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη εικόνα του πλαισίου σε τρισδιάστατο, εικονικό χώρο.

Τέλος, παρέχεται ένα σχεδιάγραμμα που αναφέρεται στον κατάλογο εξαρτημάτων του πλαισίου του αυτοκινήτου, προσδίδοντας αναλυτικές πληροφορίες για τα διάφορα εξαρτήματα που απαρτίζουν το πλαίσιο. Το συγκεκριμένο κεφάλαιο παρέχει μια πλήρη εικόνα του μηχανολογικού σχεδιασμού του πλαισίου του αυτοκινήτου, από τα υλικά και το τρισδιάστατο σχέδιο μέχρι τη λεπτομερή αναφορά των εξαρτημάτων, η οποία είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη των μεθόδων σχεδιασμού που θα ακολουθήσει στα επόμενα κεφάλαια.

3.6 Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου

[28] Central Steel, «Alloy composition by weight (%)», Central Steel & Wire Company Catalog, Chicago, Illinois, 2008

[29] Fui, T. H., Rahman, R. A., «Statics and Dynamics Structural Analysis of a 4.5 Ton Car Chassis», Core, Universiti Teknologi Malaysia Institutional Repository, 2007

[30] Jason, C., Brown, A., John Robertson, Stan, T., «Serpento, Motor vehicle structures», Butterworth-Heinemann, Οξφόρδη, Ηνωμένο Βασίλειο, 2002

Κεφάλαιο 4

Δυναμική και στατική ανάλυση υφιστάμενου πλαισίου

Περιεχόμενα

4 Δυναμική και στατική ανάλυση υφιστάμενου πλαισίου	68
4.1 Εισαγωγή	68
4.1.2 Εμπρόσθια πρόσκρουση	69
Σχήμα 4.1: Πακτώσεις, αρθρώσεις και δυνάμεις που ασκούνται στο πλαίσιο του αυτοκινήτου κατά την εμπρόσθια πρόσκρουση	71
Σχήμα 4.2: Παραμόρφωση πλαισίου ως προς τον X άξονα μετά την εμπρόσθια πρόσκρουση	71
Σχήμα 4.3: Συνολική Αξονική Τάση και σημείο εφαρμογής της μέγιστης τιμής αυτής στο πλαίσιο του αυτοκινήτου μετά την εμπρόσθια πρόσκρουση	71
4.1.3 Οπίσθια πρόσκρουση	72
Σχήμα 4.5: Συνολική αξονική τάση του πλαισίου του αυτοκινήτου μετά την οπίσθια πρόσκρουση	74
Σχήμα 4.6: Παραμόρφωση πλαισίου ως προς τον X άξονα και μέγιστο και ελάχιστο σημείο αυτής μετά την οπίσθια πρόσκρουση	74
4.1.4 Πλευρική πρόσκρουση	74
Σχήμα 4.7: Πακτώσεις, αρθρώσεις και δυνάμεις που ασκούνται στο πλαίσιο του αυτοκινήτου κατά την πλευρική πρόσκρουση	76
Σχήμα 4.8: Παραμόρφωση πλαισίου ως προς τον Z άξονα και μέγιστο και ελάχιστο σημείο αυτής μετά την πλευρική πρόσκρουση	76
Σχήμα 4.9: Συνολική αξονική τάση του πλαισίου μετά την πλευρική πρόσκρουση	76
4.2 Στατική Ανάλυση	78
4.2.1 Ανάλυση στρέψης εμπρόσθιας ανάρτησης	78
Σχήμα 4.10: Πακτώσεις, αρθρώσεις και δυνάμεις που ασκούνται στο πλαίσιο του αυτοκινήτου κατά την ανάλυση στρέψης εμπρόσθιας ανάρτησης	79
Σχήμα 4.11: Τελική παραμόρφωση του πλαισίου κατά τη στρέψη εμπρόσθιας ανάρτησης	80
Σχήμα 4.12: Σημεία του πλαισίου που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον κατά τη στρέψη εμπρόσθιας ανάρτησης και επιλέγονται για πιθανή μελλοντική σύγκριση με το νέο πλαίσιο	80

Σχήμα 4.13: Μοίρες περιστροφής του πλαισίου του αυτοκινήτου, ως προς τον Χ άξονα, κατά τη στρέψη εμπρόσθιας ανάρτησης	80
4.2.2 Ανάλυση στρέψης οπίσθιας ανάρτησης	81
Σχήμα 4.14: Πακτώσεις, αρθρώσεις και δυνάμεις που ασκούνται στο πλαίσιο του αυτοκινήτου κατά την ανάλυση στρέψης οπίσθιας ανάρτησης.....	81
Σχήμα 4.15: Τελική παραμόρφωση του πλαισίου κατά τη στρέψη οπίσθιας ανάρτησης	81
Σχήμα 4.16: Σημεία του πλαισίου που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον κατά τη στρέψη οπίσθιας ανάρτησης και επιλέγονται για πιθανή μελλοντική σύγκριση με το νέο πλαίσιο	82
Σχήμα 4.17: Μοίρες περιστροφής του πλαισίου του αυτοκινήτου, ως προς τον Χ άξονα, κατά τη στρέψη οπίσθιας ανάρτησης.....	82
4.3 Συμπεράσματα δυναμικής και στατικής ανάλυσης	83
4.4 Σύνοψη	83
4.5 Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου.....	84

4 Δυναμική και στατική ανάλυση υφιστάμενου πλαισίου

4.1 Εισαγωγή

Στην αυτοκινητοβιομηχανία το σασί είναι ένα από τα πιο σημαντικά μέρη του αυτοκινήτου. Αποτελεί μια σκελετική βάση, η οποία συνδέει πολλά διαφορετικά μηχανικά μέρη, όπως το σύστημα ανάρτησης, το σύστημα πέδησης και οδήγησης, μετάδοσης ισχύος, κινητήρα, το αμάξωμα και τα ελαστικά [31]. Η βιομηχανία αυτή χαρακτηρίζεται από την εκτεταμένη χρήση της τεχνολογίας της τοπικής ανάλυσης, απαραίτητη διαδικασία προκειμένου να μελετηθεί η δυναμική συμπεριφορά του πλαισίου του αυτοκινήτου σε διάφορες περιπτώσεις. Καθώς το αυτοκίνητο ταξιδεύει κατά μήκος του δρόμου, το σασί του καταπονείται από πολυάριθμες δυναμικές καταπονήσεις, που προκαλούνται από τον δρόμο, την τραχύτητα, τον κινητήρα, το κιβώτιο ταχυτήτων και άλλα. Υπό τέτοιες δυναμικές διεγέρσεις το σασί του αυτοκινήτου τείνει να δονείται [29]. Όταν η φυσική συχνότητα της δόνησης μιας μηχανής ή μιας δομής συμπίπτει με αυτές των εξωτερικών διεγέρσεων, εμφανίζεται ένα φαινόμενο γνωστό ως συντονισμός, το οποίο οδηγεί σε υπερβολικές αποκλίσεις και αστοχίες. Η πρόβλεψη τέτοιου είδους συστημάτων, που προκλήθηκαν από συντονισμό και υπερβολική δόνηση των εξαρτημάτων και των συστημάτων τους, αποτελεί στόχο της παρούσας εργασίας. Τα διεθνή χαρακτηριστικά στην δόνησης ενός οχήματος σχετίζονται τόσο με την ακαμψία όσο και με την κατανομή της μάζας του. Η συνολική κάμψη και οι τρόποι στρέψης χρησιμοποιούνται συνήθως ως σημεία αναφοράς για τη δομική αξιολόγηση του οχήματος [30]. Σημαντικό είναι ο καθορισμός των σημείων στερέωσης των εξαρτημάτων, όπως ο κινητήρας, η ανάρτηση, το κιβώτιο ταχυτήτων και άλλα, με το πλαίσιο. Επομένως, κρίνεται απαραίτητο να συμπεριληφθεί η δυναμική ανάλυση στον σχεδιασμό του νέου πλαισίου.

Η δυναμική ανάλυση είναι μία μέθοδος που χρησιμοποιείται στη μηχανική, στη φυσική και σε άλλους επιστημονικούς κλάδους για τη μελέτη της συμπεριφοράς των αντικειμένων ή των συστημάτων με την πάροδο του χρόνου υπό την επίδραση διαφόρων δυνάμεων. Στην ουσία, αναλύει την κίνηση, τις δυνάμεις και την επίδραση που ασκείται σε αντικείμενα ή συστήματα, λαμβάνοντας υπόψη την εξέλιξή τους στο πέρασμα του χρόνου. Βασίζεται στην εφαρμογή των νόμων της κίνησης και των νόμων της δυναμικής για να μοντελοποιήσει και να προβλέψει την κίνηση των αντικειμένων. Χρησιμοποιεί διάφορες μαθηματικές εξισώσεις, όπως η εξίσωση της κίνησης του Newton και οι διαφορικές εξισώσεις, στοχεύοντας στην ανάλυση και την περιγραφή της συμπεριφοράς του συστήματος.

Αναπόσπαστο κομμάτι της δυναμικής ανάλυσης αποτελεί η στατική ανάλυση. Η μέθοδος χρησιμοποιείται στη μηχανική για τη μελέτη και την αξιολόγηση της στατικής ισορροπίας ενός αντικειμένου ή ενός συστήματος υπό την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων. Στη στατική ανάλυση, θεωρείται πως το αντικείμενο ή το σύστημα παραμένει σταθερό και σε ισορροπία, δηλαδή δεν υπάρχει κίνηση ή επιτάχυνση. Είναι ιδιαίτερα σημαντική μέθοδος για τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση της αντοχής κατασκευών και δομικών στοιχείων. Επιπλέον, δίνει τη δυνατότητα εξέτασης των δυνάμεων και των τάσεων, που προκαλούνται από τα φορτία αντίδρασης στα διάφορα σημεία μιας κατασκευής ή ενός συστήματος. Παράλληλα, βοηθά στην κατανόηση της συμπεριφοράς των κατασκευών, ώστε να εκτιμηθεί η αντοχή τους σε φορτία. Αυτή η πρακτική επιτρέπει την επιλογή κατάλληλων υλικών, διαστάσεων, δομικών και σχεδιαστικών λύσεων, που θα διασφαλίσουν ότι το μηχανολογικό σύστημα είναι σε θέση να αντέξει τις αναμενόμενες φορτίσεις και να διατηρήσει την απαιτούμενη σταθερότητα.

4.1.2 Εμπρόσθια πρόσκρουση

Η εμπρόσθια πρόσκρουση είναι μια κατάσταση όπου δύο αντικείμενα συγκρούονται μετωπικά. Συγκεκριμένα, οι εμπρόσθιές τους επιφάνειες έρχονται σε επαφή μεταξύ τους κατά μήκος μιας ευθείας γραμμής. Αυτό μπορεί να συμβεί, για παράδειγμα, όταν ένα όχημα συγκρούεται με ένα άλλο ή με ένα στατικό αντικείμενο. Οι δυνάμεις που ασκούνται στα αντικείμενα λαμβάνονται κάθετες προς την επιφάνεια επαφής και προκαλούν αλλαγές στην ταχύτητα και την κίνηση των αντικειμένων, με την ενέργεια της κίνησης να μεταφέρεται από το ένα αντικείμενο στο άλλο. Για την ανάλυση της εμπρόσθιας πρόσκρουσης, εφαρμόζονται οι αρχές και νόμοι της φυσικής, όπως ο νόμος διατήρησης της ορμής και οι νόμοι της κινηματικής,

Στη συγκεκριμένη δοκιμή πρόσκρουσης στο εμπρόσθιο μέρος, θεωρείται πως το όχημα πρέπει να συγκρουστεί με ακίνητο σώμα. Προκειμένου να προσομοιωθεί αυτό στο Solid Works 2020, ασκείται δύναμη στο εμπρόσθιο τμήμα του πλαισίου και, παράλληλα, τα σημεία του οχήματος σύνδεσης της ανάρτησης διατηρούνται σταθερά προς όλες τις κατευθύνσεις.

Τα δεδομένα για τη συγκεκριμένη περίπτωση πρόσκρουσης λαμβάνονται:

- Μάζα του πλαισίου του αυτοκινήτου (M) = 1420kg
- Αρχική ταχύτητα του πλαισίου του αυτοκινήτου πριν την κρούση ($V1$) = 28 m/s
- Τελική ταχύτητα του πλαισίου του αυτοκινήτου μετά την κρούση ($V2$) = 0 m/s

Σύμφωνα με τα βιομηχανικά πρότυπα, ο χρόνος κρούσης λαμβάνεται ίσος με 0.13 seconds.

Από την Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας ισχύει ότι:

Παραγόμενο Έργο = Μεταβολή της Κινητικής Ενέργειας

$$W = (0.5 \times M \times V2^2 - 0.5 \times M \times V1^2) \quad (4.1) \quad \text{ή}$$

$$|W| = | - 0.5 \times M \times V1^2 | \quad \text{ή} \quad |W| = | - 0.5 \times 1420 \times 784 | \quad \text{ή} \quad |W| = 556,640J$$

Επίσης ισχύει:

$$\text{Έργο } (W) = \text{Δύναμη } (F) \times \text{Μετατόπιση } (s) \quad (4.2)$$

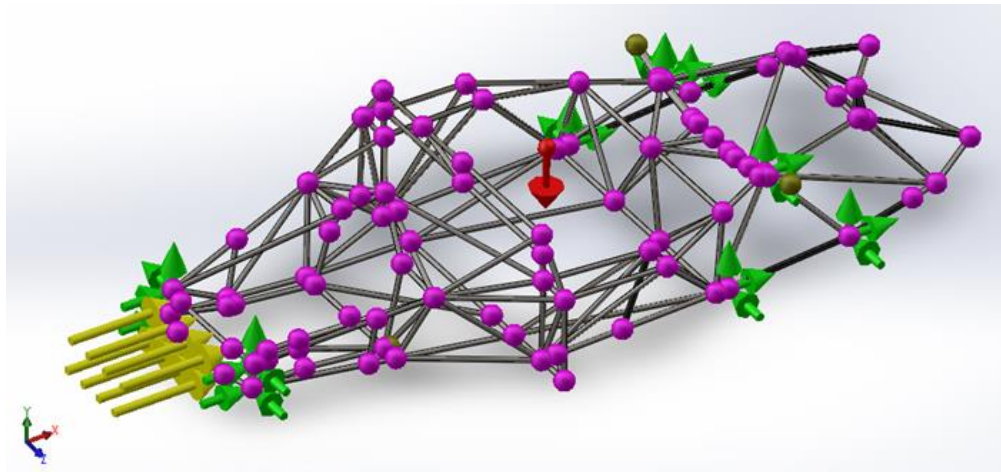
$$\text{Μετατόπιση } (s) = \text{Χρόνος κρούσης} \times V_{max} (V1) \quad (4.3)$$

$$\text{Μετατόπιση } (s) = 0.13 \times 28 = 3.64 \text{ m} \quad (4.4)$$

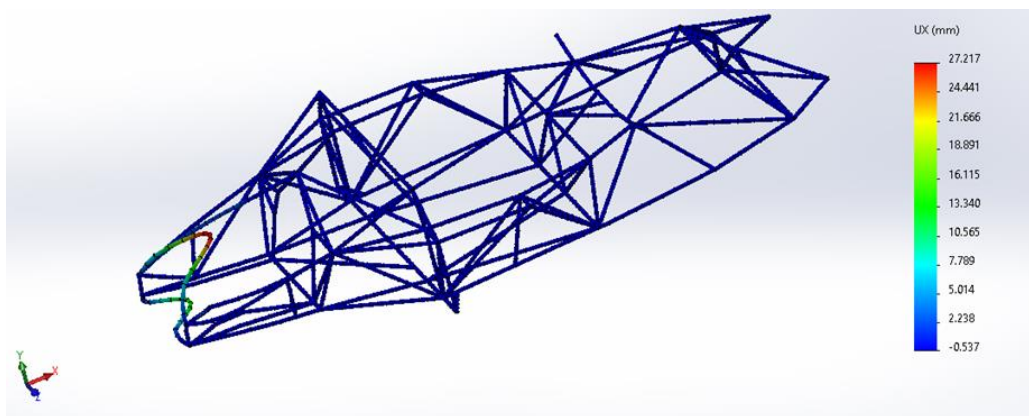
Άρα, από την (4.2) :

$$F = \frac{W}{s} \quad \text{ή} \quad F = \frac{556,64}{3,64} \quad \text{ή} \quad F = 177,273,88 \text{ N} \quad (4.5)$$

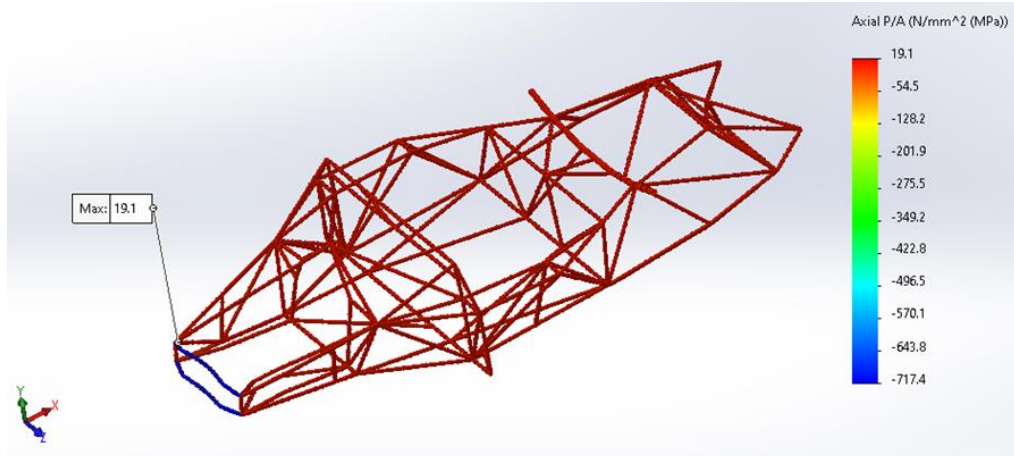
Τα παραπάνω στοιχεία εισάγονται στο λογισμικό προσομοίωσης. Πακτώνονται τα σημεία της ανάρτησης και ασκούνται οι δυνάμεις που υπολογίστηκαν (εξίσωση 4.5). Τα αποτελέσματα είναι ορατά και διαθέσιμα προς μετέπειτα ανάλυση από τα σχήματα 4.1, 4.2 και 4.3. Η ανάλυση εστιάζει στην συνολική αξονική τάση και το σημείο εφαρμογής της μέγιστης τιμής αυτής στο πλαίσιο του αυτοκινήτου μετά την εμπρόσθια πρόσκρουση. Παρατηρείται η αντίδραση του πλαισίου του αυτοκινήτου κατά την εμπρόσθια πρόσκρουση. Στην πράξη, τα αποτελέσματα βοηθούν τον μηχανικό και τον σχεδιαστή του αυτοκινήτου σε θέματα σταθερότητας, ανθεκτικότητας και ασφάλειας. Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή της παραμόρφωσης καθώς και το σημείο όπου εμφανίζονται κατά την εμπρόσθια πρόσκρουση, με $UZ_{min} = -0,53mm$ και $UZ_{max} = 27,21mm$. Οι τιμές της συνολικής αξονικής τάσης του πλαισίου μετά την πλευρική πρόσκρουση κυμαίνονται από $Axial P/A_{max} = 19.10(N/mm^2(MPa))$ έως $Axial P/A_{min} = -717,41(N/mm^2(MPa))$.



Σχήμα 4.1: Πακτώσεις, αρθρώσεις και δυνάμεις που ασκούνται στο πλαίσιο του αυτοκινήτου κατά την εμπρόσθια πρόσκρουση



Σχήμα 4.2: Παραμόρφωση πλαισίου ως προς τον X άξονα μετά την εμπρόσθια πρόσκρουση



Σχήμα 4.3: Συνολική Αξονική Τάση και σημείο εφαρμογής της μέγιστης τιμής αυτής στο πλαίσιο του αυτοκινήτου μετά την εμπρόσθια πρόσκρουση

4.1.3 Οπίσθια πρόσκρουση

Η οπίσθια πρόσκρουση είναι μια περίπτωση κρούσης, όπου δύο αντικείμενα συγκρούονται από την οπίσθια πλευρά τους, δηλαδή οι πίσω επιφάνειές τους έρχονται σε επαφή μεταξύ τους κατά μήκος μιας ευθείας γραμμής. Αυτό μπορεί να συμβεί, για παράδειγμα, όταν ένα όχημα πέφτει πάνω σε ένα άλλο από την πίσω πλευρά. Κατά την εν λόγω πρόσκρουση, οι δυνάμεις που ασκούνται στα αντικείμενα είναι απέναντι στην κατεύθυνση της κίνησής τους, όταν και τα δύο κινούνται. Οι δυνάμεις αυτές προκαλούν αλλαγές στην ταχύτητα και την κίνηση των αντικειμένων, με την ενέργεια της κίνησης να μεταφέρεται από το ένα αντικείμενο στο άλλο. Κατά την πρόσκρουση, εκτός από τις δυνάμεις επαφής, μπορεί να ασκηθούν και άλλες δυνάμεις, όπως αυτές της τριβής ή της αντίστασης του αέρα.

Στη δοκιμή οπίσθιας πρόσκρουσης, το όχημα θεωρείται πως είναι ακίνητο και κάποιο άλλο όχημα το χτυπά στο πίσω μέρος του. Η δύναμη εφαρμόζεται στα πίσω άκρα του οχήματος και ταυτόχρονα τα σημεία σύνδεσης της ανάρτησης του οχήματος διατηρούνται σταθερά προς όλες τις κατευθύνσεις.

Τα δεδομένα για τη συγκεκριμένη περίπτωση πρόσκρουσης είναι:

- Μάζα του πλαισίου του αυτοκινήτου (M) = 1420kg
- Αρχική ταχύτητα του πλαισίου του αυτοκινήτου πριν την κρούση ($V1$) = 28 m/s
- Τελική ταχύτητα του πλαισίου του αυτοκινήτου μετά την κρούση ($V2$) = 0 m/s

Σύμφωνα με τα βιομηχανικά πρότυπα, ο χρόνος κρούσης θα ισούται με 0.13 seconds .

Από την Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας ισχύει ότι:

Παραγόμενο Έργο = Μεταβολή της Κινητικής Ενέργειας

$$W = (0.5 \times M \times V2^2 - 0.5 \times M \times V1^2) \quad (4.6) \quad \text{ή}$$

$$|W| = | - 0.5 \times M \times V1^2 | \quad \text{ή} \quad |W| = | - 0.5 \times 1420 \times 784 | \quad \text{ή} \quad |W| = 556,640\text{J}$$

Επίσης ισχύει:

$$\text{Έργο } (W) = \text{Δύναμη } (F) \times \text{Μετατόπιση } (s) \quad (4.7)$$

$$\text{Μετατόπιση } (s) = \text{Χρόνος κρούσης} \times V_{\text{max}} (V1)$$

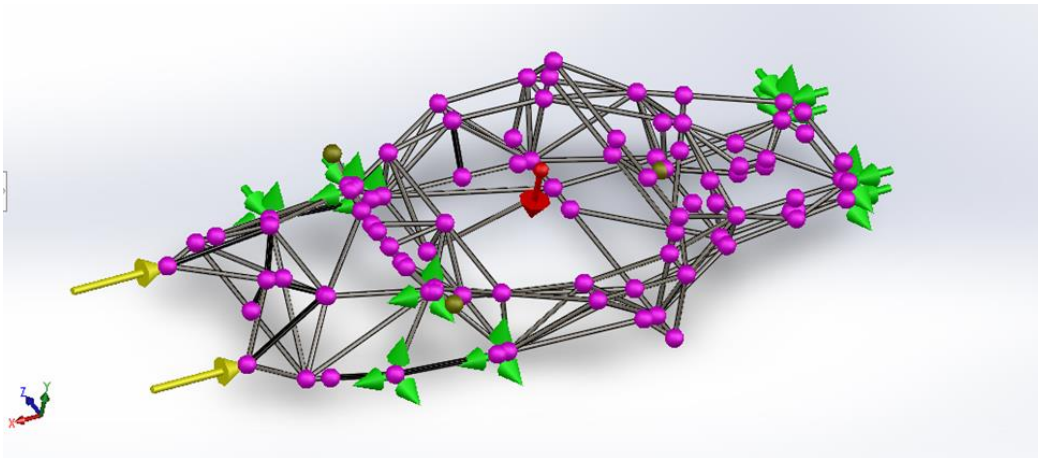
$$\text{Μετατόπιση } (s) = 0.13 \times 28 = 3.64\text{ m} \quad (4.8)$$

Άρα, από την (4.6) :

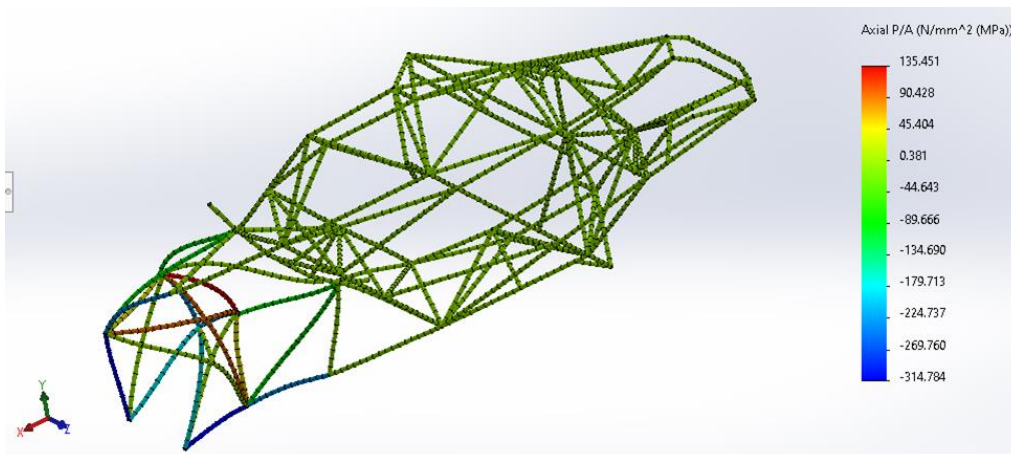
$$F = \frac{W}{s} \quad \text{ή} \quad F = \frac{556,64}{3,64} \quad \text{ή} \quad F = 177,273,88\text{ N} \quad (4.9)$$

Στη συνέχεια, τα παραπάνω στοιχεία εισάγονται στο λογισμικό προσομοίωσης. Πακτώνονται τα σημεία της ανάρτησης και ασκούνται οι δυνάμεις που υπολογίστηκαν (εξίσωση 4.9). Τα αποτελέσματα είναι ορατά και διαθέσιμα

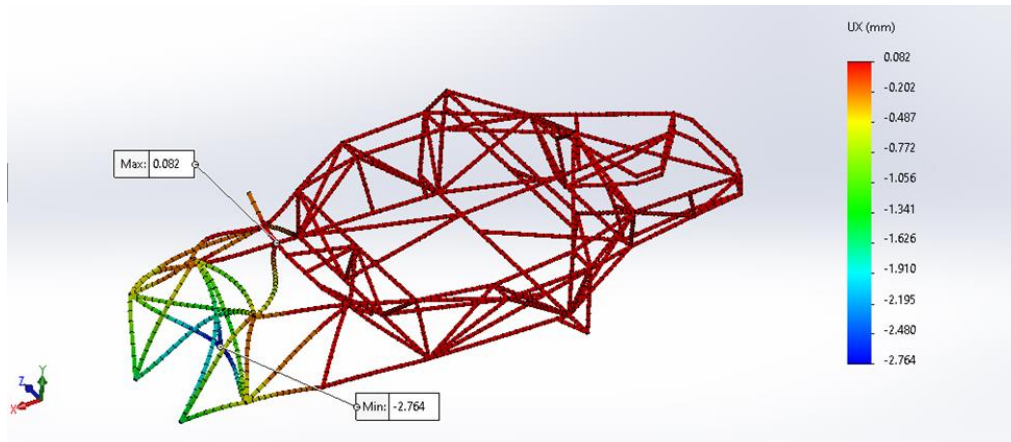
προς μελλοντική ανάλυση στα σχήματα 4.4, 4.5 και 4.6. Η παραμόρφωση του πλαισίου ως προς τον X άξονα μετά την οπίσθια πρόσκρουση αφορά τη μέτρηση της απόκλισης ή της παραμόρφωσης του ως αποτέλεσμα της πίεσης που ασκείται σε αυτό κατά την οπίσθια πρόσκρουση. Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή της παραμόρφωσης καθώς και το σημείο όπου εμφανίζονται, με $UX_{min} = -2,76$ και $UX_{max} = 0,082mm$. Οι τιμές της συνολικής αξονικής τάσης του πλαισίου μετά την οπίσθια πρόσκρουση κυμαίνονται από $Axial P/A_{max} = 135,45(N/mm^2(MPa))$ έως $Axial P/A_{min} = -314,78(N/mm^2(MPa))$



Σχήμα 4.4: Πακτώσεις, αρθρώσεις και δυνάμεις που ασκούνται στο πλαίσιο του αυτοκινήτου κατά την οπίσθια πρόσκρουση



Σχήμα 4.5: Συνολική αξονική τάση του πλαισίου του αυτοκινήτου μετά την οπίσθια πρόσκρουση



Σχήμα 4.6: Παραμόρφωση πλαισίου ως προς τον X άξονα και μέγιστο και ελάχιστο σημείο αυτής μετά την οπίσθια πρόσκρουση

4.1.4 Πλευρική πρόσκρουση

Σε αυτή την περίπτωση κρούσης το πλαίσιο συγκρούεται πλαγίως είτε με κάποιο άλλο αντικείμενο, συνήθως κάποιο άλλο όχημα, είτε προσκρούει με την πλευρική του επιφάνεια σε κάποιο στερεό, όπως ένας τοίχος. Οι δυνάμεις που ασκούνται, προκαλούν αλλαγές στην ταχύτητα και την κίνηση των αντικειμένων, με την ενέργεια της κίνησης να μεταφέρεται από το ένα αντικείμενο στο άλλο. Κατά την πρόσκρουση, εκτός από τις δυνάμεις επαφής, μπορεί να ασκηθούν και άλλες δυνάμεις, όπως οι δυνάμεις τριβής, οι οποίες στη παρούσα ανάλυση δε λαμβάνονται υπόψη, όπως και στις παραπάνω περιπτώσεις.

Η δοκιμή πραγματοποιείται με την εφαρμογή δύναμης στα πλευρικά εξαρτήματα που απαρτίζουν το πλαίσιο και, ταυτόχρονα, τα σημεία σύνδεσης της ανάρτησης διατηρούνται σταθερά προς όλες τις κατευθύνσεις.

Τα δεδομένα για τη συγκεκριμένη περίπτωση πρόσκρουσης είναι:

- Μάζα του πλαισίου του αυτοκινήτου (M) = 1420kg
- Αρχική ταχύτητα του πλαισίου του αυτοκινήτου πριν την κρούση ($V1$) = 28 m/s
- Τελική ταχύτητα του πλαισίου του αυτοκινήτου μετά την κρούση ($V2$) = 0 m/s

Σύμφωνα με τα βιομηχανικά πρότυπα, ο χρόνος πλευρικής κρούσης διαφέρει με αυτόν των δύο παραπάνω περιπτώσεων και ισούται με 0.3 seconds .

Από την Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας ισχύει ότι:

Παραγόμενο Έργο = Μεταβολή της Κινητικής Ενέργειας

$$W = (0.5 \times M \times V2^2 - 0.5 \times M \times V1^2) \text{ ή } |W| = | - 0.5 \times M \times V1^2 | \text{ ή } |W| \\ = | - 0.5 \times 1420 \times 784 | \text{ ή } |W| = 556.64 J \quad (4.10)$$

Ισχύει επίσης:

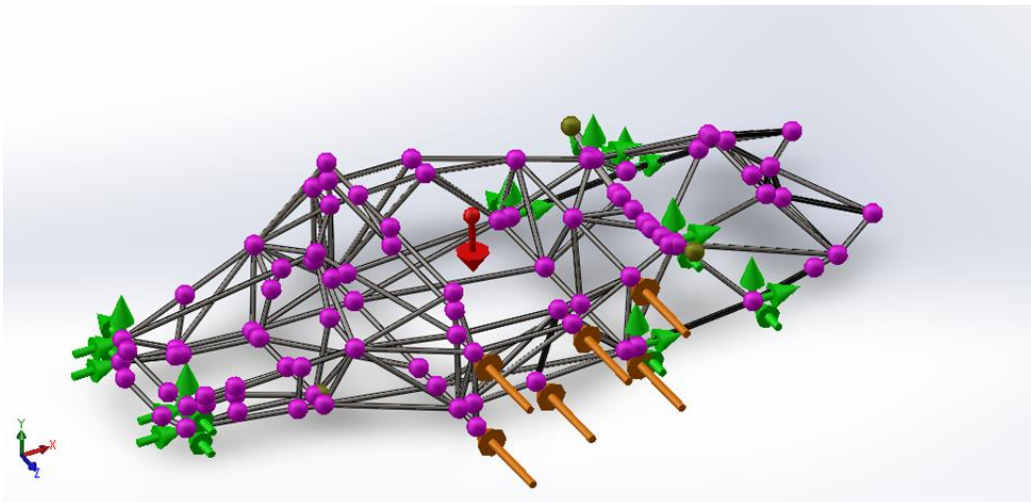
$$\text{Έργο } (W) = \text{Δύναμη } (F) \times \text{Μετατόπιση } (s) \quad (4.11)$$

$$\text{Μετατόπιση } (s) = \text{Χρόνος κρούσης} \times V_{max} (V1)$$

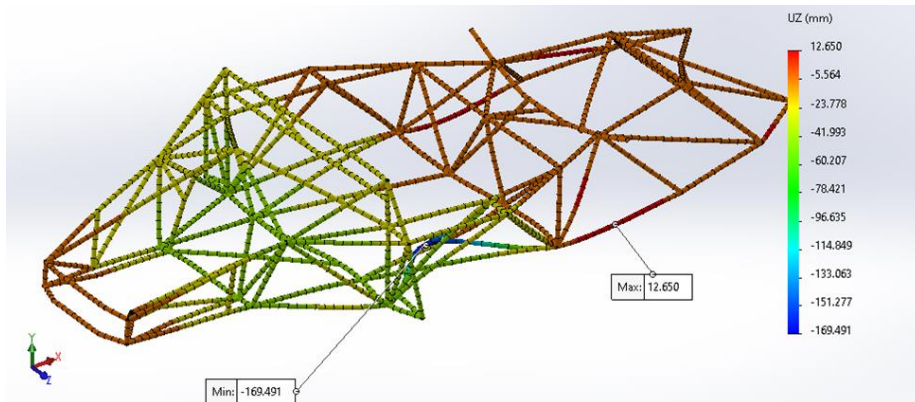
$$\text{Μετατόπιση } (s) = 0.3 \times 28 = 8.4 \text{ m}$$

$$\text{Άρα, από την (4.11) θα έχουμε } F = \frac{W}{s} \text{ ή } F = \frac{556.640}{8.4} \text{ ή } F = 66,266.66 \text{ N} \quad (4.12)$$

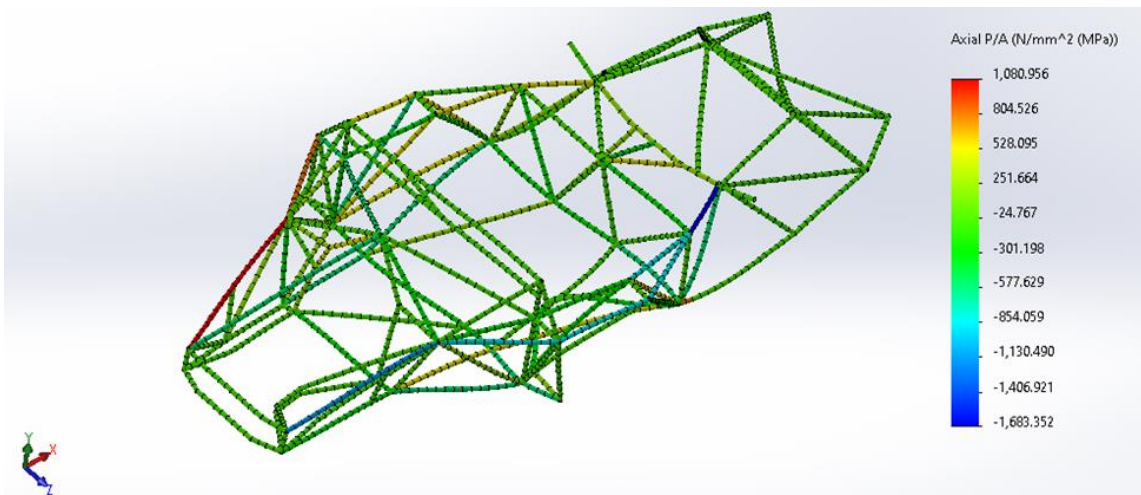
Στη συνέχεια, τα παραπάνω στοιχεία εισάγονται στο λογισμικό προσομοίωσης. Πακτώνονται τα σημεία της ανάρτησης και ασκούνται οι δυνάμεις που υπολογίστηκαν προηγουμένως (εξίσωση 1). Τα αποτελέσματα είναι ορατά και διαθέσιμα προς μελλοντική ανάλυση από τα σχήματα 4.7, 4.8 και 4.9. Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή της παραμόρφωσης καθώς και το σημείο όπου εμφανίζονται κατά την πλευρική πρόσκρουση, με $UZ_{min} = -169,49mm$ και $UZ_{max} = 12,65mm$. Οι τιμές της συνολικής αξονικής τάσης του πλαισίου μετά την πλευρική πρόσκρουση κυμαίνονται από $Axial P/A_{max} = 1080,95(N/mm^2(MPa))$ έως $Axial P/A_{min} = -1683,35(N/mm^2(MPa))$.



Σχήμα 4.7: Πακτώσεις, αρθρώσεις και δυνάμεις που ασκούνται στο πλαίσιο του αυτοκινήτου κατά την πλευρική πρόσκρουση



Σχήμα 4.8: Παραμόρφωση πλαισίου ως προς τον Z άξονα και μέγιστο και ελάχιστο σημείο αυτής μετά την πλευρική πρόσκρουση



Σχήμα 4.9: Συνολική αξονική τάση του πλαισίου μετά την πλευρική πρόσκρουση

Συμπερασματικά τα δεδομένα των αναλύσεων είναι:

- Εμπρόσθια Πρόσκρουση:

$$UZ_{max} = 27.21 \text{ mm} \quad (4.13)$$

$$UX_{max} = 0.082 \text{ mm} \quad (4.14)$$

$$Axial P/A_{max} = 19.10 \text{ MPa} \quad (4.15)$$

- Οπίσθια Πρόσκρουση:

$$UZ_{max} = 12.65 \text{ mm} \quad (4.16)$$

$$UX_{max} = 0.082 \text{ mm} \quad (4.17)$$

$$Axial P/A_{max} = 135.45 MPa \quad (4.18)$$

- Πλευρική Πρόσκρουση:

$$UZ_{max} = 12.65 mm \quad (4.19)$$

$$UX_{max} = 0.082 mm \quad (4.20)$$

$$Axial P/A_{max} = 1080.95 MPa \quad (4.21)$$

Συγκρίνοντας τις τιμές, προκύπτει ότι η περίπτωση πλευρικής πρόσκρουσης έχει τη μεγαλύτερη τιμή Axial P/A_{max} (1080.95 MPa). Αυτό σημαίνει ότι κατά την πλευρική πρόσκρουση, το πλαίσιο υφίσταται τη μεγαλύτερη αξονική τάση σε σχέση με τις άλλες περιπτώσεις πρόσκρουσης.

Τρεις είναι οι πιθανοί λόγοι κατά τους οποίους η πλευρική πρόσκρουση είναι η δυσμενέστερη περίπτωση :

- I. Γωνιακή Στρέψη: Κατά την πλευρική πρόσκρουση, το αυτοκίνητο τείνει να περιστραφεί γύρω από τον κάθετο άξονά του. Αυτή η γωνιακή στρέψη μπορεί να επηρεάσει την αξονική τάση στο πλαίσιο, καθιστώντας την πλευρική πρόσκρουση δυσμενέστερη.
- II. Κατανομή Φορτίων: Η πλευρική πρόσκρουση μπορεί να οδηγήσει σε ασύμμετρη κατανομή των φορτίων στο πλαίσιο, καθώς τα φορτία μεταδίδονται με διαφορετικό τρόπο στα διάφορα τμήματα του πλαισίου. Γεγονός που επηρεάζει τις τάσεις.
- III. Δομή του Αυτοκινήτου: Ο τρόπος με τον οποίο είναι σχεδιασμένο το αυτοκίνητο και οι ιδιότητες του πλαισίου μπορεί να καθιστούν την πλευρική πρόσκρουση περισσότερο δυσμενή, ανάλογα με την γεωμετρία και την αντοχή των υλικών κατασκευής.

Η γωνιακή στρέψη αναφέρεται στην τάση ενός αντικειμένου να περιστραφεί γύρω από τον άξονά του κατά τη διάρκεια μιας επίδρασης δύναμης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση που περιγράφετε, κατά την πλευρική πρόσκρουση ενός αυτοκινήτου, το όχημα τείνει να περιστραφεί γύρω από τον κάθετο άξονά του. Η γωνιακή στρέψη είναι σημαντική, διότι μπορεί να προκαλέσει περιστροφικές δυνάμεις στο πλαίσιο του αυτοκινήτου. Αυτές οι δυνάμεις μπορούν να επηρεάσουν την αξονική τάση στη δομή, δηλαδή τις δυνάμεις που δρουν κατά μήκος του κύριου άξονα του οχήματος. Η γωνιακή στρέψη συνδέεται με τη δυναμική του οχήματος κατά τη διάρκεια ενός ατυχήματος, και μπορεί να έχει επίδραση στη συμπεριφορά του πλαισίου και των δομικών στοιχείων του.

Συνεπώς, η πλευρική πρόσκρουση αποδεικνύεται ότι είναι η δυσμενέστερη περίπτωση, καθώς οι μετρήσεις δείχνουν υψηλές τιμές παραμόρφωσης και τάσης στα πλάγια του οχήματος, για το λόγο αυτό θα πρέπει να ληφθούν μέτρα για την ενίσχυση της αντοχής του πλαισίου στο σημείο αυτό. Είναι σημαντικό να σχεδιαστούν οι κατάλληλες ενισχύσεις ή τροποποιήσεις προκειμένου να αυξηθεί η ασφάλεια και η αντοχή του αυτοκινήτου κατά την πλευρική πρόσκρουση.

4.2 Στατική Ανάλυση

Η στατική ανάλυση στο σασί του αυτοκινήτου αφορά στη μελέτη των δυνάμεων και των τάσεων που δρουν σε αυτό, όταν το αυτοκίνητο είναι σε στατική κατάσταση, με άλλα λόγια όταν δεν υπάρχει κίνηση ή επιτάχυνση. Κατά την ανάλυση, λαμβάνονται υπόψη τα εξωτερικά φορτία που ασκούνται στο αυτοκίνητο, όπως το βάρος του οχήματος και οι δυνάμεις που προκύπτουν από την αντίσταση του αέρα και τις ανωμαλίες του οδοστρώματος. Η ανάλυση περιλαμβάνει τη χρήση μαθηματικών μοντέλων και μεθόδων, όπως η μέθοδος των κόμβων και η μέθοδος των στοιχείων, προκειμένου να υπολογίσει τις αντιδράσεις στους τροχούς, τις δυνάμεις στις αναρτήσεις, τις τάσεις στα εξαρτήματα του πλαισίου και άλλες πληροφορίες για τη μηχανική απόδοση του αυτοκινήτου. Είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της δομικής ακεραιότητας και της αντοχής του πλαισίου. Συγκεκριμένα, η στατική ανάλυση μπορεί να παράσχει πληροφορίες για τα εξής:

- Αντιδράσεις τροχών: Υπολογίζονται οι αντιδράσεις στους τροχούς του αυτοκινήτου, οι οποίες προκαλούνται από το βάρος του οχήματος και τις δυνάμεις που ασκούνται κατά τη διάρκεια της οδήγησης από το οδόστρωμα. Αυτές οι πληροφορίες είναι σημαντικές για τη σωστή επιλογή της ανάρτησης και των ελαστικών του αυτοκινήτου.
- Τάσεις στο σασί: Υπολογίζονται οι τάσεις που ασκούνται στα μέρη του σκελετού του αυτοκινήτου, όπως οι μπάρες και οι δοκοί. Η συγκεκριμένη διαδικασία βοηθά στον έλεγχο της αντοχής και της ακεραιότητάς του κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας και των προκλήσεων που μπορεί να αντιμετωπίσει λόγω εξωτερικών δυνάμεων.

Δύο είναι οι κυριότερες περιπτώσεις στατικής ανάλυσης για ένα όχημα τέτοιου τύπου. Η ανάλυση στρέψης εμπρόσθιας ανάρτησης και η ανάλυση στρέψης οπίσθιας ανάρτησης, οι οποίες θα μελετηθούν στη συνέχεια.

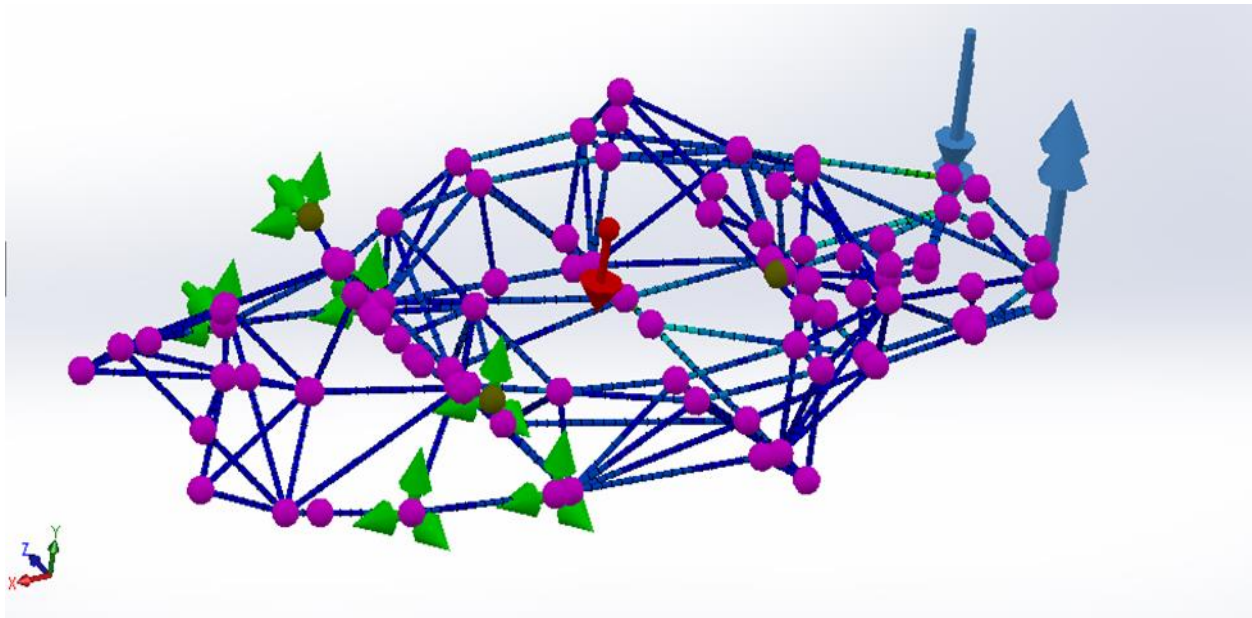
4.2.1 Ανάλυση στρέψης εμπρόσθιας ανάρτησης

Η δοκιμή στρέψης πραγματοποιείται με περιορισμό των σημείων σύνδεσης της οπίσθιας ανάρτησης ενώ, παράλληλα, ασκείται δύναμη ίση με $6000N$, σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα αυτοκινητοβιομηχανίας, στα εμπρόσθια αριστερά και δεξιά σημεία σύνδεσης της ανάρτησης με αντίθετη τη φορά της δύναμης σε κάθε πλευρά. Στη συνέχεια, τοποθετείται η δύναμη της βαρύτητας με $g = 9.81m/sec^2$. Το γεγονός ότι το κέντρο βάρους βρίσκεται σχεδόν ακριβώς στη μέση του οχήματος διευκολύνει τις αναλύσεις.

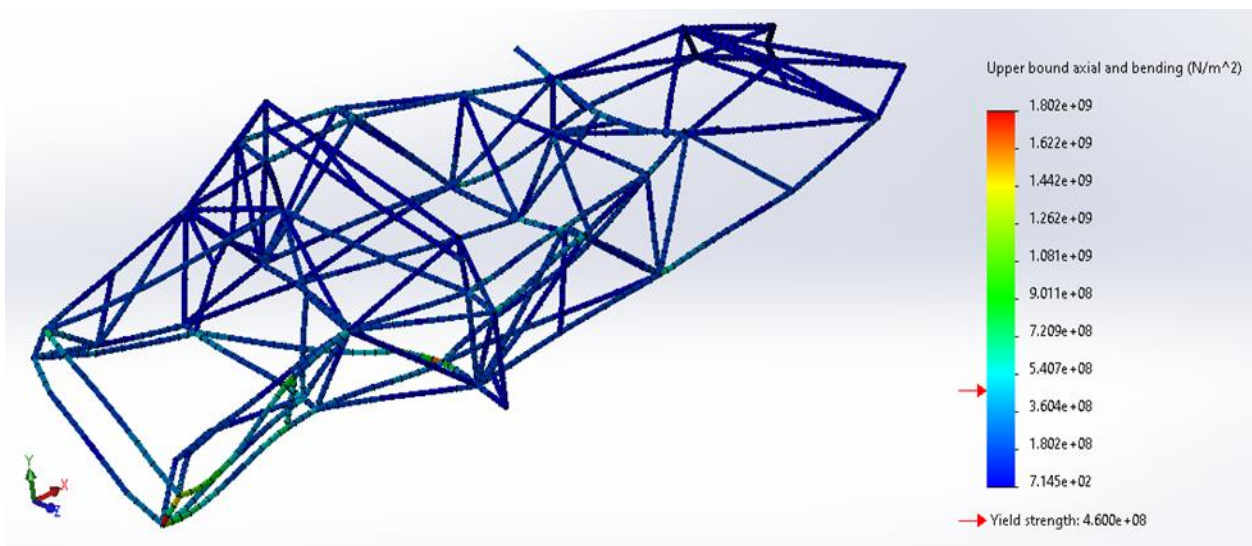
Στη συνέχεια, τα παραπάνω δεδομένα εισάγονται στο λογισμικό προσομοίωσης και το αποτέλεσμα είναι ορατά στα σχήματα 4.10, 4.11, 4.12 και 4.13.

Η προσομοίωση βασίζεται σε μοντέλα αντοχής υλικών και δομικής ανάλυσης, όπου λαμβάνονται υπόψη οι επιδράσεις των εφαρμοζόμενων δυνάμεων στο πλαίσιο. Το λογισμικό προσομοίωσης εκτελεί υπολογισμούς βασισμένους στη

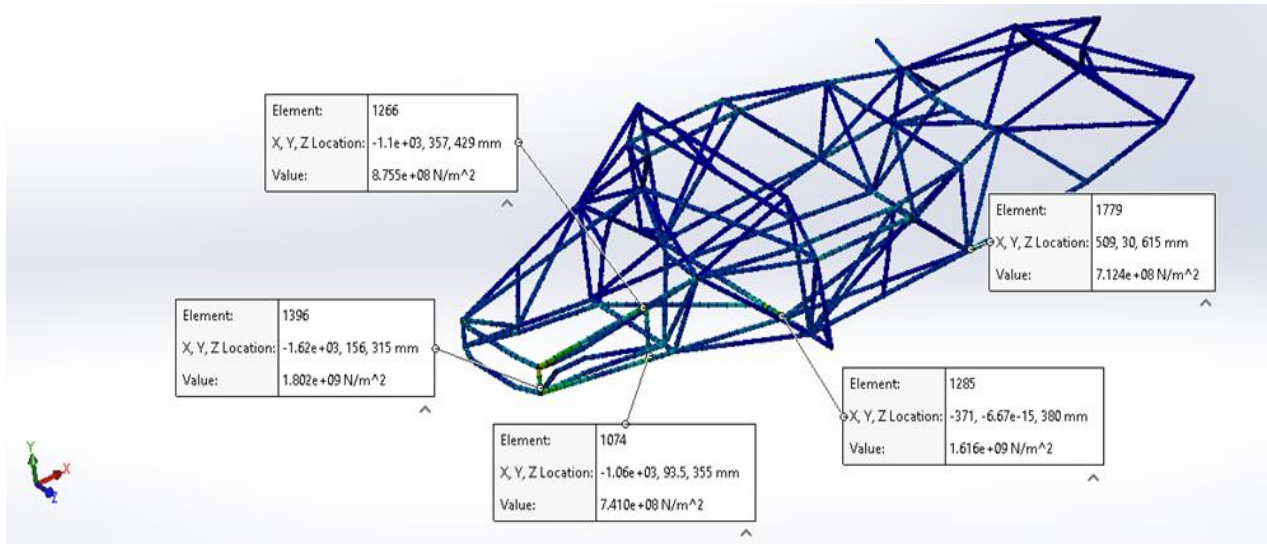
μηχανική ανάλυση και τις αρχές της επιστήμης των υλικών για να προσδιορίσει τις παραμορφώσεις και τις τάσεις που επικρατούν. Τα σχήματα δείχνουν το πώς το πλαίσιο αντιδρά και αντέχει στη στρέψη, προσφέροντας πληροφορίες για το αν είναι ανθεκτικό σε αυτήν τη δοκιμή και αν χρειάζεται τροποποιήσεις για να αυξηθεί η ασφάλεια και η απόδοση του αυτοκινήτου.



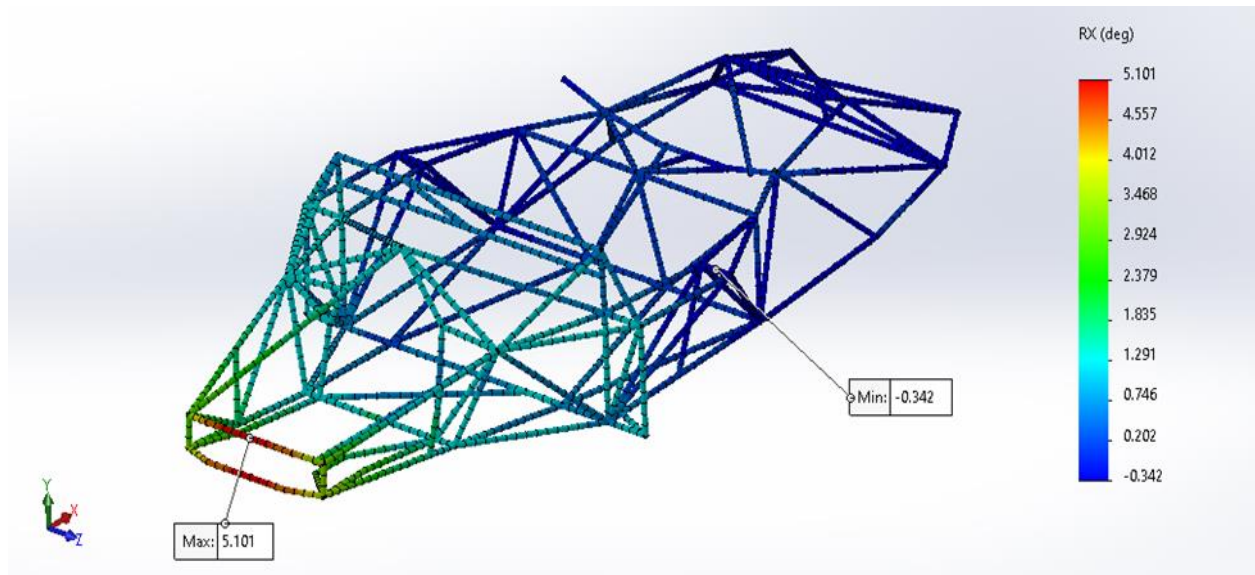
Σχήμα 4.10: Πακτώσεις, αρθρώσεις και δυνάμεις που ασκούνται στο πλαίσιο του αυτοκινήτου κατά την ανάλυση στρέψης εμπρόσθιας ανάρτησης



Σχήμα 4.11: Τελική παραμόρφωση του πλαισίου κατά τη στρέψη εμπρόσθιας ανάρτησης



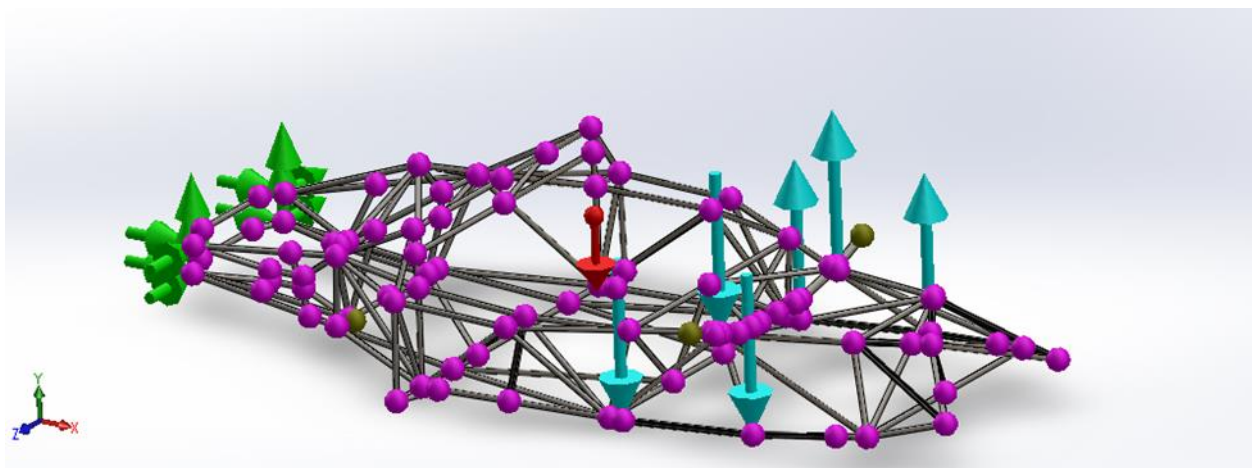
Σχήμα 4.12: Σημεία του πλαισίου που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον κατά τη στρέψη εμπρόσθιας ανάρτησης και επιλέγονται για πιθανή μελλοντική σύγκριση με το νέο πλαίσιο



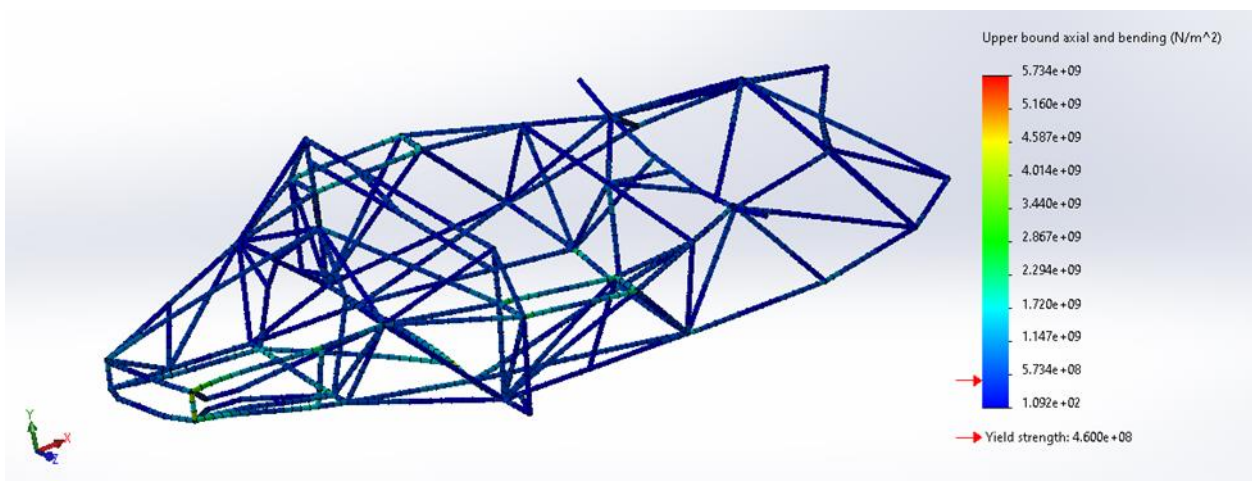
Σχήμα 4.13: Μοίρες περιστροφής του πλαισίου του αυτοκινήτου, ως προς τον X άξονα, κατά τη στρέψη εμπρόσθιας ανάρτησης

4.2.2 Ανάλυση στρέψης οπίσθιας ανάρτησης

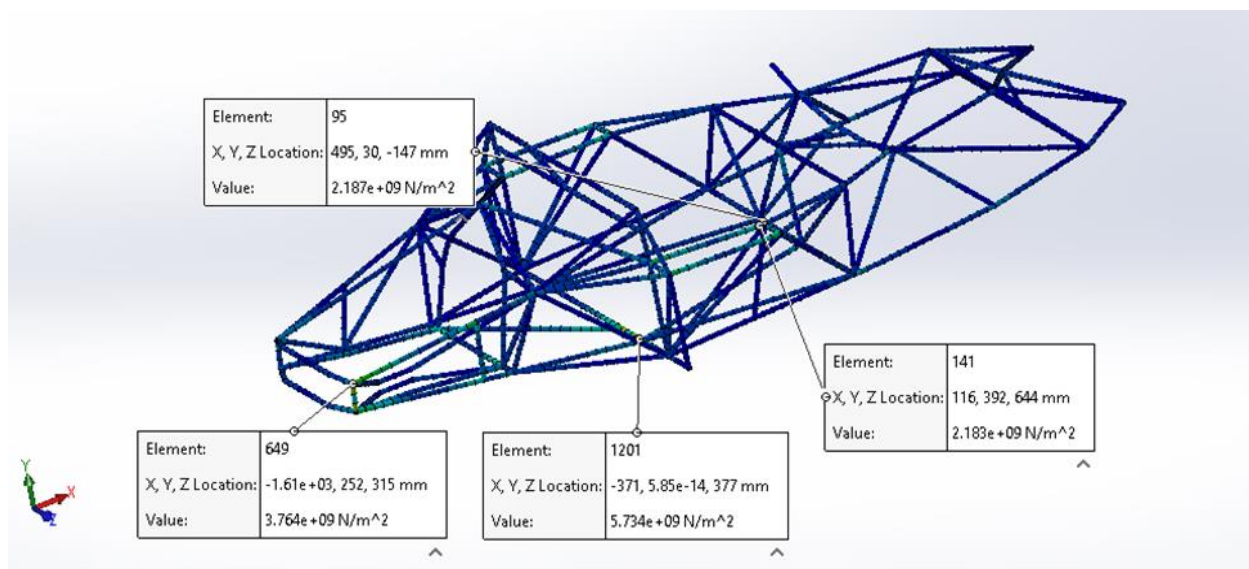
Η συγκεκριμένη δοκιμή στρέψης πραγματοποιείται με περιορισμό των σημείων σύνδεσης της εμπρόςθιας ανάρτησης και, παράλληλα, ασκείται δύναμη ίση με $6000N$, σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα αυτοκινητοβιομηχανίας, στα πίσω αριστερά και δεξιά σημεία σύνδεσης της ανάρτησης με αντίθετες τις φορές της δύναμης σε κάθε πλευρά. Στη συνέχεια, τοποθετείται η δύναμη της βαρύτητας με $g = 9.81m/sec^2$. Το γεγονός ότι το κέντρο βάρους βρίσκεται σχεδόν ακριβώς στη μέση του οχήματος διευκολύνει τις αναλύσεις. Τα παραπάνω δεδομένα εισάγονται στο λογισμικό προσομοίωσης και το αποτέλεσμα είναι ορατό και διαθέσιμο για περαιτέρω μελέτη στα σχήματα 4.14, 4.15, 4.16 και 4.17.



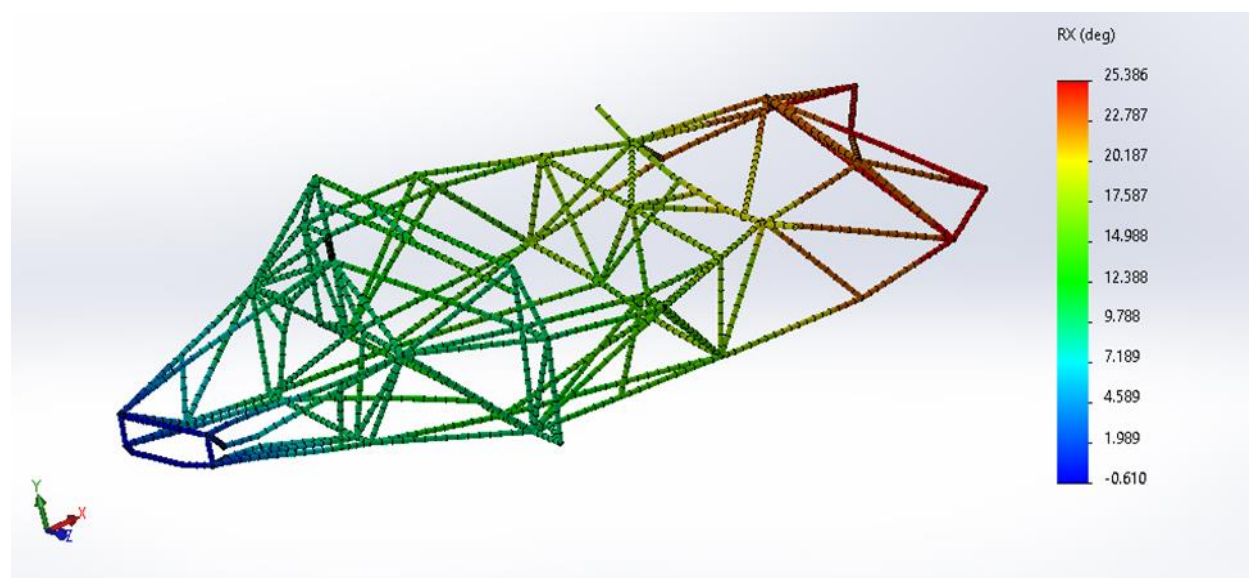
Σχήμα 4.14: Πακτώσεις, αρθρώσεις και δυνάμεις που ασκούνται στο πλαίσιο του αυτοκινήτου κατά την ανάλυση στρέψης οπίσθιας ανάρτησης



Σχήμα 4.15: Τελική παραμόρφωση του πλαισίου κατά τη στρέψη οπίσθιας ανάρτησης



Σχήμα 4.16: Σημεία του πλαισίου που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον κατά τη στρέψη οπίσθιας ανάρτησης και επιλέγονται για πιθανή μελλοντική σύγκριση με το νέο πλαίσιο



Σχήμα 4.17: Μοίρες περιστροφής του πλαισίου του αυτοκινήτου, ως προς τον X άξονα, κατά τη στρέψη οπίσθιας ανάρτησης

Ως «σημεία του πλαισίου που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον» χαρακτηρίζονται τα σημεία που παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες παραμορφώσεις κατά τη στρέψη. Συνήθως, επιλέγονται τα σταθερά τμήματα του πλαισίου, όπως τα σημεία στήριξης της ανάρτησης, τα οποία μπορούν να συγκριθούν και να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω αναλύσεις (σχήμα 4.16).

Η «τελική παραμόρφωση του πλαισίου κατά τη στρέψη οπίσθιας ανάρτησης» αναφέρεται στο μέγιστο ποσοστό παραμόρφωσης που επιτρέπεται στο πλαίσιο του αυτοκινήτου χωρίς να επηρεάζεται η ασφάλεια και η λειτουργικότητα του οχήματος. Αυτή η παραμόρφωση μετρείται σε μοίρες. Η παραμόρφωση του πλαισίου και οι μοίρες περιστροφής είναι εξίσου σημαντικά στοιχεία που αξιολογούνται κατά την ανάπτυξη αυτοκινήτων για να διασφαλίσουν την ασφάλεια και τη σταθερότητα του οχήματος (σχήματα 4.15 και 4.17).

4.3 Συμπεράσματα δυναμικής και στατικής ανάλυσης

Με τη βοήθεια του προγράμματος Solid Works σχεδιάστηκε το πλαίσιο του αυτοκινήτου, επιλέχθηκαν ρεαλιστικά υλικά για την κατασκευή του και πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις για καταστάσεις σύγκρουσης και στρέψης, συγκρούσεων και στρέψεων. Βάσει των παραπάνω, εντοπίστηκαν τα σημεία του πλαισίου τα οποία χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής (σχήμα 4.16). Κρίθηκε απαραίτητο να αναθεωρηθούν τα υλικά και ο σχεδιασμός των συγκεκριμένων σημείων (σχήμα 4.16 και τα πλαϊνά του κεντρικού μέρους του πλαισίου), ώστε να βελτιωθεί τόσο το βάρος όσο και η τοπολογία αυτών, ούτως ώστε να συμβαδίσουν με την τεχνολογία παραγωγής της 4ης Βιομηχανικής Επανάστασης, καθώς και με τα νέα σύνθετα υλικά που χρησιμοποιούνται πλέον στην αυτοκινητοβιομηχανία.

Στη συνέχεια, τα σημεία αυτά θα αντιστοιχηθούν και θα συγκριθούν με το νέο σχέδιο, στοχεύοντας στην ενίσχυση και βελτίωση του πλαισίου, και, συνεπώς, του αυτοκινήτου.

4.4 Σύνοψη

Το παρόν κεφάλαιο επικεντρώνεται στη δυναμική και στατική ανάλυση του υφιστάμενου πλαισίου του αυτοκινήτου, αναλύοντας τον τρόπο με τον οποίο αντιδρά σε διάφορες συνθήκες. Αρχικά, πραγματοποιείται δυναμική ανάλυση, εξετάζοντας πρόσκρουση στο εμπρόσθιο και οπίσθιο μέρος καθώς και πλευρική πρόσκρουση. Επιπλέον, πραγματοποιείται ανάλυση στρέψης των αναρτήσεων. Οι παραπάνω αναλύσεις διαφωτίζουν μέσω προσομοιώσεων τη συμπεριφορά του πλαισίου σε διάφορες συνθήκες οδήγησης.

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται στατική ανάλυση με έμφαση στη στρέψη των αναρτήσεων, προκειμένου να εξεταστεί η σταθερότητα και η αντοχή του πλαισίου υπό σταθερές φορτίσεις.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων συνοψίζονται στην τελευταία ενότητα, παρέχοντας συμπεράσματα σχετικά με την απόδοση και την αντοχή του πλαισίου του αυτοκινήτου σε διάφορες συνθήκες. Τα συμπεράσματα αποτελούν εναρκτήριο σημείο για τον σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση του πλαισίου, προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφάλεια και η απόδοση του αυτοκινήτου κατά τη χρήση του.

4.5 Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου

[29] Fui, T. H., Rahman, R. A., «Statics and Dynamics Structural Analysis of a 4.5 Ton Car Chassis», Core, Universiti Teknologi Malaysia Institutional Repository, 2007

[30] Jason, C., Brown, A., John Robertson, Stan, T., «Serpento, Motor vehicle structures», Butterworth-Heinemann, Οξφόρδη, Ηνωμένο Βασίλειο, 2002

[31] Rakesh Kumar Sahu, Suman Kumar Sahu, Srikant Behera and V. Santosh Kumar, «Static Load Analysis of a Ladder Type Chassis Frame», Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing Ltd, 2016

Κεφάλαιο 5

Εφαρμογή μεθόδων σχεδιασμού με έμφαση στην κατασκευή και στη συναρμολόγηση στο υφιστάμενο πλαίσιο

Περιεχόμενα

5 Εφαρμογή μεθόδων σχεδιασμού με έμφαση στην κατασκευή και στη συναρμολόγηση στο υφιστάμενο πλαίσιο	85
5.1 Εισαγωγή	85
5.2 Εφαρμογή ανάλυσης συναρμολόγησης DFA	85
5.3 Εφαρμογή κατασκευαστικής ανάλυσης DFM στο υφιστάμενο πλαίσιο	92
5.5 Σύνοψη	105
5.6 Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου	105

5 Εφαρμογή μεθόδων σχεδιασμού με έμφαση στην κατασκευή και στη συναρμολόγηση στο υφιστάμενο πλαίσιο

5.1 Εισαγωγή

Με βάση τη θεωρία του δεύτερου κεφαλαίου, αναφορικά με τη μέθοδο κατά Lucas, και αξιοποιώντας τους πίνακες που παρουσιάστηκαν στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, εφαρμόστηκε η μέθοδος για το υφιστάμενο πλαίσιο του αυτοκινήτου. Χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό πρόγραμμα Excel 2020, προκειμένου να υπολογιστούν και να ταξινομηθούν οι επιμέρους δείκτες των μεθόδων στο υφιστάμενο πλαίσιο και στη συνέχεια να συγκριθούν με τους αντίστοιχους του νέου.

5.2 Εφαρμογή ανάλυσης συναρμολόγησης DFA

Όπως ορίζει η μέθοδος, το κάθε προϊόν είναι απαραίτητο να χωριστεί σε όλα τα κομμάτια ή μέρη που συναρμολογούνται και, εν τέλει, το αποτελούν. Τα εξαρτήματα αυτά ταξινομούνται, στη συνέχεια, σε δύο ομάδες, την ομάδα A, με απαραίτητα για τη βασική λειτουργία του προϊόντος εξαρτήματα, και την ομάδα B, με μη απαραίτητα για

τη βασική λειτουργία του προϊόντος εξαρτήματα [32]. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, όλα τα κομμάτια που αποτελούν το πλαίσιο του αυτοκινήτου κρίνονται απαραίτητα για την κατασκευή του. Οι πίνακες 5.1 και 5.2 προκύπτουν από τον αρχικό σχεδιασμό του πλαισίου.

Πίνακας 5.1: Προδιαγραφές μεθόδου DFA για το αρχικό πλαίσιο του αυτοκινήτου

A/A	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΜΗΚΟΣ	ΟΜΑΔΑ	F DI	A	B	C	D	FTI	A	B	C	D	E	F
1	1	PIPE 21.30 X 2.3	866.52	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
2	1	PIPE 21.30 X 2.3	892.79	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
3	2	PIPE 21.30 X 2.3	307.03	A	2.2	1	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
4	1	PIPE 21.30 X 2.3	888.84	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
5	1	PIPE 21.30 X 2.3	875.11	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
6	2	PIPE 21.30 X 2.3	553.69	A	3.2	1.5	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
7	1	PIPE 21.30 X 2.3	776.71	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
8	2	PIPE 21.30 X 2.3	546.90	A	3.2	1.5	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
9	2	PIPE 21.30 X 2.3	133.60	A	2.2	1	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
10	2	PIPE 21.30 X 2.3	813.13	A	3.2	1.5	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
11	1	PIPE 21.30 X 2.3	315.75	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
12	2	PIPE 21.30 X 2.3	369.83	A	2.2	1	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
13	1	PIPE 21.30 X 2.3	1119.00	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
14	1	PIPE 21.30 X 2.3	511.47	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
15	1	PIPE 21.30 X 2.3	357.80	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
16	1	PIPE 21.30 X 2.3	404.51	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
17	1	PIPE 21.30 X 2.3	527.70	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
18	1	PIPE 21.30 X 2.3	895.25	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
19	1	PIPE 21.30 X 2.3	415.94	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
20	1	PIPE 21.30 X 2.3	523.27	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
21	2	PIPE 21.30 X 2.3	431.31	A	2.2	1	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
22	2	PIPE 21.30 X 2.3	135.00	A	2.2	1	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0

A/A	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΜΗΚΟΣ	ΟΜΑΔΑ	F DI	A	B	C	D	FTI	A	B	C	D	E	F
23	1	PIPE 21.30 X 2.3	533.37	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
24	1	PIPE 21.30 X 2.3	558.64	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
25	1	PIPE 21.30 X 2.3	672.91	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
26	1	PIPE 21.30 X 2.3	655.06	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
27	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	392.18	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
28	1	PIPE 21.30 X 2.3	558.64	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
29	1	PIPE 21.30 X 2.3	533.37	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
30	1	PIPE 21.30 X 2.3	415.94	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
31	2	PIPE 21.30 X 2.3	185.92	A	2.2	1	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
32	1	PIPE 21.30 X 2.3	426.98	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
33	1	PIPE 21.30 X 2.3	523.61	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
34	2	PIPE 21.30 X 2.3	479.44	A	2.2	1	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
35	2	PIPE 21.30 X 2.3	353.32	A	2.2	1	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
36	2	PIPE 21.30 X 2.3	165.00	A	2.2	1	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
37	2	PIPE 21.30 X 2.3	437.32	A	2.2	1	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
38	2	PIPE 21.30 X 2.3	190.39	A	2.2	1	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
39	1	PIPE 21.30 X 2.3	426.98	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
40	1	PIPE 21.30 X 2.3	523.61	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
41	2	PIPE 21.30 X 2.3	620.58	A	3.2	1.5	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
42	2	PIPE 21.30 X 2.3	295.45	A	2.2	1	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
43	2	PIPE 21.30 X 2.3	238.33	A	2.2	1	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
44	2	PIPE 21.30 X 2.3	613.65	A	3.2	1.5	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
45	1	PIPE 21.30 X 2.3	635.57	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
46	1	PIPE 21.30 X 2.3	341.60	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
47	1	PIPE 21.30 X 2.3	364.85	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
48	1	PIPE 21.30 X 2.3	625.92	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0

A/A	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΜΗΚΟΣ	ΟΜΑΔΑ	F DI	A	B	C	D	FTI	A	B	C	D	E	F
49	3	PIPE 21.30 X 2.3	476.38	A	3.3	1	0	0.1	0	8.1	2	0	0.7	0	0	0
50	2	PIPE 21.30 X 2.3	543.52	A	3.2	1.5	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
51	2	PIPE 21.30 X 2.3	545.34	A	3.2	1.5	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
52	2	PIPE 21.30 X 2.3	765.81	A	3.2	1.5	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
53	2	PIPE 21.30 X 2.3	519.08	A	3.2	1.5	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
54	1	PIPE 21.30 X 2.3	566.94	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
55	1	PIPE 21.30 X 2.3	564.77	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
56	1	PIPE 21.30 X 2.3	252.79	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
57	1	PIPE 21.30 X 2.3	323.35	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
58	1	PIPE 21.30 X 2.3	396.55	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
59	1	PIPE 21.30 X 2.3	388.14	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
60	1	PIPE 21.30 X 2.3	244.84	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
61	2	PIPE 21.30 X 2.3	629.10	A	3.2	1.5	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
62	1	PIPE 21.30 X 2.3	610.81	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
63	1	PIPE 21.30 X 2.3	754.04	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
64	1	PIPE 21.30 X 2.3	317.19	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
65	1	PIPE 21.30 X 2.3	138.48	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
66	1	PIPE 21.30 X 2.3	256.45	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
67	1	PIPE 21.30 X 2.3	256.50	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
68	1	PIPE 21.30 X 2.3	297.96	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
69	1	PIPE 21.30 X 2.3	316.84	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
70	1	PIPE 21.30 X 2.3	387.80	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
71	1	PIPE 21.30 X 2.3	259.92	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
72	1	PIPE 21.30 X 2.3	425.58	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
73	2	PIPE 33.70 X 4.0	188.47	A	2.2	1	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
74	2	PIPE 33.70 X 4.0	266.56	A	2.2	1	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
75	2	PIPE 33.70 X 4.0	43.09	A	3	1	0.4	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0

A/A	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΜΗΚΟΣ	ΟΜΑΔΑ	F DI	A	B	C	D	FTI	A	B	C	D	E	F
76	2	PIPE 33.70 X 4.0	120.00	A	2.2	1	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
77	1	PIPE 21.30 X 2.3	523.27	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
78	1	PIPE 21.30 X 2.3	655.06	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
79	1	PIPE 21.30 X 2.3	672.91	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
80	1	PIPE 21.30 X 2.3	700.78	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
81	1	PIPE 21.30 X 2.3	153.92	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
82	1	PIPE 21.30 X 2.3	364.08	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
83	1	PIPE 21.30 X 2.3	153.66	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
84	1	PIPE 21.30 X 2.3	701.58	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
85	1	PIPE 21.30 X 2.3	820.92	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
86	1	PIPE 21.30 X 2.3	132.66	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
87	1	PIPE 21.30 X 2.3	399.95	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
88	1	PIPE 21.30 X 2.3	132.66	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
89	1	PIPE 21.30 X 2.3	857.74	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
90	1	PIPE 21.30 X 2.3	402.78	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
91	1	PIPE 21.30 X 2.3	34.25	A	1.5	1	0.4	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
92	1	PIPE 21.30 X 2.3	261.87	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
93	1	PIPE 21.30 X 2.3	446.40	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
94	1	PIPE 21.30 X 2.3	294.70	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
95	1	PIPE 21.30 X 2.3	116.95	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
96	1	PIPE 21.30 X 2.3	116.88	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
97	1	PIPE 21.30 X 2.3	313.06	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
98	1	PIPE 21.30 X 2.3	967.90	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
99	1	PIPE 21.30 X 2.3	320.74	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
100	1	PIPE 21.30 X 2.3	165.16	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
101	1	PIPE 21.30 X 2.3	648.51	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
102	1	PIPE 21.30 X 2.3	303.28	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0

A/A	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΜΗΚΟΣ	ΟΜΑΔΑ	F DI	A	B	C	D	FTI	A	B	C	D	E	F
103	1	PIPE 21.30 X 2.3	162.37	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
104	1	PIPE 21.30 X 2.3	366.11	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
105	2	PIPE 21.30 X 2.3	466.33	A	2.2	1	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
106	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	603.35	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
107	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	355.85	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
108	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	603.35	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
109	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	355.85	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
110	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	202.39	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
111	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	349.27	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
112	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	563.32	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
113	2	PIPE 21.30 X 2.3	521.46	A	3.2	1.5	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
114	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	563.32	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
115	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	349.27	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
116	2	PIPE 21.30 X 2.3	1230.00	A	3.2	1.5	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
117	1	PIPE 21.30 X 2.3	404.51	A	1.1	1	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
118	1	PIPE 21.30 X 2.3	527.70	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
119	1	PIPE 21.30 X 2.3	866.52	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0

A/A	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΜΗΚΟΣ	ΟΜΑΔΑ	F DI	A	B	C	D	FTI	A	B	C	D	E	F
120	1	PIPE 21.30 X 2.3	892.79	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
121	1	PIPE 21.30 X 2.3	895.25	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
122	2	PIPE 21.30 X 2.3	457.12	A	2.2	1	0	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
123	1	PIPE 21.30 X 2.3	1122.87	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
124	1	PIPE 21.30 X 2.3	570.58	A	1.6	1.5	0	0.1	0	2	2	0	0	0	0	0
125	2	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	60.42	A	3	1	0.4	0.1	0	5.4	2	0	0.7	0	0	0
ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΜΗΚΟΣ	ΟΜΑΔΑ	FDI	A	B	C	D	FTI	A	B	C	D	E	F

Τα δεδομένα του πίνακα 5.1 χρησιμοποιούνται για να υπολογιστούν οι επιθυμητοί δείκτες, οι οποίοι είναι:

1. Ο πρώτος δείκτης προκύπτει ως άθροισμα 4 δεικτών, δηλαδή $FDI = A + B + C + D$

Συνολικά για το προϊόν ορίζεται ένας Βαθμός Τροφοδότησης, ΒΤ (Feeding Ratio, FDR) ως:

$$FDR = \Sigma FDI / A \quad (5.1)$$

όπου:

- ΣFDI είναι το άθροισμα των επιμέρους δεικτών για όλα τα κομμάτια.
- Α είναι ο Αριθμός Σημαντικών Κομματιών, όπως προκύπτει από την ομάδα Α της λειτουργικής ανάλυσης.

Ο ιδανικός Βαθμός Τροφοδότησης κατά τη μέθοδο Boothroyd Dewhurst ορίζεται στο 2.5.

2. Ο δεύτερος δείκτης προκύπτει ως άθροισμα 6 δεικτών, δηλαδή $FTI = A + B + C + D + E + F$.

Συνολικά για το προϊόν ορίζεται ένας Βαθμός Συναρμολόγησης, ΒΣ (Fitting Ratio, FTR) ως:

$$FTR = \Sigma FTI / A \quad (5.2)$$

όπου:

- ΣFDI είναι το άθροισμα των επιμέρους δεικτών για όλα τα κομμάτια.
- Α είναι ο Αριθμός Σημαντικών Κομματιών όπως προκύπτει από την ομάδα Α της λειτουργικής ανάλυσης.

Ο ιδανικός Βαθμός Συναρμολόγησης κατά τη μέθοδο Boothroyd Dewhurst ορίζεται στο 2.5.

Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα DFA υφιστάμενης σχεδιαστικής επιλογής του πλαισίου

Λειτουργική Ανάλυση	Το προϊόν αποτελείται από 159 μέρη (στον πίνακα 5.1 παρουσιάζονται 125 εξαρτήματα, ωστόσο υπάρχουν πανομοιότυπα σε μεγαλύτερες ποσότητες)
	Τα 159 είναι απαραίτητα για τη βασική λειτουργία του
	Η λειτουργική απόδοση, E_d , του προϊόντος είναι 100%
Ανάλυση Τροφοδότησης	Ο Βαθμός Τροφοδότησης, FDR, είναι 1.32
Ανάλυση Συναρμολόγησης	Ο Βαθμός Συναρμολόγησης, FTR, είναι 2.29

Ως προς τη λειτουργική ανάλυση, ο δείκτης προκύπτει υψηλότερος της επιθυμητής τιμής 60% (λειτουργικές αποδώσεις μεγαλύτερες του 60% θεωρούνται αποδεκτές από τη μέθοδο), και οι σχεδιαστικές επιλογές κρίνονται κατάλληλες. Στο σημείο αυτό, είναι σημαντικό να επισημανθεί πως βασικό στόχο της παρούσας εργασίας αποτελεί ο ολικός ανασχεδιασμός του πλαισίου και όχι η βελτίωση αυτού μειώνοντας εξαρτήματα κατά την εφαρμογή των εκάστοτε μεθόδων [33]. Για το λόγο αυτό, θεωρείται ότι όλα τα εξαρτήματα, που συμβάλλουν στην ανάπτυξη του σκελετού, είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του, θεώρηση που θα μπορούσε να χαρακτηριστεί υποκειμενική, καθώς, σύμφωνα με τις παραπάνω αναλύσεις και τις μεθόδους, υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης. Η ανάλυση τροφοδότησης έχει ως αποτέλεσμα βαθμό τροφοδότησης FDR ίσο με 1.32, μικρότερο του ιδανικού βαθμού που είναι 2.5. Από την ανάλυση συναρμολόγησης προκύπτει ο βαθμός συναρμολόγησης FTR ίσος με 2.29, ο οποίος αποκλίνει από την ιδανική τιμή του 2.5. Η σχεδιαστική επιλογή κρίνεται αποδεκτή, ωστόσο τα δεδομένα θα συγκριθούν μελλοντικά με τα αντίστοιχα των αναλύσεων στο νέο σχέδιο πλαισίου του αυτοκινήτου.

5.3 Εφαρμογή κατασκευαστικής ανάλυσης DFM στο υφιστάμενο πλαίσιο

Για την κατασκευαστική ανάλυση, εφαρμόστηκαν τα βήματα που περιγράφονται στην παράγραφο 2.6.3 όπου πραγματοποιήθηκε η λεπτομερής περιγραφή της μεθόδου. Καθοριστική επίδραση στην ελάττωση του κόστους παραγωγής έχει το μέγεθος της εκάστοτε ποσότητας προς παραγωγή, καθώς και το είδος του εξοπλισμού παραγωγής. Συνολικά, κατά την παραγωγή του μοντέλου του αυτοκινήτου, Mercedes SL 300, κατασκευάστηκαν 3.258 πλαίσια σε διάστημα δέκα ετών [9]. Συνεπώς, ο μέσος όρος παραγόμενων αυτοκινήτων ανά έτος θα είναι 325. Σε πρώτη φάση, παρουσιάζονται συγκεκριμένες πληροφορίες των τεμαχίων, απαραίτητες για να προκύψουν οι συντελεστές της

μεθόδου με βάση τους πίνακες 2.5 έως 2.16 του δευτέρου κεφαλαίου [34]. Συγκεκριμένα, οι πληροφορίες/χαρακτηριστικά των τεμαχίων είναι:

- Αριθμός τεμαχίου
- Όνομα τεμαχίου
- Γενική κατηγορία τεμαχίου (A, B, C)
- Ειδική κατηγορία τεμαχίου (1, 2, 3, 4, 5)
- Κατεργασία που θα χρησιμοποιηθεί
- Ελάχιστη διατομή (mm)
- Μέγεθος παραγωγής ανά έτος
- Υλικό
- Ανοχές (mm)
- Αριθμός επιπέδων όπου εμφανίζονται κρίσιμα μεγέθη ανοχών
- Φινίρισμα (mm)
- Αριθμός επιπέδων όπου εμφανίζονται κρίσιμα μεγέθη φινιρίσματος
- Όγκος τεμαχίου (mm³)

Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει ο πίνακας 5.3 με τον αριθμό τεμαχίου στην αριστερή στήλη και τα χαρακτηριστικά στις επόμενες.

Πίνακας 5.3:Αποτελέσματα DFM υφιστάμενης σχεδιαστικής επιλογής του πλαισίου

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ	ΥΛΙΚΟ	ΑΝΟΧΕΣ/ΕΠΙΠΕΔΑ	ΦΙΝΙΡΙΣΜΑ/ ΕΠΙΠΕΔΑ	ΟΓΚΟΣ V(mm ³)
1	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	252197.7
2	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	259843.5
3	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	357440.2
4	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	258693.9
5	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	254697.8
6	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	644598.4
7	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	226058.8
8	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	636693.5
9	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	155535.3
10	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	946634.9
11	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	91897.96
12	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	430551.1

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ	ΥΛΙΚΟ	ΑΝΟΧΕΣ/ΕΠΙΠΕΔΑ	ΦΙΝΙΡΙΣΜΑ/ΕΠΙΠΕΔΑ	ΟΓΚΟΣ V(mm ³)
13	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	325681.1
14	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	148861.6
15	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	104136.5
16	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	117731.3
17	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	153585.3
18	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	260559.5
19	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	121057.9
20	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	152296
21	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	502125.2
22	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	157165.2
23	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	155235.5
24	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	162590.3
25	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	195848.2
26	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	190653

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ	ΥΛΙΚΟ	ΑΝΟΧΕΣ/ΕΠΙΠΕΔΑ	ΦΙΝΙΡΙΣΜΑ/ΕΠΙΠΕΔΑ	ΟΓΚΟΣ V(mm ³)
27	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	B1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2	AISI 4130 STEEL	4.2/4	1 TO 4	29805.68
28	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	162590.3
29	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	155235.5
30	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	121057.9
31	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	216445.5
32	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	124271.1
33	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	152394.9
34	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	558157.5
35	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	411330.3
36	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	192090.8
37	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	509122
38	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	221649.4
39	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	124271.1
40	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	152394.9
41	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	722470.8

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ	ΥΛΙΚΟ	ΑΝΟΧΕΣ/ΕΠΙΠΕΔΑ	ΦΙΝΙΡΙΣΜΑ/ΕΠΙΠΕΔΑ	ΟΓΚΟΣ V(mm ³)
42	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	343958.9
43	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	277460.5
44	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	714403
45	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	184980.5
46	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	99421.52
47	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	106188.4
48	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	182171.9
49	3	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	124783.9
50	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	632758.6
51	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	634877.4
52	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	891545.6
53	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	604305.9
54	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	165006

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ	ΥΛΙΚΟ	ΑΝΟΧΕΣ/ΕΠΙΠΕΔΑ	ΦΙΝΙΡΙΣΜΑ/ ΕΠΙΠΕΔΑ	ΟΓΚΟΣ V(mm ³)
55	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	164374.4
56	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	73573.67
57	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	94109.92
58	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	115414.5
59	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	112966.8
60	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	71259.85
61	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	732389.7
62	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	177774.2
63	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	219460.8
64	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	92317.07
65	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	40304.13
66	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	74638.9

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ	ΥΛΙΚΟ	ΑΝΟΧΕΣ/ΕΠΙΠΕΔΑ	ΦΙΝΙΡΙΣΜΑ/ΕΠΙΠΕΔΑ	ΟΓΚΟΣ V(mm ³)
67	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	74653.45
68	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	86720.24
69	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	92215.2
70	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	112867.9
71	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	75648.83
72	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	123863.6
73	2	PIPE 33.70 X 4.0	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	219414.2
74	2	PIPE 33.70 X 4.0	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	310325.5
75	2	PIPE 33.70 X 4.0	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	50164.79
76	2	PIPE 33.70 X 4.0	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	139702.4
77	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	152296
78	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	190653
79	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	195848.2

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ	ΥΛΙΚΟ	ΑΝΟΧΕΣ/ΕΠΙΠΕΔΑ	ΦΙΝΙΡΙΣΜΑ/ΕΠΙΠΕΔΑ	ΟΓΚΟΣ V(mm ³)
80	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	203959.6
81	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	44797.89
82	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	105964.2
83	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	44722.22
84	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	204192.5
85	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	238926
86	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	38610.24
87	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	116404.1
88	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	38610.24
89	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	249642.3
90	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	117227.7
91	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	9968.346
92	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	76216.37

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ	ΥΛΙΚΟ	ΑΝΟΧΕΣ/ΕΠΙΠΕΔΑ	ΦΙΝΙΡΙΣΜΑ/ΕΠΙΠΕΔΑ	ΟΓΚΟΣ V(mm ³)
93	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	129923.2
94	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	85771.43
95	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	34037.9
96	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	34017.53
97	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	91115.05
98	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	281704
99	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	93350.29
100	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	48069.26
101	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	188746.6
102	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	88268.61
103	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	47257.24
104	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	106555.1
105	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	542895

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ	ΥΛΙΚΟ	ΑΝΟΧΕΣ/ΕΠΙΠΕΔΑ	ΦΙΝΙΡΙΣΜΑ/ ΕΠΙΠΕΔΑ	ΟΓΚΟΣ V(mm³)
106	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	B1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2	AISI 4130 STEEL	4.2/4	1 TO 4	45854.6
107	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	B1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2	AISI 4130 STEEL	4.2/4	1 TO 2	27044.6
108	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	B1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2	AISI 4130 STEEL	4.2/4	1 TO 4	45854.6
109	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	B1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2	AISI 4130 STEEL	4.2/4	1 TO 4	27044.6
110	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	B1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2	AISI 4130 STEEL	4.2/4	1 TO 4	15381.64
111	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	B1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2	AISI 4130 STEEL	4.2/4	1 TO 4	26544.52
112	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	B1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2	AISI 4130 STEEL	4.2/4	1 TO 4	42812.32
113	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	303538.3
114	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	B1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/4	1 TO 4	42812.32

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ	ΥΛΙΚΟ	ΑΝΟΧΕΣ/ΕΠΙΠΕΔΑ	ΦΙΝΙΡΙΣΜΑ/ ΕΠΙΠΕΔΑ	ΟΓΚΟΣ V(mm³)
115	1	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	B1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2	AISI 4130 STEEL	4.2/4	1 TO 4	26544.52
116	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	143194.9
117	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	117731.3
118	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	153585.3
119	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	252197.7
120	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	259843.5
121	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	260559.5
122	2	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	532172.9
123	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 4130 STEEL	4.2/1	1 TO 1	326807.5

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ	ΥΛΙΚΟ	ΑΝΟΧΕΣ/ΕΠΙΠΕΔΑ	ΦΙΝΙΡΙΣΜΑ/ ΕΠΙΠΕΔΑ	ΟΓΚΟΣ V(mm ³)
124	1	PIPE 21.30 X 2.3	A1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2.3	AISI 413 0 STEEL	4.2/1	1 TO 1	166065 .4
125	2	TUBE, SQUARE 20.00 X 20.00 X 2.00	B1	ΧΥΤΕΥΣΗ	0	2	AISI 413 0 STEEL	4.2/4	1 TO 4	70340. 14

Τη δεκαετία του 1950 οι σωλήνες που χρησιμοποιούνταν στην αυτοκινητοβιομηχανία κατασκευάζονταν κυρίως με τη μέθοδο της συγκόλλησης [35]. Η διαδικασία παραγωγής περιελάμβανε τα εξής βήματα:

- I. Κοπή του ασάλινου φύλλου: Αρχικά, το ασάλινο φύλλο κόπτονταν σε κατάλληλες διαστάσεις, συνήθως σε ρολά, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή των σωλήνων.
- II. Κυλινδροποίηση: Η έλαση (ή κυλινδροποίηση) είναι η πρώτη κατεργασία που υπόκειται ένα μεταλλικό υλικό μετά την αρχική του μορφοποίηση στα χυτήρια. Το μέταλλο βγαίνει από τα χυτήρια σε μορφή (πλάκες, κορμιομπιγιέτες) που δεν είναι δυνατή η άμεση επεξεργασία του με κατεργασίες διαμόρφωσης. Έτσι ελάσσεται είτε σε μορφή μεγάλων ράβδων είτε σε μορφή μεγάλων πλακών ορθογωνικής διατομής. Αυτό το πρώτο στάδιο ονομάζεται έλαση μορφής (αλλαγή της γεωμετρίας). Σε δεύτερο στάδιο οι ράβδοι ελάσσονται σε ράβδους και δοκούς τυποποιημένης διατομής και οι μεγάλες πλάκες σε λεπτότερα επίπεδα ελάσματα. Αυτό το δεύτερο στάδιο ονομάζεται επίπεδη έλαση (αλλαγή του πάχους του υλικού). Όταν το μέταλλο φτάσει στην κατάλληλη θερμοκρασία, τότε γίνεται η διέλευσή του μεταξύ δύο περιστρεφόμενων κυλίνδρων με σκοπό την ελάττωση της διατομής του και την αύξηση του μήκους του [49].
- III. Συγκόλληση (συνέχεια): Η συγκόλληση ήταν δυνατό να πραγματοποιείται με τη χρήση ηλεκτροσυγκολλητών, όπου μέσω ηλεκτρικού τόξου παρήγαγαν θερμότητα, για να συγκολλήσουν τις άκρες του φύλλου. Επιπλέον, μπορούσε να εφαρμοστεί ξηρή συγκόλληση, όπου οι άκρες του φύλλου τοποθετούνταν μέσα σε έναν θάλαμο και συγκολλούνταν με τη χρήση προστατευτικών αερίων.
- IV. Επεξεργασία και τελικό φινιρίσμα: Μετά τη συγκόλληση, οι σωλήνες υπόκειντο σε επεξεργασία για τη διόρθωση ενδεχόμενων ατελειών και για την επίτευξη της επιθυμητής μορφής. Αυτή η επεξεργασία μπορούσε να περιλαμβάνει τον καθαρισμό, τον τροχισμό, τη λείανση και τον έλεγχο της ποιότητας του σωλήνα.

- V. Η κυλινδροποίηση με χύτευση είναι η διαδικασία κατά την οποία ένα ρευστό μέταλλο χύνεται σε έναν κύλινδρο για να δημιουργηθούν μεταλλικά μέρη, όπως τεμάχια ράγων, σωλήνων, ή στρογγυλών αντικειμένων. Το μέταλλο χύνεται σε κατακόρυφους ή οριζόντιους κυλίνδρους, επιτρέποντας τη μορφοποίηση του σε διάφορα σχήματα και διαστάσεις. Μετά την ψύξη και στερέωση, το εξάρτημα αφαιρείται από τον κύλινδρο με κατάλληλες διεργασίες.

Σημειώνεται ότι οι πρακτικές και οι τεχνικές παραγωγής σωλήνων ενδέχεται να διαφέρουν, ανάλογα με την αυτοκινητοβιομηχανία και την εποχή.

5.5 Σύνοψη

Στο παρόν κεφάλαιο, εξετάζεται η εφαρμογή μεθόδων σχεδιασμού με έμφαση στην κατασκευή και τη συναρμολόγηση του υφιστάμενου πλαισίου. Αναλύονται τρεις κύριες μέθοδοι, και συγκεκριμένα η μέθοδος κατά Lucas, η ανάλυση συναρμολόγησης DFA και η κατασκευαστική ανάλυση DFM.

Κατά την ανάλυση, προέκυψαν σημαντικά αποτελέσματα, που καθορίζουν τη δομή του προϊόντος. Συγκεκριμένα, το προϊόν αποτελείται από 159 μέρη, από τα οποία όλα κρίνονται απαραίτητα για τη βασική λειτουργία και τη διάταξή του. Επιπλέον, η λειτουργική απόδοση του προϊόντος είναι ικανοποιητική, επιτυγχάνοντας 100% με τον συγκεκριμένο τρόπο σχεδιασμού του σωληνωτού πλαισίου. Αξίζει να σημειωθεί ότι, βάσει της δυναμικής και της στατικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκαν, υπάρχει η δυνατότητα σταδιακής βελτιστοποίησης του σωληνωτού πλαισίου μέσω της αφαίρεσης εξαρτημάτων, σε σημεία, όπου δεν αναπτύσσονται μεγάλες δυνάμεις, αλλά και της ενίσχυσης άλλων, όπου κρίνεται απαραίτητο. Απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός, ώστε να μην επηρεαστεί ο δείκτης ασφαλείας του αυτοκινήτου. Ωστόσο, η παρούσα εργασία στοχεύει στον εξολοκλήρου σχεδιασμό ενός πλαισίου, το οποίο θα συμβαδίζει με τα δεδομένα της σύγχρονης εποχής.

Όσον αφορά τον βαθμό τροφοδότησης (FDR), αυτός υπολογίστηκε στο 1.32, ενώ ο βαθμός συναρμολόγησης (FTR) ανέρχεται στο 2.29. Οι παραπάνω βαθμοί θα συγκριθούν με αυτούς του νέου πλαισίου, ώστε να προκύψει ένας θεμιτός σχεδιασμός. Τα παραπάνω αποτελέσματα αναδεικνύουν τη σημασία της σχεδιαστικής διαδικασίας και της βέλτιστης συναρμολόγησης για την επίτευξη της απόδοσης και της αποτελεσματικότητας του προϊόντος.

5.6 Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου

[32] Douglas D. Lefever, Kristin L. Wood, «Design for Assembly Techniques in Reverse Engineering and Redesign», Volume 4: 8th International Conference on Design Theory and Methodology Irvine, California, USA, 2021

[33] George-Christopher Vosniakos, Xenofon V. Gogouvtis and Emmanuel E. Stathatos, «Coupling product and manufacturing system design», Published Online, Inderscience Online, Ελλάδα, 2009

[34] Corrado Poli, «Design for Manufacturing: A Structured Approach», Butterworth-Heinemann, Οξφόρδη, Ηνωμένο Βασίλειο, 2001

[35] H. Okamoto, «Evolution of the Supplier Network in the German Automotive Industry from the Prewar to Postwar Period: A Comparative Perspective with the Japanese experience», Business History Conference, Αγγλία, 2004

Κεφάλαιο 6

Ανασχεδιασμός μερών οχήματος

Περιεχόμενα

6 Ανασχεδιασμός μερών οχήματος.....	108
6.1 Εισαγωγή	108
6.2 Κεντρικό μέρος συνθετικού μονοκοque πλαισίου	109
Σχήμα 6.1: Συνθετικό τμήμα πλαισίου αμαξώματος από ίνες άνθρακα, τύπου μονοκοque	110
6.3 Κατασκευή κεντρικού μέρος συνθετικού μονοκοque πλαισίου	111
6.4 Εμπρόσθιο και οπίσθιο μέρος ασάλινου πλαισίου, τύπου subframe	111
Σχήμα 6.2: Εμπρόσθιο μέρος ασάλινου πλαισίου, τύπου subframe	113
6.5 Υβριδικό πλαίσιο αυτοκινήτου	113
Σχήμα 6.3: Υβριδικό σασί αυτοκινήτου Lamborghini Aventador LP 700-4.....	113
6.6 Ο σχεδιασμός του κεντρικού μέρους, συνθετικού μονοκοque πλαισίου του αυτοκινήτου Mercedes SL 300	114
Σχήμα 6.4: Το νέο συνθετικό κεντρικό μέρος του πλαισίου του αυτοκινήτου, τύπου μονοκοque (πρώτη όψη).....	114
Σχήμα 6.5: Το νέο συνθετικό κεντρικό μέρος του πλαισίου του αυτοκινήτου, τύπου μονοκοque (δεύτερη όψη).....	115
6.7 Βελτιστοποίηση Τοπολογίας.....	115
Σχήμα 6.6: Η διαδικασίας βελτιστοποίησης τοπολογίας.....	116
Σχήμα 6.7: Παράδειγμα βελτιστοποίησης τοπολογίας σε συμβατικό πλαίσιο αυτοκινήτου.....	118
6.8 Προσθετική κατασκευή, τρισδιάστατη εκτύπωση	118
Σχήμα 6.8: Παράδειγμα τρισδιάστατης εκτύπωσης σε βιομηχανική κλίμακα	120
6.8 Ο σχεδιασμός του εμπρόσθιου και του οπίσθιου μέρους του πλαισίου, τύπου subframe, του αυτοκινήτου Mercedes SL 300 με τη χρήση της μεθόδου της βελτιστοποίησης τοπολογίας.....	120
Σχήμα 6.10: Τα αποτελέσματα βελτιστοποίησης τοπολογίας στον σχεδιασμό του εμπρόσθιου μέρους του πλαισίου, τύπου subframe (δεύτερη όψη).....	121

Σχήμα 6.11: Τα αποτελέσματα βελτιστοποίησης τοπολογίας στον σχεδιασμό του οπίσθιου μέρους του πλαισίου, τύπου subframe (πρώτη όψη).....	122
Σχήμα 6.12: Τα αποτελέσματα βελτιστοποίησης τοπολογίας στον σχεδιασμό του εμπρόσθιου μέρους του πλαισίου, τύπου subframe (δεύτερη όψη).....	122
6.9 Συναρμολόγηση του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου Mercedes SL 300	123
Σχήμα 6.13: Συναρμολόγηση κελύφους αυτοκινήτου από ίνες άνθρακα με τα μεταλλικά τμήματα του πλαισίου του μέσω υβριδικής κόλλησης	124
6.10 Σύνοψη	124
6.11 Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου.....	125

6 Ανασχεδιασμός μερών οχήματος

6.1 Εισαγωγή

Ο ανασχεδιασμός είναι η διαδικασία αναπροσαρμογής ενός συστήματος, προϊόντος ή διαδικασίας, με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης, της λειτουργικότητας ή της εμπειρίας των χρηστών. Ο ανασχεδιασμός μπορεί να περιλαμβάνει την αλλαγή της εξωτερικής εμφάνισης, της δομής ή της λειτουργίας ενός συστήματος, προκειμένου να προσαρμοστεί σε νέες απαιτήσεις ή να βελτιωθεί η απόδοσή του. Στη συγκεκριμένη περίπτωση και, έπειτα από την εφαρμογή των αρχών και των μεθόδων με έμφαση στην κατασκευασσιμότητα και στη συναρμολογησιμότητα, κρίνεται επιθυμητό να προταχθεί ένα νέο κατασκευαστικό πλαίσιο του αυτοκινήτου, το οποίο θα διευκολύνει την παραγωγή και θα εκσυγχρονίσει την κατασκευή, διατηρώντας τη μοναδική εξωτερική εμφάνισή του.

Η κύρια λειτουργία ενός πλαισίου είναι να διατηρεί την ασφάλεια του οδηγού ανά πάσα στιγμή. Δευτερεύουσας σημασίας αποτελεί η δυνατότητα μεταφοράς των φορτίων των ελαστικών τόσο στη διαμήκη όσο και στην πλάγια κατεύθυνση, καθώς και στο εσωτερικό της κατασκευής μέσω των χειριστηρίων του οδηγού και των συστημάτων μετάδοσης κίνησης. Στην εποχή μας υπάρχει πληθώρα διαμορφώσεων πλαισίων αυτοκινήτων. Ωστόσο, τα περισσότερα σπορ αυτοκίνητα, γνωστά και ως υπεραυτοκίνητα, διαθέτουν ένα υβριδικό πλαίσιο. Το εν λόγω πλαίσιο αποτελεί συνδυασμό ενός κύριου πλαισίου τύπου Monocoque, που βρίσκεται στη μέση του οχήματος, ενώ το εμπρόσθιο και το οπίσθιο μέρος αυτού απαρτίζεται από ένα ασάλινο πλαίσιο, τύπου spaceframe.

6.2 Κεντρικό μέρος συνθετικού πλαισίου μονού κελύφους (monocoque)

Το Monocoque, γνωστό και ως δομική επιφάνεια, είναι ένα σύστημα, του οποίου τα φορτία υποστηρίζονται από την εξωτερική επιφάνεια ενός αντικειμένου, που προσομοιάζει με το κέλυφος ενός αυγού. Η λέξη monocoque είναι ένας γαλλικός όρος, ο οποίος αποδίδεται στην ελληνική γλώσσα ως «μονό κέλυφος» [36]. Στο σύστημα monocoque, η δομή του οχήματος σχηματίζεται από ένα μοναδικό κέλυφος ή «κουτί», το οποίο αναλαμβάνει τόσο το φορτίο ως σκελετός όσο και την προστασία των επιβατών ή του πληρώματος. Χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά για την κατασκευή πλωτών σκαφών [37]. Αντί να χρησιμοποιείται ξεχωριστός σκελετός και καρότσα, η δομή του οχήματος συνδυάζει τις συγκεκριμένες λειτουργίες σε ένα ενιαίο μονοκόμματο κομμάτι, διαδικασία που συνήθως επιτυγχάνεται με τη χρήση ανθεκτικών υλικών, όπως ίνες άνθρακα, γυαλί, αλουμίνιο ή σύνθετα υλικά.

Ο σχεδιασμός monocoque χρησιμοποιείται σε διάφορα οχήματα, όπως αυτοκίνητα και αεροσκάφη, λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρει. Τα κυριότερα από αυτά είναι:

- Βελτιωμένη ακαμψία και αντοχή: Η κατασκευή monocoque παρέχει μεγαλύτερη ακαμψία και αντοχή σε σύγκριση με παραδοσιακές κατασκευές σωληνωτού πλαισίου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ολόκληρη η δομή λειτουργεί ως σκελετός, απορροφώντας και κατανέμοντας ομοιόμορφα τις δυνάμεις κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του.
- Μείωση βάρους: Η χρήση ελαφρών υλικών για την κατασκευή monocoque, όπως οι ίνες άνθρακα, το γυαλί, το αλουμίνιο και τα σύνθετα υλικά, οδηγεί σε σημαντική μείωση του συνολικού βάρους του οχήματος. Η συγκεκριμένη πρακτική, τις περισσότερες φορές, έχει θετική επίδραση στην απόδοση, την ευελιξία και την εξοικονόμηση καυσίμου.
- Ασφάλεια: Ο σχεδιασμός monocoque προσφέρει υψηλό επίπεδο ασφαλείας. Η ενιαία δομή του κελύφους έχει τη δυνατότητα να αντισταθεί σε καταστάσεις κρούσεων ή συγκρούσεων ιδιαίτερα ικανοποιητικά συγκριτικά με παραδοσιακές κατασκευές πλαισίων, οι οποίες χαρακτηρίζονται από την επικίνδυνη, ελαστική παραμόρφωσή τους σε ανάλογες περιπτώσεις.
- Αεροδυναμική απόδοση: Η συμπαγής και ολοκληρωμένη δομή του monocoque μπορεί να βελτιώσει την αεροδυναμική απόδοση του οχήματος. Αυτό οδηγεί σε μειωμένη αντίσταση του αέρα, και, συνεπώς, σε καλύτερες αποδώσεις, αλλά και αυξημένη οικονομία καυσίμου.
- Ευελιξία στον σχεδιασμό: Ο σχεδιασμός monocoque επιτρέπει μεγαλύτερη ελευθερία στον σχεδιαστή του οχήματος. Αυτό σημαίνει πως είναι δυνατό να δημιουργηθούν πιο καινοτόμα σχήματα, προσφέροντας μοναδικό στυλ και καλαίσθητη εμφάνιση.
- Εσωτερικός χώρος: Ο σχεδιασμός monocoque επιτρέπει την αποτελεσματική χρήση του εσωτερικού χώρου. Οι τοίχοι του κελύφους δίνουν τη δυνατότητα παροχής περισσότερου χώρου για τους επιβάτες ή το πλήρωμα, αυξάνοντας την άνεση και την εργονομία της κατασκευής.

Παρόλο που ο σχεδιασμός πλαισίου τύπου monocoque διαθέτει πληθώρα πλεονεκτημάτων, υπάρχουν και ορισμένα πιθανά μειονεκτήματα που είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη. Ανάμεσα σε αυτά συμπεριλαμβάνονται και τα εξής:

- Υψηλότερο κόστος κατασκευής: Η κατασκευή ενός monocoque σχεδιασμού ενδέχεται να είναι πιο ακριβή σε σύγκριση με παραδοσιακές κατασκευές. Η χρήση ειδικών υλικών και η πιο περίπλοκη διαδικασία κατασκευής είναι δυνατό να αυξήσει το κόστος του οχήματος.

- Επισκευή και συντήρηση του πλαισίου: Σε περίπτωση που υποστεί ζημιά ή καταστροφή μια περιοχή του κελύφους, η διαδικασία επισκευής ενδεχομένως θα καταστεί πιο δύσκολη και, συνεπώς, πιο ακριβή. Οι εξειδικευμένες τεχνικές και η αντικατάσταση ολόκληρου του κελύφους είναι πολύ πιθανό να απαιτηθούν, αντίθετα με τις παραδοσιακές κατασκευές, που μπορούν να επιδιορθωθούν με μεγαλύτερη ευκολία και μικρότερο κόστος.
- Περιορισμένη ευελιξία στην απορρόφηση κραδασμών: Ενώ ο σχεδιασμός μοποσοque έχει τη δυνατότητα να προσφέρει περισσότερη ακαμψία, η απορρόφηση κραδασμών και κρουστικών δυνάμεων ενδέχεται να είναι πιο περιορισμένη, αρκετές φορές, σε σύγκριση με παραδοσιακές κατασκευές που χρησιμοποιούν πιο ελαστικά υλικά ή δομικές αναπαυτικές ζώνες.

Ο σχεδιασμός πλαισίου τύπου μοποσοque, παρά τα πιθανά μειονεκτήματά του, έχει αποδειχθεί επιτυχημένος και ευρέως χρησιμοποιούμενος σε πολλές εφαρμογές. Το εξαιρετικά ανθεκτικό και ελαφρύ κέλυφος που προσφέρει μπορεί να αντέξει στις απαιτήσεις της καθημερινής χρήσης και να προστατεύσει αποτελεσματικά τους επιβάτες ή το πλήρωμα. Οι προηγμένες τεχνολογίες και οι σύγχρονες κατασκευαστικές μέθοδοι έχουν επιτρέψει τη βελτίωση του σχεδιασμού μοποσοque και την αντιμετώπιση ορισμένων από τα πιθανά μειονεκτήματα. Επιπλέον, η συνεχής έρευνα και ανάπτυξη σε αυτόν τον τομέα έχει οδηγήσει στην ανακάλυψη νέων υλικών και τεχνολογιών, που μπορούν να βελτιώσουν ακόμη περισσότερο την απόδοση και την ασφάλεια των μοποσοque κατασκευών. Στο σχήμα 6.1 φαίνεται ένα συνθετικό τμήμα πλαισίου αμαξώματος από ίνες άνθρακα.



Σχήμα 6.1: Συνθετικό τμήμα πλαισίου αμαξώματος από ίνες άνθρακα, τύπου μοποσοque

6.3 Κατασκευή κεντρικού μέρους συνθετικού monopocoque πλαισίου

Η κατασκευή πλαισίου αυτοκινήτου από ανθρακονήματα αποτελεί μια σύνθετη και εξειδικευμένη διαδικασία. Πρώτο βήμα αποτελεί ο σχεδιασμός. Οι μηχανικοί και οι σχεδιαστές με τη βοήθεια εξειδικευμένου λογισμικού σχεδιάζουν τον σκελετό του αυτοκινήτου, λαμβάνοντας υπόψη τη δομή, την αντοχή και το τελικό βάρος που αυτό θα κατέχει. Αφού ολοκληρωθεί ο λεπτομερής σχεδιασμός, θα πρέπει να κατασκευαστούν τα καλούπια, μέσα στα οποία θα τοποθετηθούν οι ίνες άνθρακα. Στη συνέχεια, τα ανθρακονήματα κόβονται σε συγκεκριμένα μήκη και σχήματα, ανάλογα με τον σχεδιασμό του πλαισίου, και τοποθετούνται με προσοχή εντός του καλουπιού. Στα κρίσιμα σημεία του πλαισίου, εκείνα όπου αναπτύσσονται μεγάλες δυνάμεις, και τα οποία, ως εκ τούτου, απαιτούν μεγαλύτερες αντοχές, τοποθετούνται επιπλέον στρώσεις ανθρακονημάτων, ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Έπειτα, οι ίνες εμποτίζονται με ρητίνη. Κρίνεται απαραίτητη η ομοιογενής κατανομή της ρητίνης, διαδικασία που θα εξασφαλίσει καλύτερες μηχανικές ιδιότητες.

Σε δεύτερο στάδιο, το καλούπι με τα ανθρακονήματα τοποθετείται σε έναν αυτόκλειστο φούρνο υψηλής θερμοκρασίας. Κατά τη διάρκεια της θέρμανσης, οι ίνες ενώνονται μεταξύ τους και ενσωματώνονται με ρητίνη. Ταυτόχρονα, εφαρμόζεται πίεση για να βελτιώσει την πυκνότητα και την ακρίβεια του πλαισίου. Με το πέρας της διαδικασίας της θέρμανσης υπό πίεση, το πλαίσιο αφαιρείται από το καλούπι. Είναι ένα εξαιρετικά σημαντικό βήμα, καθώς είναι απαραίτητο να εξασφαλιστεί η ολοκληρωτική αποκόλληση του πλαισίου χωρίς να υποστεί τη παραμικρή ζημιά.

Το τελευταίο στάδιο κατασκευής περιέχει μια σειρά από τελικές διαδικασίες επεξεργασίας, συμπεριλαμβανομένης της κοπής, της διάνοιξης οπών και της λείανσης, σε σημεία όπου απαιτείται. Μετά την κατασκευή, το πλαίσιο υπόκειται σε αυστηρούς ελέγχους ποιότητας, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι πληροί τις απαιτούμενες προδιαγραφές ασφαλείας και αντοχής. Αξιοσημείωτο είναι πως η κατασκευή πλαισίων από ανθρακονήματα απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό, τεχνογνωσία και δεξιότητες, καθώς και αυστηρή τήρηση των προδιαγραφών και των διαδικασιών, ώστε να εξασφαλιστεί η απόδοση και η ασφάλεια του αυτοκινήτου [38].

6.4 Εμπρόσθιο και οπίσθιο μέρος ατσάλινου πλαισίου, τύπου subframe

Το ατσάλινο subframe στην κατασκευή αυτοκινήτων είναι ένας δομικός σκελετός ή πλαίσιο, που στηρίζει και συγκρατεί τα σημαντικά μέρη του αμαξώματος και της ανάρτησης του αυτοκινήτου. Συνήθως κατασκευάζεται από ατσάλι λόγω της αντοχής και της ακαμψίας που παρέχει το συγκεκριμένο υλικό. Ο υποσκελετός αυτός αποτελεί μια αυτόνομη δομή, η οποία συνδέεται με το κυρίως πλαίσιο τύπου monopocoque του αυτοκινήτου και παρέχει στήριξη για τα κινητήρια μέρη, την ανάρτηση, τη διάταξη των τροχών, το σύστημα εξάτμισης και άλλα κρίσιμα συστήματα του οχήματος. Το ατσάλινο subframe συμβάλλει στην αντοχή, τη σταθερότητα και την ακαμψία του αυτοκινήτου. Επίσης, λειτουργεί ως σημείο συγκέντρωσης και μετάδοσης των φορτίων και των δυνάμεων που παράγονται από την κίνηση του αυτοκινήτου και τις κρούσεις κατά την οδήγηση.

Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων επιλέγουν τη χρήση ατσάλινων subframes για την αξιοπιστία, την αντοχή και την ασφάλεια που προσφέρουν. Τα ατσάλινα subframes δύνανται να παρέχουν σταθερότητα και ακαμψία στο σύστημα

ανάρτησης του αυτοκινήτου, βελτιώνοντας με αυτόν τον τρόπο την οδηγική απόδοση και την αίσθηση ελέγχου. Επιπλέον, είναι ευέλικτα στον σχεδιασμό και μπορούν να προσαρμοστούν, ώστε να ταιριάζουν σε διάφορες αρχιτεκτονικές και διαστάσεις αυτοκινήτων. Με τη χρήση προηγμένων τεχνολογιών και την εφαρμογή σωστών τεχνικών κατασκευής, τα ατσάλινα subframes έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν καλή αντοχή στη διάβρωση και τη σκουριά.

Η χρήση ατσάλινων subframes επιτρέπει την ευκολότερη αντικατάσταση ή επισκευή σε περίπτωση ζημιάς, σε σύγκριση με άλλα υλικά, που ενδεχομένως χρησιμοποιούνται σε αντίστοιχες δομές. Ειδικότερα, σε περιπτώσεις σύγκρουσης, απορροφούν τις δυνάμεις που αναπτύσσονται, αφού παραμορφώνονται ελαστικά. Παράλληλα, το κύριο μέρος του πλαισίου, όπου βρίσκονται και οι επιβάτες, τις περισσότερες φορές παραμένει άθικτο, εξασφαλίζοντας κατά αυτόν τον τρόπο έναν μεγαλύτερο δείκτη ασφαλείας του οχήματος. Ο στόχος της διευκόλυνσης της διαδικασίας επισκευής επιτυγχάνεται, καθώς τα μέρη που αποτελούν τα subframes είναι εύκολα αποσπώμενα από το κυρίως τμήμα του πλαισίου του οχήματος και ελαφρώς πιο οικονομικά σε σύγκριση με αυτό [39].

Τα ατσάλινα subframes αποτελούν σημαντικό στοιχείο στην κατασκευή αυτοκινήτων, προσφέροντας τα εξής οφέλη:

- **Αυξημένη ακαμψία και αντοχή:** Το ατσάλι είναι ένα υλικό με υψηλή αντοχή και ακαμψία. Η χρήση ατσάλινων subframes είναι δυνατό να ενισχύσει τη δομική ακαμψία του αυτοκινήτου, βελτιώνοντας τη σταθερότητα και την ακρίβεια της οδήγησης.
- **Απορρόφηση κραδασμών:** Το ατσάλι έχει καλές ιδιότητες απορρόφησης κραδασμών και μπορεί να βοηθήσει στη μείωση αυτών και των δονήσεων που μεταφέρονται από το οδόστρωμα προς τον χώρο των επιβατών.
- **Ασφάλεια:** Το ατσάλι είναι ένα υλικό με υψηλή αντοχή στις κρούσεις και δύναται να παρέχει προστασία στους επιβάτες του αυτοκινήτου σε περίπτωση ατυχήματος ή σύγκρουσης.
- **Αντοχή στις συνθήκες περιβάλλοντος:** Αποτελεί ένα ανθεκτικό υλικό σε δυσμενείς συνθήκες περιβάλλοντος, όπως η οξειδωση, η υγρασία και τα χημικά.

Ωστόσο, τα ατσάλινα subframes παρουσιάζουν και κάποια αρνητικά χαρακτηριστικά. Ορισμένα από αυτά είναι:

- **Το βάρος:** Οι ατσάλινες κατασκευές είναι συνήθως πιο βαριές από άλλα υλικά, όπως το αλουμίνιο. Αυτό μπορεί να αυξήσει το συνολικό βάρος του αυτοκινήτου και να επηρεάσει την κατανάλωση καυσίμου και την ευελιξία του.
- **Αντοχή στη διάβρωση:** Αν και τα ατσάλινα subframes είναι γενικά ανθεκτικά, ενδέχεται να υποστούν διάβρωση και σκουριά με την πάροδο του χρόνου. Η σκουριά μπορεί να επηρεάσει την εμφάνιση και την αντοχή της υποστήριξης του κινητήρα.
- **Απόδοση σε ατυχήματα:** Τα ατσάλινα υποπλαίσια πιθανόν να είναι λιγότερο ελαστικά από άλλα υλικά, όπως αυτά που είναι κατασκευασμένα από αλουμίνιο. Αυτό σημαίνει ότι σε μια σύγκρουση, μπορεί να υποστούν μεγαλύτερες ζημιές και να καταστεί δυσκολότερη η απορρόφηση της ενέργειας της σύγκρουσης, με αποτέλεσμα να επηρεαστεί η ασφάλεια των επιβατών.

Σε κάθε περίπτωση, τα πλεονεκτήματα των ατσάλινων υποπλαισίων των αυτοκινήτων υπερσχύουν των μειονεκτημάτων, γεγονός που δικαιολογεί και την ευρεία χρήση τους σε αυτόν τον κλάδο της βιομηχανίας [40]. Το σχήμα 6.2 συμβάλλει στην κατανόηση του συγκεκριμένου μέρους του συστήματος ενός αυτοκινήτου.



Σχήμα 6.2: Εμπρόσθιο μέρος ασάλινου πλαισίου, τύπου subframe

6.5 Υβριδικό πλαίσιο αυτοκινήτου

Μια λιγότερο δαπανηρή λύση, για ένα πλήρες τύπου monocoque σασί στην αυτοκινητοβιομηχανία, είναι ένα υβριδικό πλαίσιο, που αποτελείται από ένα κεντρικό μέρος monocoque, ενώ για το εμπρόσθιο και το οπίσθιο μέρος του αμαξώματος υπάρχει ένα ασάλινο πλαίσιο τύπου spaceframe ή subframe. Σε αυτήν την περίπτωση ο οδηγός εξακολουθεί να προστατεύεται πλήρως από τη monocoque δομή, με το συγκρότημα του κινητήρα να τοποθετείται μέσω του υποπλαισίου. Αυτός ο συγκεκριμένος σχεδιασμός πλαισίου είναι πιο δημοφιλής στα οχήματα εσωτερικής καύσης, όπου η προσβασιμότητα στον κινητήρα αποτελεί υψηλή προτεραιότητα και είναι πολύ πιο εύκολο να επιτευχθεί από ό,τι σε μια συμβατική κατασκευή [41]. Ένα τέτοιου είδους υβριδικό πλαίσιο αυτοκινήτου παρουσιάζεται στο σχήμα 6.3.



Σχήμα 6.3: Υβριδικό σασί αυτοκινήτου Lamborghini Aventador LP 700-4

6.6 Ο σχεδιασμός του κεντρικού μέρους, συνθετικού monocoque πλαισίου του αυτοκινήτου Mercedes SL 300

Το κεντρικό μέρος του πλαισίου του αυτοκινήτου, γνωστό και ως monocoque, σχεδιάστηκε με τη βοήθεια του προγράμματος Solid Works 2020. Με τα αποτελέσματα της στατικής και δυναμικής ανάλυσης να αναδεικνύουν την ανάγκη ενίσχυσης του πλαισίου για τη βελτίωση της σταθερότητας και της ασφάλειας, η εστίαση προσοχής στο σχεδιασμό του νέου πλαισίου, ιδίως στα πλαϊνά του οχήματος, διευκολύνθηκε και πραγματοποιήθηκε επιτυχώς. Χρησιμοποιώντας ίνες άνθρακα, η ενίσχυση αυτή αντιστοιχεί στον ιδανικό συνδυασμό αντοχής και μικρού βάρους. Αυτή η επιλογή δημιουργεί μια δομή η οποία προσφέρει τόσο περισσότερη αντοχή όσο και ασφάλεια, ενισχύοντας το πλαίσιο στα εντοπισμένα, αδύναμα σημεία του τέταρτου κεφαλαίου.

Οι βιομηχανίες κατασκευής αγωνιστικών σπορ αυτοκινήτων επιλέγουν τις ίνες άνθρακα λόγω των πολλαπλών πλεονεκτημάτων που παρέχουν, προκειμένου να δημιουργήσουν πλαίσια αυτοκινήτων. Καταρχάς, οι ίνες άνθρακα είναι εξαιρετικά ανθεκτικές και ελαφριές, προσφέροντας υψηλή αντοχή στην τάση και την καταπόνηση, ενώ ταυτόχρονα μειώνουν το βάρος του οχήματος. Αυτό οδηγεί σε βελτιωμένη απόδοση καυσίμου και ευελιξία κίνησης, μειώνοντας την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές CO₂. Παρέχουν υψηλή ακαμψία, η οποία συμβάλλει στη διατήρηση της ακεραιότητας του πλαισίου ακόμη και σε περιπτώσεις ατυχημάτων. Αυτό συνεπάγεται βελτιωμένη προστασία των επιβατών και μειωμένο κίνδυνο τραυματισμού. Επιπλέον, η χρήση τους επιτρέπει στους σχεδιαστές να δημιουργήσουν πιο πολύπλοκες γεωμετρίες στα πλαίσια των αυτοκινήτων, προσφέροντας μεγαλύτερη ευελιξία στον σχεδιασμό και βελτιωμένη αεροδυναμική απόδοση. Τέλος, η χρήση ινών άνθρακα συμβάλλει στη μείωση της κατανάλωσης πρώτων υλών, καθώς αυτές παράγονται με χρήση ενέργειας που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, όπως οι πολυμερείς ίνες. Συμπερασματικά, οι ίνες άνθρακα αποτελούν, αν όχι τη βέλτιστη, μία από τις καλύτερες επιλογές για την κατασκευή πλαισίων/σασί αυτοκινήτων, καθώς προσφέρουν αυξημένη απόδοση, ασφάλεια και βιωσιμότητα.



Σχήμα 6.4: Το νέο συνθετικό κεντρικό μέρος του πλαισίου του αυτοκινήτου, τύπου monocoque (πρώτη όψη)



Σχήμα 6.5: Το νέο συνθετικό κεντρικό μέρος του πλαισίου του αυτοκινήτου, τύπου monocoque (δεύτερη όψη)

6.7 Βελτίωση Τοπολογίας

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή αυτοκινήτων είναι δύο πολύπλοκες διαδικασίες που περιλαμβάνουν πολλά ζητήματα, συμπεριλαμβανομένου του εξωτερικού και εσωτερικού σχεδιασμού, της επιλογής υλικών και της δομικής μελέτης. Τα τελευταία χρόνια, μια επαναστατική τεχνική που ονομάζεται «βελτίωση τοπολογίας» [42] έχει αποκτήσει εξέχουσα θέση στην αυτοκινητοβιομηχανία, δίνοντας τη δυνατότητα στους μηχανικούς να βελτιστοποιούν την αποδοτικότητα των εξαρτημάτων του οχήματος προς κατασκευή. Χρησιμοποιώντας προηγμένους αλγόριθμους και προσομοιώσεις με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή, η βελτίωση τοπολογίας έχει τη δυνατότητα να αναδιαμορφώσει την κατασκευή αυτοκινήτων, παρέχοντας ελαφρύτερα, ισχυρότερα και πιο οικονομικά οχήματα.

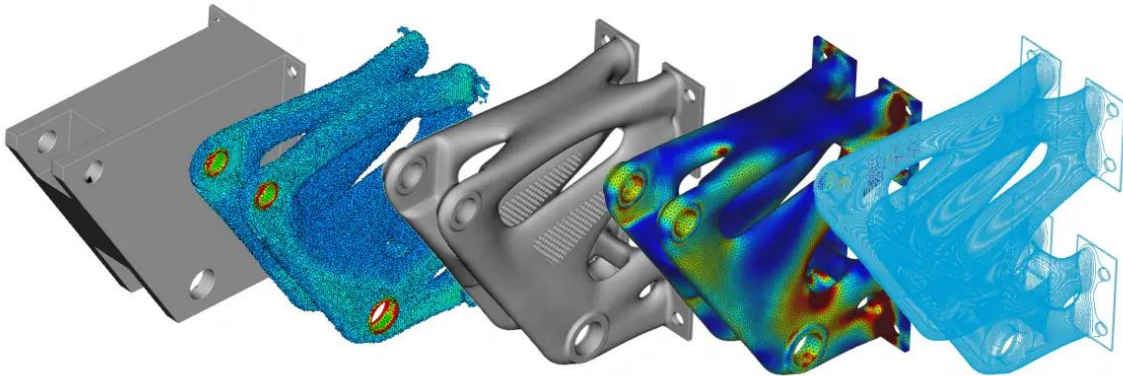
Η βελτίωση τοπολογίας (topology optimization) είναι μια μέθοδος βελτίωσης σχήματος που χρησιμοποιεί αλγοριθμικά μοντέλα για τη βελτιστοποίηση της διάταξης του υλικού εντός ενός χώρου που ορίζεται από τον χρήστη για ένα δεδομένο σύνολο φορτίων, συνθηκών και περιορισμών. Μεγιστοποιεί την απόδοση και την αποδοτικότητα του σχεδιασμού αφαιρώντας περιττό υλικό από περιοχές που δε χρειάζεται να μεταφέρουν σημαντικά φορτία για τη μείωση του βάρους ή την επίλυση προκλήσεων σχεδιασμού, όπως η μείωση του συντονισμού ή της θερμικής καταπόνησης.

Τα σχέδια που παράγονται με βελτίωση τοπολογίας συχνά περιλαμβάνουν ελεύθερες μορφές και περίπλοκα σχήματα που είναι εξαιρετικά δύσκολο, ή ακόμα και αδύνατο να κατασκευαστούν με παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής. Ωστόσο, τα σχέδια ταιριάζουν απόλυτα με διαδικασίες παραγωγής γενετικού σχεδιασμού που έχουν πιο επιεικείς κανόνες και μπορούν εύκολα να αναπαράγουν πολύπλοκα σχήματα χωρίς πρόσθετο κόστος.

Η βελτίωση τοπολογίας λαμβάνει χώρα κυρίως προς το τέλος της διαδικασίας σχεδιασμού, όταν το επιθυμητό μέρος πρέπει να έχει μικρότερο βάρος ή να απαιτεί λιγότερο υλικό για την κατασκευή του. Στη συνέχεια, ο σχεδιαστής

εργάζεται για να ανακαλύψει ορισμένες προκαθορισμένες παραμέτρους, όπως τα εφαρμοσμένα φορτία, τον τύπο υλικού, τους περιορισμούς και τη διάταξη. Η μέθοδος καθορίζει πρώτα τον ελάχιστο επιτρεπόμενο χώρο σχεδιασμού, που είναι απαραίτητος για τη βελτίωση του σχήματος του προϊόντος. Στη συνέχεια, ουσιαστικά, το λογισμικό βελτίωσης τοπολογίας ασκεί πίεση στο σχέδιο από διαφορετικές γωνίες, δοκιμάζει τη δομική του ακεραιότητα και εντοπίζει περιττό υλικό.

Η πιο κοινή και πρακτική τεχνική για τη βελτίωση τοπολογίας είναι η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method). Αρχικά, λαμβάνει υπόψη τη γεωμετρική σχεδίαση για τον ελάχιστο επιτρεπόμενο χώρο, σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες, και χωρίζει το σχέδιο σε μέρη. Στη συνέχεια, δοκιμάζει κάθε πεπερασμένο στοιχείο για ακαμψία, συμμόρφωση και περιττό υλικό. Τέλος, συνδέει τα εξαρτήματα ξανά μεταξύ τους προκειμένου να οριστικοποιήσει το πλήρες σχέδιο. Η επικύρωση του σχεδιασμού περιλαμβάνει τον καθορισμό ενός ορίου για το πεδίο πυκνότητας στοιχείου με τις τιμές 0 και 1. Η τιμή 0 σε μια περιοχή της δομής δηλώνει απουσία υλικού, ενώ η τιμή 1 ορίζει την καθορισμένη περιοχή ως στερεό υλικό. Ο σχεδιαστής μπορεί, στη συνέχεια, να αφαιρέσει όλο το περιττό υλικό από το μοντέλο και να ολοκληρώσει τη βελτίωση τοπολογίας του σχεδίου [42]. Τα στάδια της μεθόδου γίνονται ευκολά κατανοητά με τη βοήθεια του σχήματος 6.6. Στο σχήμα παρουσιάζεται η διαδικασία βελτίωσης τοπολογίας σε ένα αντικείμενο, ο εντοπισμός δηλαδή της βέλτιστης δομής ή διαμόρφωσης του για να πληροί συγκεκριμένες λειτουργικές απαιτήσεις. Αυτό απαιτεί τη χρήση υπολογιστικών αλγορίθμων και μοντελοποίησης για να εξεταστούν διάφορες πιθανές τοπολογίες. Η εύρεση της αποδοτικότερης ή βέλτιστης δομής, λαμβάνοντας υπόψη περιορισμούς όπως κόστος, υλικά και απόδοση, θα σημάνει το πέρας της τεχνικής.



Σχήμα 6.6: Η διαδικασία βελτίωσης τοπολογίας

Στην αυτοκινητοβιομηχανία η βελτίωση τοπολογίας λαμβάνει συνεχώς σημαντικότερο ρόλο, καθώς παρουσιάζει πληθώρα σχεδιαστικών πλεονεκτημάτων [43]. Τα βασικότερα από αυτά είναι:

- Μικρό βάρος: Ένας από τους πρωταρχικούς στόχους στην κατασκευή αυτοκινήτων είναι η μείωση του βάρους των οχημάτων χωρίς συμβιβασμούς στην ασφάλεια ή στην απόδοση. Η βελτίωση τοπολογίας διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην επίτευξη αυτού του στόχου, με τον εντοπισμό περιοχών μέσα σε ένα εξάρτημα που έχει τη

δυνατότητα να ενισχυθεί δομικά, ενώ εξαλείφεται το περιττό υλικό. Αφαιρώντας το περίσσιο υλικό, οι μηχανικοί μπορούν να δημιουργήσουν ελαφρύτερα εξαρτήματα οχημάτων, με αποτέλεσμα βελτιωμένη απόδοση καυσίμου και μειωμένες εκπομπές ρύπων.

- **Δομική βελτίωση:** Η βελτίωση τοπολογίας επιτρέπει στους μηχανικούς να σχεδιάζουν εξαρτήματα με βέλτιστη δομική ακεραιότητα. Αναλύοντας την κατανομή της τάσης και της καταπόνησης σε ένα εξάρτημα, οι μηχανικοί μπορούν να εντοπίσουν περιοχές που δε χρησιμοποιούνται ή είναι επιρρεπείς σε αστοχία. Ακολουθώντας, ο αλγόριθμος προτείνει τροποποιήσεις, όπως η αναδιανομή υλικού ή η εισαγωγή ενισχυτικών στοιχείων, για να ενισχυθεί η αντοχή και η ανθεκτικότητα του εξαρτήματος. Αυτή η διαδικασία βελτίωσης διασφαλίζει ότι τα εξαρτήματα αυτοκινήτων είναι δυνατό να αντέξουν τις απαιτήσεις της καθημερινής χρήσης, διατηρώντας, παράλληλα, τα υψηλότερα πρότυπα ασφαλείας.
- **Βελτίωση απόδοσης:** Η μέθοδος συμβάλλει περαιτέρω στη βελτίωση της συνολικής απόδοσης των οχημάτων. Προσαρμόζοντας με ακρίβεια τη σχεδίαση κρίσιμων εξαρτημάτων, όπως βάσεις κινητήρα, συστήματα ανάρτησης ή δομές πλαισίου, οι μηχανικοί μπορούν να βελτιώσουν τη λειτουργικότητά τους και να μειώσουν τους κραδασμούς, τον θόρυβο και την απώλεια ενέργειας. Επιπλέον, βελτιώνοντας την αεροδυναμική απόδοση των αμαξωμάτων των οχημάτων μέσω της βελτίωσης της τοπολογίας, τα αυτοκίνητα είναι δυνατό να επιτύχουν μειωμένη αντίσταση του αέρα και, συνεπώς, περισσότερη οικονομία καυσίμου.
- **Σχεδιαστική καινοτομία:** Η βελτίωση τοπολογίας δίνει τη δυνατότητα στους σχεδιαστές και τους μηχανικούς να σκεφτούν πέρα από τους παραδοσιακούς περιορισμούς κατασκευής και να εξερευνήσουν νέες δυνατότητες. Ενθαρρύνει τη δημιουργία πολύπλοκων διατάξεων, που προηγουμένως ήταν δύσκολο να κατασκευαστούν. Αυτή η ελευθερία στον τρόπο κατασκευής επιτρέπει την ανάπτυξη καινοτόμων σχεδίων οχημάτων, που συνδυάζουν την αισθητική με τη βέλτιστη απόδοση, και φέρει ως αποτέλεσμα οπτικώς ελκυστικά και εξαιρετικά λειτουργικά αυτοκίνητα και υποσυστήματα αυτών.

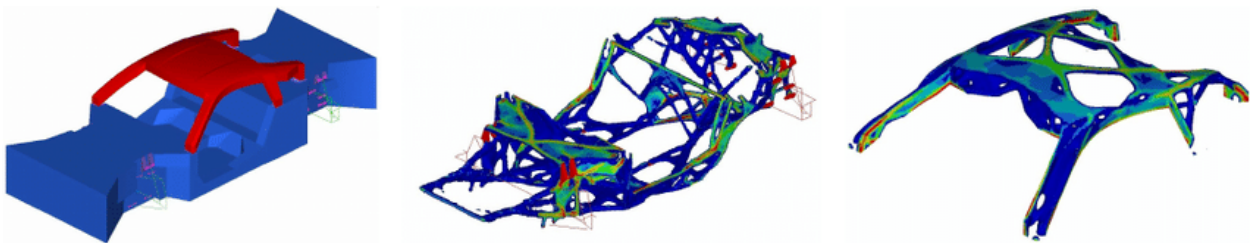
Ενώ η βελτίωση τοπολογίας υπόσχεται πολλά στην αυτοκινητοβιομηχανία, κρίνεται απαραίτητο να αντιμετωπιστούν αρκετές προκλήσεις που γεννά η σχετικά νέα αυτή μέθοδος σχεδιασμού. Αυτές περιλαμβάνουν την πολυπλοκότητα της ενσωμάτωσης αλγόριθμων βελτίωσης σε υπάρχοντα λογισμικά σχεδιασμού, την ανάγκη για μοντέλα μεγαλύτερης ακρίβειας και την εκτενή εξέταση των περιορισμών κατασκευής [44]. Συγκεκριμένα, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη οι εξής παράγοντες:

- **Η υπολογιστική πολυπλοκότητα:** Η βελτίωση τοπολογίας απαιτεί υψηλή υπολογιστική ισχύ και προηγμένες τεχνικές προσομοίωσης. Οι πολύπλοκοι αλγόριθμοι και οι χρονοβόρες υπολογιστικές διαδικασίες ενδέχεται να απαιτούν σημαντικό χρόνο, προκειμένου να ολοκληρωθούν, περιορίζοντας την εφαρμογή της τεχνικής σε μεγάλη κλίμακα παραγωγής.
- **Η ακρίβεια των υλικών:** Η επιτυχία της βελτίωσης τοπολογίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ακρίβεια των υλικών των μοντέλων που χρησιμοποιούνται στις προσομοιώσεις. Τα ακριβή χαρακτηριστικά των υλικών, όπως η μηχανική αντοχή και η ακαμψία, είναι απαραίτητα για ορθά αποτελέσματα. Ωστόσο, η απόκτηση των

απαιτούμενων δεδομένων των υλικών υπάρχει η πιθανότητα να δημιουργεί προκλήσεις αλλά και να είναι δαπανηρή.

- Οι κατασκευαστικοί περιορισμοί: Οι προκαθορισμένες διαδικασίες παραγωγής, όπως οι περιορισμοί χρήσης υλικών ή οι διαδικασίες κατεργασίας, ενδέχεται να μη λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό. Το αποτέλεσμα ενδέχεται να είναι σχέδια δυσκολότερα ή ακατάλληλα για πραγματική παραγωγή σε επόμενα στάδια.
- Η επικοινωνία και η σχεδιαστική αντίληψη: Η μέθοδος μπορεί να προκαλέσει προκλήσεις στην επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων εμπλεκόμενων κατασκευαστικών τμημάτων, όπως μηχανικοί, σχεδιαστές και παραγωγοί. Η αποδοχή και η κατανόηση των αποτελεσμάτων της βελτίωσης, καθώς και η συμβατότητα με τους περιορισμούς της παραγωγής, είναι δυνατό να απαιτήσει επιπλέον προσπάθειες στην επικοινωνία και την αντίληψη των διαφόρων εμπλεκόμενων μερών.

Συμπερασματικά, η βελτίωση τοπολογίας προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα στην κατασκευή αυτοκινήτων (σχήμα 6.7). Ωστόσο, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι προκλήσεις και οι περιορισμοί που συνοδεύουν αυτή την τεχνική. Οι εξελίξεις στην υπολογιστική ισχύ, στις τεχνικές προσομοίωσης και στην επιστήμη των υλικών θα συνεχίσουν να οδηγούν στην υιοθέτηση της βελτίωσης τοπολογίας κατά την κατασκευή αυτοκινήτων. Καθώς οι μηχανικοί αποκτούν περισσότερη εμπειρία και εξειδίκευση στον συγκεκριμένο τομέα, αναμένονται καινοτομίες στην απόδοση των οχημάτων, στην εξοικονόμηση καυσίμου και στη βιωσιμότητα.



Σχήμα 6.7: Παράδειγμα βελτιστοποίησης τοπολογίας σε συμβατικό πλαίσιο αυτοκινήτου

6.8 Προσθετική κατασκευή, τρισδιάστατη εκτύπωση

Μία από τις στοιχειώδεις προκλήσεις, που παρουσιάζει η μέθοδος βελτίωσης της τοπολογίας ενός εξαρτήματος στην αυτοκινητοβιομηχανία, είναι οι κατασκευαστικοί περιορισμοί. Η πολυσύνθετη φύση των βελτιστοποιημένων εξαρτημάτων καθιστά εξαιρετικά δύσκολη και συχνά αδύνατη την παραγωγή αυτών με τη χρήση συμβατικών μεθόδων παραγωγής. Η λύση στο παραπάνω πρόβλημα βρίσκεται σε μια σχετικά νέα μέθοδο παραγωγής, την προσθετική κατασκευή.

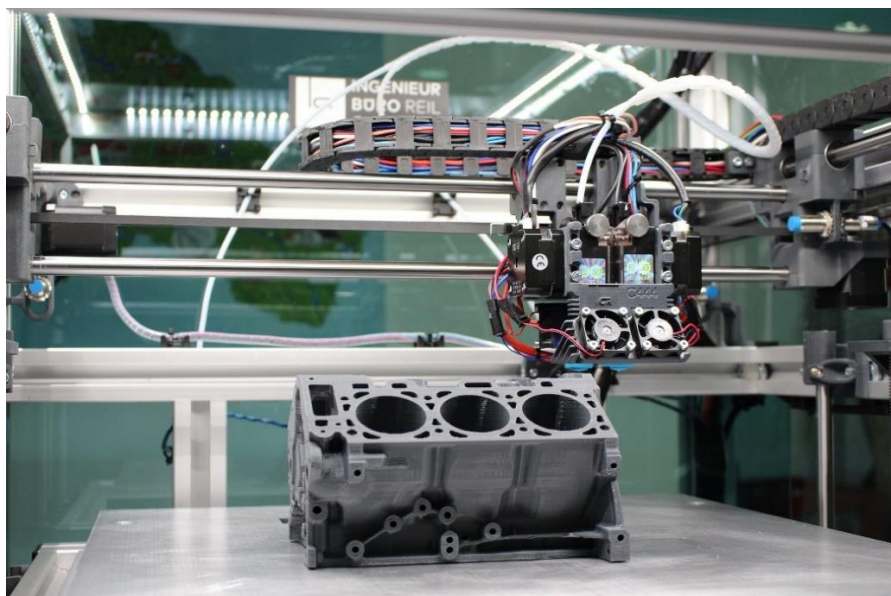
Η τρισδιάστατη εκτύπωση αποτελεί μία μέθοδο προσθετικής κατασκευής μέσω της οποίας κατασκευάζονται αντικείμενα με τη διαδοχική πρόσθεση επάλληλων στρώσεων υλικού. Στην τρισδιάστατη εκτύπωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι υλικού και κυρίως κεραμικά και πολυμερή. Σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες και

εξοπλισμό προσθετικής κατασκευής, οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές είναι συνήθως ταχύτεροι, φθηνότεροι και ευκολότεροι στη χρήση. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο υποστηρίζεται πως στα επόμενα χρόνια η παγκόσμια παραγωγή αγαθών θα στραφεί προς αυτή την κατεύθυνση, αντικαθιστώντας σταδιακά τις παραδοσιακές τεχνικές. Δεν είναι λίγοι αυτοί που πιστεύουν ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση θα αποτελέσει μία «νέα βιομηχανική επανάσταση», καθώς θα φέρει αποκέντρωση των παραγωγικών διαδικασιών, ανοίγοντας τον δρόμο για τοπική και μικρής κλίμακας παραγωγή, προσαρμοσμένη στις τρέχουσες ανάγκες [45],[46].

Η προσθετική κατασκευή με τη διαδικασία της τρισδιάστατης εκτύπωσης άρχισε τα τελευταία χρόνια να εφαρμόζεται και στην αυτοκινητοβιομηχανία (σχήμα 6.8), προσφέροντας πληθώρα πλεονεκτημάτων. Η εφαρμογή της μεθόδου της προσθετικής κατασκευής αξιοποιείται στην αυτοκινητοβιομηχανία ως εξής:

- I. Δημιουργία πρωτοτύπων και μοντέλων: Η προσθετική κατασκευή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ταχεία παραγωγή πρωτοτύπων και μοντέλων αυτοκινήτων. Αυτό επιτρέπει στους σχεδιαστές και τους μηχανικούς να αξιολογήσουν την εμφάνιση και τη λειτουργικότητα ενός νέου σχεδίου πριν προχωρήσουν στην παραγωγή.
- II. Παραγωγή ανταλλακτικών: Η προσθετική κατασκευή είναι δυνατό να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ανταλλακτικών αυτοκινήτων, μέθοδος ιδιαίτερα χρήσιμη όταν ένα ανταλλακτικό είναι δύσκολο ή ακριβό να παραχθεί με τις παραδοσιακές μεθόδους. Παράλληλα, ο χρόνος παραγωγής του ανταλλακτικού μπορεί να ελαττωθεί σημαντικά, ενώ ορισμένες φορές δίνεται η δυνατότητα παραγωγής ανταλλακτικών αυτοκινήτων από μοντέλα των οποίων η παραγωγή έχει σταματήσει.
- III. Σχεδιασμός και παραγωγή ελαφρύτερων και πιο αποδοτικών αυτοκινήτων: Η προσθετική κατασκευή επιτρέπει την παραγωγή πολύπλοκων γεωμετριών με ελαφρύτερα υλικά, η οποία παραγωγή μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη απόδοση του αυτοκινήτου, μείωση του καταναλωτή καυσίμου και μείωση των εκπομπών CO₂.
- IV. Δυνατότητα δημιουργίας εξατομικευμένων αυτοκινήτων: Με την προσθετική κατασκευή, είναι δυνατή η παραγωγή εξατομικευμένων αυτοκινήτων που προσαρμόζονται στις ανάγκες και τις προτιμήσεις των πελατών. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει προσαρμογές στη γεωμετρία, τον εσωτερικό σχεδιασμό, τα χρώματα και άλλες λεπτομέρειες.

Συμπερασματικά, η προσθετική κατασκευή στην αυτοκινητοβιομηχανία εξελίσσεται συνεχώς και αποτελεί έναν ενδιαφέροντα τομέα μελέτης και εφαρμογής για τη βελτίωση της παραγωγής αυτοκινήτων. Σε συνδυασμό με τη βελτίωση τοπολογίας, γεννά σχεδιαστικές λύσεις, οι οποίες στο παρελθόν φάνταζαν ουτοπικές.



Σχήμα 6.8: Παράδειγμα τρισδιάστατης εκτύπωσης σε βιομηχανική κλίμακα

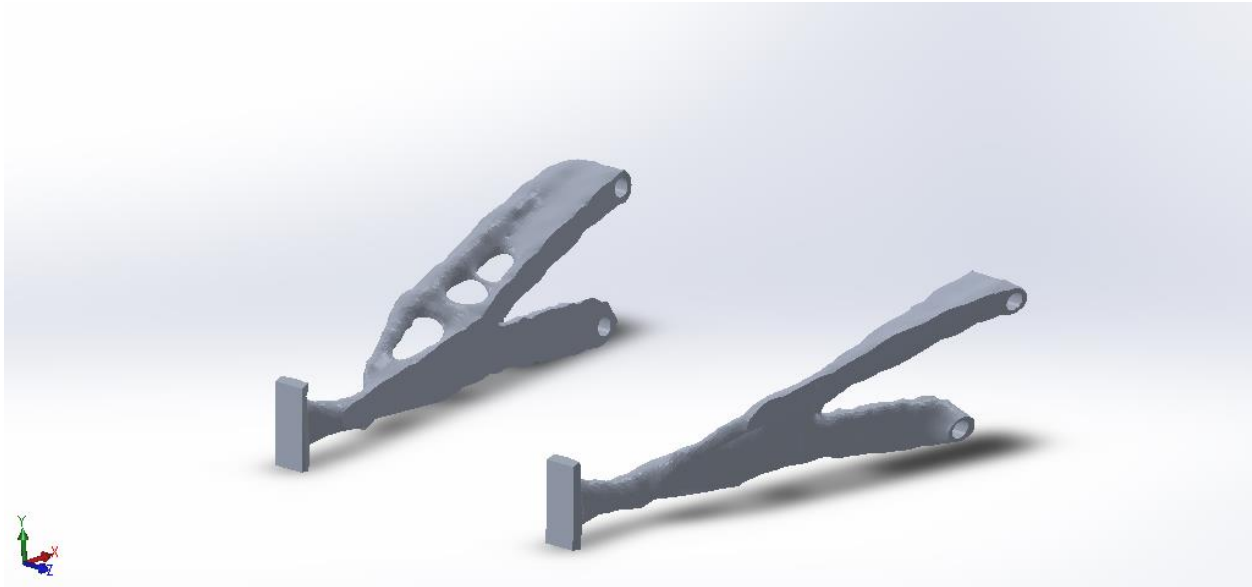
6.9 Ο σχεδιασμός του εμπρός και του οπίσθιου μέρους του πλαισίου, τύπου subframe, του αυτοκινήτου Mercedes SL 300 με τη χρήση της μεθόδου της βελτίωσης τοπολογίας

Για τη βελτίωση της τοπολογίας του πλαισίου του αυτοκινήτου, ακολουθήθηκε μία σειρά βημάτων. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο «Topology Study» στο SolidWorks2020 για τη δημιουργία μιας νέας μελέτης τοπολογίας. Στη συνέχεια, καθορίστηκαν τα κριτήρια βελτίωσης, με στόχο την ελαχιστοποίηση του βάρους του πλαισίου. Προσδιορίστηκαν, επίσης, περιοχές περιορισμού και φορτία που επηρεάζουν το μοντέλο, λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις αντοχής και απόδοσης. Τα βήματα μελέτης τοπολογίας (topology study) που πραγματοποιήθηκαν στο SolidWorks περιλαμβάνουν:

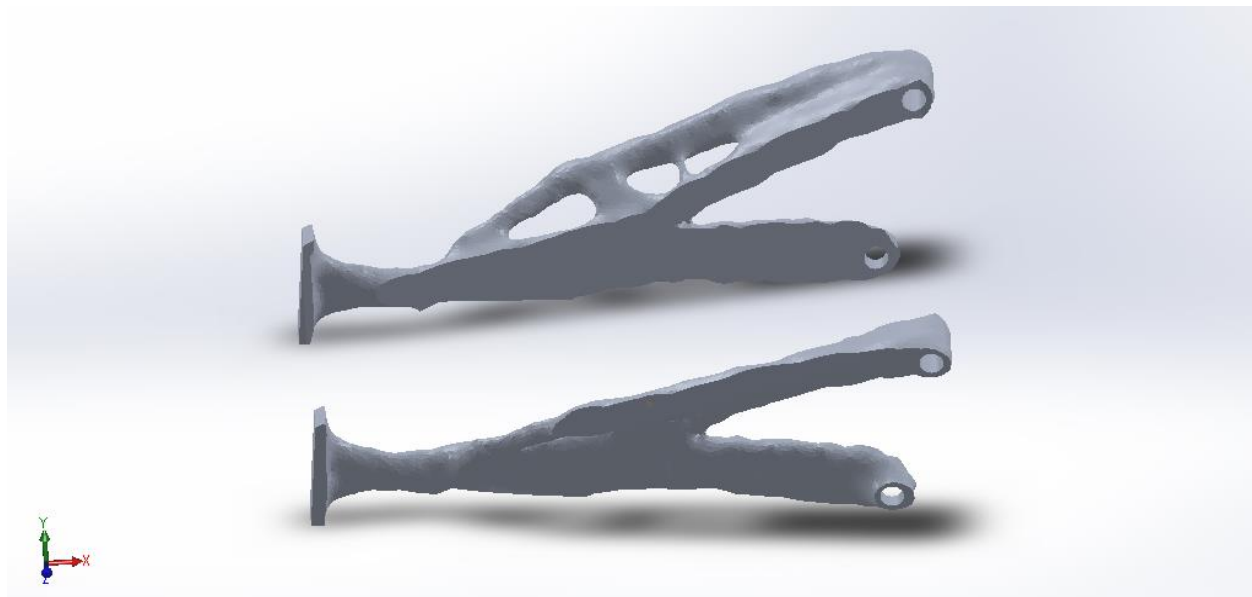
- I. Ορισμός της περιοχής ενδιαφέροντος (Region of Interest): Επιλογή της περιοχής του εξαρτήματος ή της δομής προς βελτίωση της τοπολογίας αυτής.
- II. Ρύθμιση περιορισμών (Constraints) και φορτίων (Loads): Καθορισμός των περιορισμών της δομής (όπως σημεία στήριξης) και τα φορτία που θα εφαρμοστούν. Η στατική ανάλυση βοηθά στον προσδιορισμό των απαιτούμενων σημείων στήριξης και των φορτίων που ασκούνται στο πλαίσιο (Τέταρτο κεφάλαιο).
- III. Ρύθμιση των παραμέτρων της μελέτης: Ορισμός των παραμέτρων της μελέτης, όπως το επίπεδο τελικής αντοχής και η ελαστική απόκριση. Η δυναμική ανάλυση είναι απαραίτητη στον καθορισμό των παραμέτρων της μελέτης, όπως του επιπέδου τελικής αντοχής και της ελαστικής απόκρισης, λαμβάνοντας υπόψη δυνάμεις που δρουν μεταβαλλόμενα στο χρόνο ή εξαιτίας δυναμικών φορτίων (Τέταρτο κεφάλαιο).
- IV. Εκτέλεση της μελέτης: Το λογισμικό εξετάζει αυτόματα την τοπολογία του εξαρτήματος ή συστήματος εξαρτημάτων με βάση τους περιορισμούς και τα φορτία που προκαθορίστηκαν.

- V. Ανάλυση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων: Αναλύονται τα αποτελέσματα που παράχθηκαν από την τοπολογική μελέτη με σκοπό να αξιολογηθεί η βελτιωμένη δομή και η τοπολογία του κάθε εξαρτήματος.

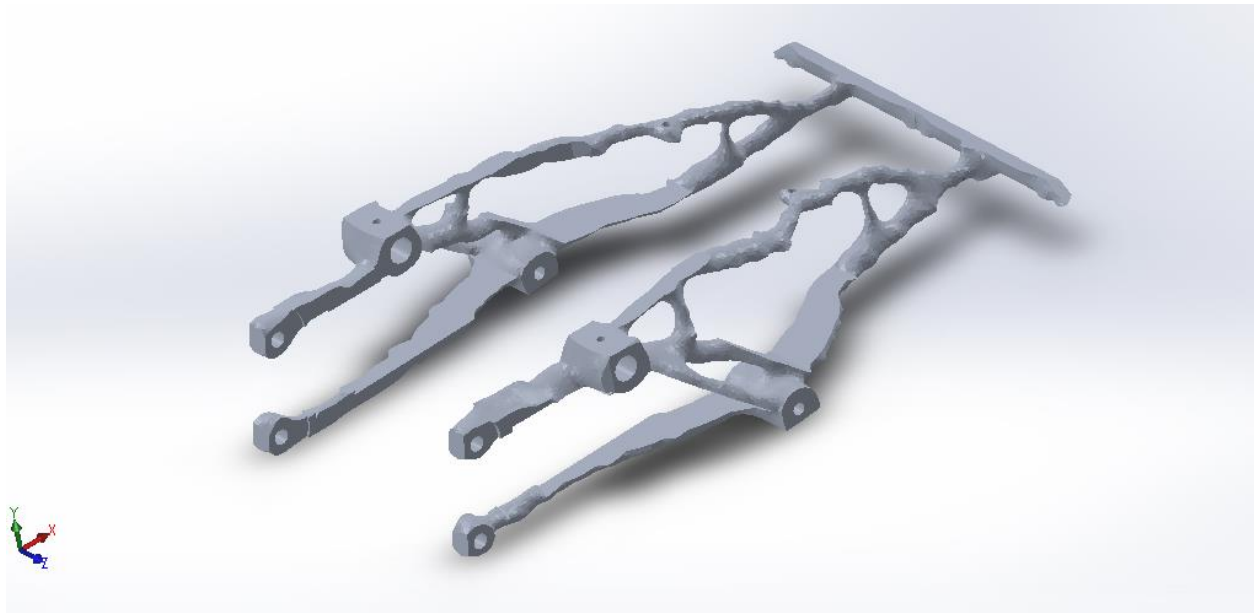
Μετά τον υπολογισμό της βελτιστοποίησης, το SolidWorks δημιούργησε αυτόματα ένα νέο μοντέλο με βελτιωμένη τοπολογία. Το αποτέλεσμα αξιολογήθηκε και εξετάστηκε για την κατανόηση της δομής και της συναρμολόγησής του. Η διαδικασία επαναλαμβανόταν έως ότου προκύψει ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα, το οποίο απεικονίζεται στα σχήματα 6.9, 6.10, 6.11 και 6.12.



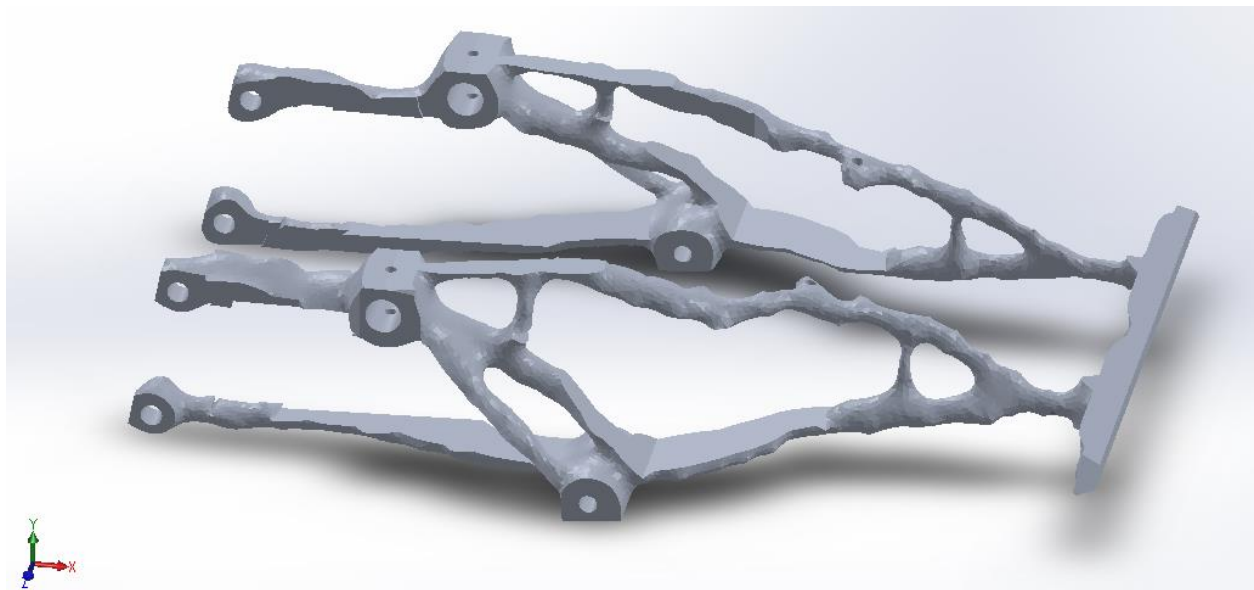
Σχήμα 6.9: Τα αποτελέσματα βελτίωσης τοπολογίας στον σχεδιασμό του εμπρόσθιου μέρους του πλαισίου, τύπου subframe (πρώτη όψη)



Σχήμα 6.10: Τα αποτελέσματα βελτίωσης τοπολογίας στον σχεδιασμό του εμπρόσθιου μέρους του πλαισίου, τύπου subframe (δεύτερη όψη)



Σχήμα 6.11: Τα αποτελέσματα βελτίωσης τοπολογίας στον σχεδιασμό του οπίσθιου μέρους του πλαισίου, τύπου subframe (πρώτη όψη)



Σχήμα 6.12: Τα αποτελέσματα βελτίωσης τοπολογίας στον σχεδιασμό του εμπρόσθιου μέρους του πλαισίου, τύπου subframe (δεύτερη όψη)

6.9 Συναρμολόγηση του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου Mercedes SL 300

Στην αυτοκινητοβιομηχανία διατίθενται τέσσερεις τρόποι με τους οποίους δύνανται να συνδεθούν μεταξύ τους το κεντρικό μέρος συνθετικού πλαισίου μονού κελύφους με το εμπρόσθιο και οπίσθιο μέρος ασάλινου πλαισίου, τύπου subframe [47]. Ένα κέλυφος monocoque, το οποίο αποτελείται από ίνες άνθρακα, μπορεί να συνδεθεί με ένα τμήμα μεταλλικού πλαισίου, ανάλογα και με τον σχεδιασμό του, με τους εξής τρόπους:

- I. Με τη χρήση κάποιου συγκολλητικού υλικού: Η κόλληση ανάλογου τύπου είναι μια δημοφιλής μέθοδος για τη συγκόλληση εξαρτημάτων από ίνες άνθρακα. Συνήθως χρησιμοποιούνται υψηλής αντοχής εποξειδικές κόλλες. Οι επιφάνειες που θα συγκολληθούν προετοιμάζονται με καθαρισμό και διαδικασίες τραχύνσεως της επιφάνειας, προκειμένου να διασφαλιστεί η καλή πρόσφυση. Στη συνέχεια, η κόλλα τοποθετείται και στις δύο επιφάνειες και ασφαρίζονται στη θέση, η οποία έχει σχεδιαστεί στο κέλυφος άνθρακα. Η κόλλα στερεώνεται, δημιουργώντας έναν ισχυρό και ανθεκτικό συνδετικό δεσμό.
- II. Με τη χρήση μηχανικών συνδέσεων: Μία άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση του κελύφους από ίνες άνθρακα με τα μεταλλικά τμήματα του πλαισίου είναι οι μηχανικές συνδέσεις. Αυτές συνήθως περιλαμβάνουν κοχλίες, ήλους ή πιρτσίνια, διατρύπώντας, αρχικά, το κέλυφος από ίνες άνθρακα και διανοίγοντας, ακολούθως, τις αντίστοιχες οπές στα μεταλλικά πλαίσια. Οι συνδέσεις τοποθετούνται μέσα από τις οπές και σφίγγονται, ώστε να συγκρατήσουν τα εξαρτήματα στη θέση τους. Ενίοτε χρησιμοποιούνται ενισχυτικά ένθετα ή μεταλλικά στηρίγματα, με στόχο να ενισχύσουν τα σημεία σύνδεσης.
- III. Με υβριδική κόλληση: Η υβριδική κόλληση αποτελεί έναν συνδυασμό κόλλησης με τη χρήση συγκολλητικού υλικού και μηχανικών συνδέσεων για αυξημένη αντοχή και αξιοπιστία. Η συγκεκριμένη τεχνική περιλαμβάνει τη χρήση και των δύο μεθόδων, προκειμένου να συγκρατηθεί το κέλυφος από ίνες άνθρακα στα μεταλλικά τμήματα του πλαισίου. Η κόλληση προσφέρει κυρίως αντοχή, ενώ οι μηχανικές συνδέσεις λειτουργούν ως επιπλέον υποστήριξη και ασφάλεια.
- IV. Ολική κατασκευή πλαισίου τύπου monocoque: Σε ορισμένες περιπτώσεις, το κέλυφος από ίνες άνθρακα αυτό καθαυτό λειτουργεί ως δομικό στοιχείο, παρέχοντας ακαμψία και αντοχή στο συνολικό πλαίσιο του οχήματος. Στην κατασκευή αυτή, τα μεταλλικά στοιχεία υπάρχει η δυνατότητα να ενσωματωθούν στον σχεδιασμό του κελύφους από ίνες άνθρακα, δημιουργώντας ένα ενιαίο δομικό στοιχείο. Αυτό εξαλείφει την ανάγκη για ξεχωριστές μεθόδους σύνδεσης, καθώς τα εξαρτήματα αποτελούν ουσιαστικά ένα μόνο κομμάτι.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως αυτές οι μέθοδοι αποτελούν γενικές κατευθυντήριες γραμμές και οι πρακτικές ενδέχεται να διαφέρουν σημαντικά ανάμεσα σε διάφορους κατασκευαστές αυτοκινήτων και μοντέλα. Οι συγκεκριμένες λεπτομέρειες για τον τρόπο με τον οποίο συνδέεται ένα κέλυφος από ίνες άνθρακα με τα μεταλλικά τμήματα του πλαισίου εξαρτώνται από παράγοντες, όπως η φιλοσοφία σχεδίασης, οι μηχανικές απαιτήσεις και οι τεχνικές κατασκευής που χρησιμοποιεί κάθε κατασκευαστής αυτοκινήτων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, κρίνεται πως ο

βέλτιστος τρόπος σύνδεσης των εξαρτημάτων είναι αυτός της υβριδικής κόλλησης. Στην σχήμα 6.13 παρουσιάζεται η μέθοδος συναρμολόγησης του πλαισίου ενός αμαξώματος της γνωστής εταιρίας κατασκευής αυτοκινήτων McLaren.

Για τη συναρμολόγηση του πλαισίου τύπου monocoque με τα ασάλινα τμήματα απαιτούνται δύο είδη κοχλιών. Συγκεκριμένα:

- Κοχλίες M15 Hex: Χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση του monocoque πλαισίου και των ασάλινων τμημάτων στο εμπρόσθιο υποσύστημα (Front Subframe).
- Κοχλίες M21 Hex: Χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση του monocoque πλαισίου και των ασάλινων τμημάτων στο οπίσθιο υποσύστημα (Back Subframe).

Οι κοχλίες αυτοί είναι απαραίτητοι για τη συναρμολόγηση και τη σταθεροποίηση των διαφόρων μερών του πλαισίου, διασφαλίζοντας έτσι τη σωστή λειτουργία και ασφάλεια του οχήματος. Η διαφορά μεγέθους κοχλιών στα δύο τμήματα οφείλεται κυρίως στη διαφορά βάρους του κάθε ασάλινου εξαρτήματος. Η επιλογή αυτών πραγματοποιήθηκε με βάση τα πρότυπα της αυτοκινητοβιομηχανίας σε οχήματα αυτής της κατηγορίας.



Σχήμα 6.13: Συναρμολόγηση κελύφους αυτοκινήτου από ίνες άνθρακα με τα μεταλλικά τμήματα του πλαισίου του μέσω υβριδικής κόλλησης

6.10 Σύνοψη

Το παρόν κεφάλαιο ασχολείται με τον ανασχεδιασμό μερών του οχήματος, εφιστώντας την προσοχή στη βελτίωση της κατασκευής του πλαισίου. Αρχικά, εισάγει την ανάγκη για σχεδιασμό, με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης και του βάρους του οχήματος.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο ανασχεδιασμός του κεντρικού μέρους του πλαισίου, χρησιμοποιώντας συνθετικά υλικά, όπως ίνες άνθρακα, με στόχο την αύξηση της απόδοσης και της δυναμικής αντοχής. Έπειτα, εξετάζεται η κατασκευή των δευτερευόντων μερών του πλαισίου μέσω της τρισδιάστατης εκτύπωσης και η εφαρμογή της μεθόδου βελτιστοποίησης τοπολογίας.

Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με τη συναρμολόγηση του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου Mercedes SL 300, συμπεριλαμβανομένης της υβριδικής κόλλησης των μεταλλικών τμημάτων με το κέλυφος από ίνες άνθρακα. Η εν λόγω τεχνική προσφέρει μια σε βάθος κατανόηση του σχεδιασμού και της βελτίωσης των ποικίλων εξαρτημάτων, με στόχο την καινοτομία, βασικό παράγοντα για την ανάπτυξη της αυτοκινητοβιομηχανίας.

6.11 Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου

[36] Noah Webster, «Merriam-Webster Dictionary», ΗΠΑ, 2011

[37] Witold Rządowski, Przemysław Klik, Jan Tracz, Michał Kowalik, «Composite Chassis Manufacturing Process Using Low Temperature Molds Tempered with Gradual Heat Annealing Process», Advances in science and technology research journal, Volume 16, Issue 3, Chicago, 2022

[38] Todd E. Durham, Lauren M. Bangert, Matthew L. McCoy, «Carbon Fiber Monocoque Chassis Redesign», Honors Capstones, 2021

[39] Honnagangaiah, Kumar Nijagal, «Design and evaluation of composite car-front subframe rails in a sedan and its corresponding occupant crash injury response», Wichita State University, ΗΠΑ, 2006

[40] G Davies, «Materials for automobile bodies», Butterworth-Heinemann, Οξφόρδη, Ηνωμένο Βασίλειο, 2012

[41] Jürgen Hirsch, «Recent development in aluminium for automotive applications», Volume 24, Issue 7, Elsevier, Bonn, Germany, 2014

[42] Jihong Zhu, Tong Gao, «Topology Optimization in Engineering Structure Design», Weihong Zhang, Elsevier, 2016

[43] Marco Cavazzuti, Andrea Baldini, Enrico Bertocchi, Dario Costi, Enrico Torricelli, Patrizio Moruzzi, «High performance automotive chassis design: a topology optimization-based approach», Research Gate, Volume: Proceedings of the World Congress on Engineering 2011 Vol III, London, UK, 2010

[44] Sierk Fiebig, Jürgen Sellschopp, Holger Manz, Thomas Vietor, Joachim K. Axmann, Axel Schumacher, «Future challenges for topology optimization for the usage in automotive lightweight design technologies», University of Wuppertal, Γερμανία, 2015

[45] Andrew Thomas Kearney, «3D Printing : A Manufacturing Revolution», ATKearney, Σικάγο, Ιλινόι, ΗΠΑ, 2016

[46] Stuart Nathan, «Ten minutes with the inventor of 3D printing», THE ENGINEER, Johnstown, Pennsylvania, 2014

[47] M Hagan, J Rappolt, J Waldrop, «Formula SAE Hybrid Carbon Fiber Monocoque/Steel Tube Frame Chassis», Semantic Scholar, California Polytechnic State University, 2014

Κεφάλαιο 7

Ανάλυση ανασχεδιασμένων μερών οχήματος

Περιεχόμενα

7 Ανάλυση ανασχεδιασμένων μερών οχήματος	128
7.1 Εισαγωγή	128
7.1.1 Εφαρμογή ανάλυσης συναρμολόγησης DFA	128
7.2 Κατασκευαστική ανάλυση του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου	130
7.3 Ανάλυση χειρισμού της συναρμολόγησης του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου	137
Σχήμα 7.1: Ο τρισδιάστατος σχεδιασμός του νέου πλαισίου και τα εξαρτήματα που το απαρτίζουν ..	Error!
Bookmark not defined.	
7.4 Ανάλυση συναρμολόγησης του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου	139
Σχήμα 7.2: Το μέγιστο βάρος χειρισμού	141
Σχήμα 7.3: Συμβολική και αριθμητική βαθμονόμηση μεγέθους και βάρους εξαρτήματος κατά την τοποθέτηση	142
Σχήμα 7.4: Συμβολική και αριθμητική βαθμονόμηση δυσκολιών χειρισμού κατά τη τοποθέτηση εξαρτήματος	142
7.5 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης βάρους	142
Σχήμα 7.5: Ο δείκτης μάζας του πρωταρχικού σωληνωτού πλαισίου του αυτοκινήτου	143
Σχήμα 7.6: Ο δείκτης μάζας του κεντρικού τμήματος του νέου πλαισίου από ίνες άνθρακα τύπου mopecoque	143
7.6 Σύνοψη	145
7.7 Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου	146

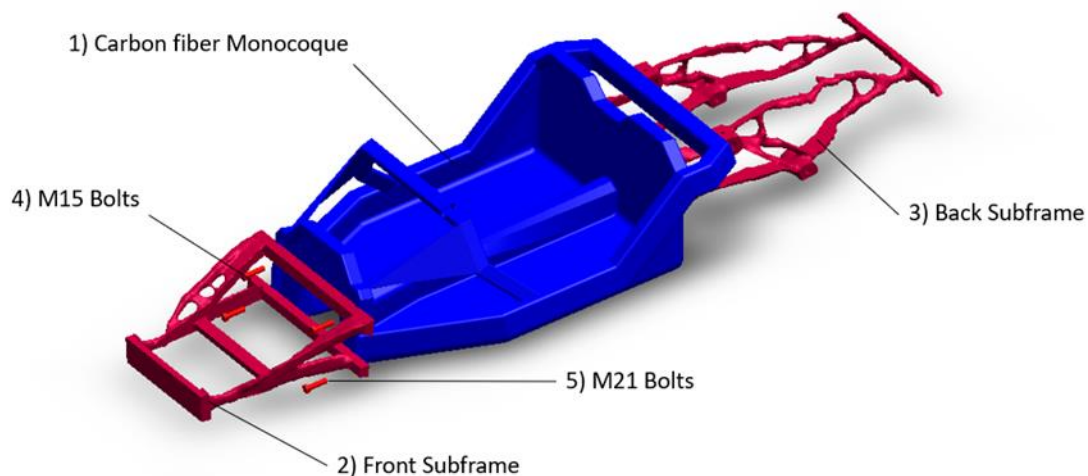
7 Ανάλυση ανασχεδιασμένων μερών οχήματος

7.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο τα τεμάχια που προέκυψαν από τον νέο σχεδιασμό θα μελετηθούν με τη βοήθεια των πινάκων της μεθόδου που παρουσιάστηκε στο δεύτερο κεφάλαιο. Θα πραγματοποιηθούν η ανάλυση συναρμολόγησης DFA και η ανάλυση κατασκευής DFM στο νέο πλαίσιο. Οι δείκτες της τεχνικής υπολογίστηκαν ξανά για το νέο σχεδιασμό χρησιμοποιώντας το υπολογιστικό λογισμικό Excel, με σκοπό να συγκριθούν με αυτούς του υφιστάμενου.

7.1.1 Εφαρμογή ανάλυσης συναρμολόγησης DFA

Όλα τα εξαρτήματα του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου ανήκουν στην ομάδα A, που σημαίνει πως είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του. Ο ολικός ανασχεδιασμός του πλαισίου οδήγησε σε σημαντικές αλλαγές των προηγούμενων πινάκων του αρχικού σχεδίου. Το κυρίως σχήμα του πλαισίου, όπου θα βρίσκονται οι επιβάτες, διατηρήθηκε, όσο το δυνατό περισσότερο, όμοιο με το αρχικό. Η τελική δομή, η οποία αποτελείται από τρία κύρια μέρη, το συνθετικό monocoque και το εμπρόσθιο και οπίσθιο μέρος του πλαισίου, τύπου subframe, αποτελεί βελτίωση του σχεδιασμού, καθώς, κατά την δημιουργία του, ακολουθήθηκαν επακριβώς τα βήματα που αναλύονται στο δεύτερο κεφάλαιο [48]. Οι συντελεστές υπολογίζονταν κατά την διάρκεια του σχεδιασμού, ενώ απαιτήθηκε και επανασχεδιασμός, προκειμένου οι συντελεστές να προκύψουν εντός των ορίων. Οι τελικοί δείκτες και τα αποτελέσματα τις μεθόδου απεικονίζονται στους πίνακες 7.1 και 7.2.



Σχήμα 7.1: Ο τρισδιάστατος σχεδιασμός του νέου πλαισίου και τα εξαρτήματα που το απαρτίζουν

Πίνακας 7.1: Προδιαγραφές μεθόδου DFA για το νέο πλαίσιο του αυτοκινήτου

A/A	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΟΜΑΔΑ	FDI	A	B	C	D	FTI	A	B	C	D	E	F
1	1	Carbonfiber Monocoque	A	3.8	3	0.8	0	0	1	1	0	0	0	0	0
2	1	Front Subframe	A	4.3	2	0.8	1.5	0	2.1	2	0.1	0	0	0	0
3	1	Back Subframe	A	5.3	3	0.8	1.5	0	2.1	2	0.1	0	0	0	0
4	8	M15 Hex Bolt	A	1	1	0	0	0	4.8	4	0.1	0.7	0	0	0
5	4	M21 Hex Bolt	A	1	1	0	0	0	4.8	4	0.1	0.7	0	0	0

Πίνακας 7.2: Αποτελέσματα DFA τελικής σχεδιαστικής επιλογής του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου

Λειτουργική Ανάλυση	Το προϊόν αποτελείται από 15 μέρη
	Τα 15 είναι απαραίτητα για τη βασική λειτουργία του
	Η λειτουργική απόδοση, E_d , του προϊόντος είναι 100%
Ανάλυση Τροφοδότησης	Ο Βαθμός Τροφοδότησης, FDR, είναι 1.026
Ανάλυση Συναρμολόγησης	Ο Βαθμός Συναρμολόγησης, FTR, είναι 0.986

Ο δείκτης της λειτουργικής ανάλυσης έχει απόδοση μεγαλύτερη από 60% και, ως εκ τούτου, ικανοποιεί τις προϋποθέσεις του γενικού εμπειρικού κανόνα κατά DFA. Στο επόμενο κεφάλαιο, θα πραγματοποιηθεί λεπτομερή σύγκριση των αποτελεσμάτων του πίνακα 7.2 με αυτά του υφιστάμενου (πίνακα 5.2). Αυτή η σύγκριση θα αποκαλύψει εάν ο νέος σχεδιασμός παρουσιάζει βελτίωση σε σχέση με τον προηγούμενο και σε ποιο βαθμό. Αυτή η συγκριτική ανάλυση θα προσφέρει σαφή εικόνα σχετικά με την πιο επιθυμητή επιλογή σχεδιασμού για τη βελτίωση της συγκεκριμένης δομής, επισημαίνοντας τα πλεονεκτήματα του νέου σχεδιασμού σε σχέση με τον προηγούμενο όσον αφορά τους τομείς της συναρμολόγησης και της κατασκευασιμότητας των δύο προϊόντων.

7.2 Κατασκευαστική ανάλυση του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου

Η κατασκευαστική ανάλυση DFM πραγματοποιείται ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα [48] :

- Βήμα 1: Σχηματική Ανάλυση. Τα απαραίτητα μέρη για τη βασική λειτουργία του πλαισίου θα πρέπει να κατανεμηθούν βάσει του σχήματός τους. Για παράδειγμα, το κέλυφος του αυτοκινήτου από ίνες άνθρακα κατατάσσεται στην κατηγορία Γ5 «Επίπεδο ή λεπτότοιχο τμήμα με περίπλοκα χαρακτηριστικά, ανομοιόμορφα μέρη με διαφορετικό πάχος τοιχώματος και περίγραμμα». Η αρχική αυτή ανάλυση θα εξαιρέσει μετέπειτα μεθόδους κατασκευής των εκάστοτε εξαρτημάτων με γνώμονα τη σχηματική τους δομή.
- Βήμα 2: Ανάλυση Πολυπλοκότητας. Το δεύτερο βήμα είναι η ταξινόμηση της πολυπλοκότητας του σχήματος του εν λόγω εξαρτήματος. Η πολυπλοκότητα αναπαρίσταται από έναν αριθμό, ο οποίος εξαρτάται από το προφίλ και τον προσανατολισμό του κάθε εξαρτήματος. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός αυτός τόσο πιο απαιτητική είναι η κατασκευή. Η υψηλού βαθμού πολυπλοκότητα των εξαρτημάτων αποκλείει μεθόδους κατασκευής τους, λόγω της ασυμβατότητας στη δημιουργία των περίπλοκων χαρακτηριστικών τους.
- Βήμα 3: Επιλογή Διαδικασίας Παραγωγής. Στη συνέχεια, προσδιορίζονται οι κατάλληλες κατεργασίες βάσει των οποίων είναι δυνατό να κατασκευαστεί το εξάρτημα, δίνοντας έμφαση στο σχήμα και εξασφαλίζοντας τη λειτουργικότητά του. Το συγκεκριμένο στάδιο επικεντρώνεται όχι στον ιδανικότερο, αλλά στους πιθανούς τρόπους κατασκευής και στοχεύει στον αποκλεισμό ακατάλληλων κατεργασιών παραγωγής του εκάστοτε εξαρτήματος.
- Βήμα 4: Επιλογή Υλικού. Η αρχική διαδικασία επιλογής υλικού χαρακτηρίζεται από μια ευρεία ταξινόμηση πιθανών υλικών κατασκευής των εξαρτημάτων. Η διαδικασία αυτή απαιτεί περαιτέρω ταξινόμηση και βελτίωση, ώστε να εντοπιστεί η ιδανικότερη επιλογή υλικού. Για παράδειγμα, κατά την επιλογή είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη οι λειτουργικές απαιτήσεις του υλικού, όπως η υψηλή αντοχή, η κάμψη, η διάβρωση, οι μονωτικές ιδιότητες και άλλες προδιαγραφές του τελικού προϊόντος. Η ταξινόμηση αυτή καθιστά ορισμένες παραγωγικές διεργασίες του εξαρτήματος μη βιώσιμες.
- Βήμα 5 : Ανάλυση Ανοχής. Η ανάλυση ανοχής αποτελεί τη διαδικασία που λαμβάνει υπόψη την απαιτούμενη κατασκευαστική ακρίβεια και την αξιόπιστη λειτουργία των διαθέσιμων μεθόδων κατασκευής. Κάθε υλικό και διαδικασία χαρακτηρίζεται από έναν τυπικό αριθμό ανοχής. Αξιοσημείωτο είναι πως μεγάλες ανοχές συνήθως περιορίζουν τη συνολική λειτουργικότητα και αναδεικνύουν τη δυσκολία διαχείρισης, λόγω του σχεδιασμού του εξαρτήματος. Εν αντιθέσει, η υπερβολικά μικρή ανοχή τείνει να αυξάνει το κόστος παραγωγής και να προσθέτει κινδύνους στην ποιότητα του εξαρτήματος. Οι παραπάνω λόγοι καθιστούν απαραίτητη την κατά κανόνα αποφυγή τόσο μεγάλης όσο και μικρής ανοχής.
- Βήμα 6: Ανάλυση Φινιρίσματος Επιφάνειας. Στο συγκεκριμένο στάδιο η επιθυμητή τραχύτητα ή λειότητα των λειτουργικών επιφανειών του εξαρτήματος συνδυάζεται με τις διαθέσιμες διαδικασίες παραγωγής.

- Βήμα 7: Ανάλυση Ποσότητας. Οι ποσότητες των εξαρτημάτων, που απαιτούνται για τη δημιουργία του τελικού προϊόντος, θα πρέπει να συνυπολογιστούν στην επιλογή διαδικασιών παραγωγής. Επίσης, εξετάζεται η ικανότητα κλιμάκωσης της παραγωγής ανά κατεργασίες, ώστε να ελεγχθεί η δυνατότητα κάλυψης πιθανής ζήτησης κάποιου ανταλλακτικού. Για παράδειγμα, η κατασκευή ενός εξαρτήματος με χύτευση σε άμμο είναι δυνατό να πληροί όλες τις λειτουργικές απαιτήσεις, ωστόσο η κλιμάκωση της παραγωγής, κατά αυτό τον τρόπο, για την υποστήριξη της προβλεπόμενης ζήτησης, είναι πιθανό να οδηγήσει σε οικονομικό αδιέξοδο.
- Βήμα 8: Περιβαλλοντική Ανάλυση. Κάθε εξάρτημα χαρακτηρίζεται από περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ανεξάρτητα από το αν κατασκευάζεται ή αγοράζεται. Σε αυτές συμπεριλαμβάνεται το αποτύπωμα άνθρακα που σχετίζεται με το επιλεγμένο υλικό, καθώς και ο τόπος προέλευσης του εξαρτήματος. Κάποιες διαδικασίες παραγωγής περιλαμβάνουν επιπλέον επιπτώσεις. Επίσης, είναι σημαντικό να εξεταστεί η βιωσιμότητα και ο κύκλος ζωής του εξαρτήματος με έμφαση στο τελευταίο στάδιο της ζωής του, σε διαδικασίες δηλαδή, όπως η απόρριψη, η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση. Για την αποφυγή δύσκολων υπολογισμών σε αυτό το πρώιμο στάδιο, συνιστάται η διεξαγωγή μίας γενικής έρευνας, όπου κάθε υλικό ή διεργασία, που αξιολογείται, λαμβάνει μία βαθμολογία αποτυπώματος άνθρακα, η οποία ενδέχεται να είναι «πολύ υψηλή», «υψηλή», «μεσαία», «χαμηλή» ή «πολύ χαμηλή».
- Βήμα 9: Ανάλυση Κόστους. Σκοπός της ανάλυσης κόστους είναι ο εντοπισμός των πιο οικονομικών κατεργασιών παραγωγής σε συνδυασμό με τις λειτουργικές απαιτήσεις του εξαρτήματος. Παράλληλα με το κόστος κατασκευής λαμβάνεται υπόψη και το κόστος συναρμολόγησης. Αξίζει να σημειωθεί πως το κόστος ανά μονάδα διαφοροποιείται ανάλογα με τον τελικό όγκο παραγωγής. Σε αυτό το βήμα είναι σημαντικό, επίσης, να ληφθεί η απόφαση κατασκευής ή αγοράς του εξαρτήματος. Το εάν οι απαιτούμενοι όγκοι εξαρτημάτων έχουν τη δυνατότητα να κατασκευαστούν ή συμφέρει να αγοραστούν, καθώς και οι πιθανές επενδύσεις κεφαλαίου σε νέα εξειδικευμένα μηχανήματα και εξοπλισμό, οι πιθανές τροποποιήσεις υπάρχοντων εξαρτημάτων και οι βέλτιστοι τρόποι συναρμολόγησης από οικονομική σκοπιά, είναι κάποια από τα ζητήματα που καλούνται να απαντηθούν.
- Βήμα 10: Επανασχεδιασμός. Όταν ολοκληρωθεί η κατασκευαστική ανάλυση, είναι σημαντικό να επαναξιολογηθούν οποιεσδήποτε νέες σχεδιαστικές κατευθύνσεις. Μέσω της επανάληψης επιτυγχάνεται η επιλογή της βέλτιστης λύσης για το σχεδιαστικό πρόβλημα.

Τα αποτελέσματα της κατασκευαστικής ανάλυσης του νέου πλαισίου είναι ορατά στους πίνακες 7.3 με 7.6.

Πίνακας 7.3: Κατασκευαστική ανάλυση του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου-Βήματα 1 έως 4

	A/A	1	2	3	4	5	
	Περιγραφή	Carbonfiber Monocoque	Front Subframe	Back Subframe	M15 Hex Bolt	M21 Hex Bolt	
	Ομάδα	A	A	A	A	A	
	Σχήμα	Γ5	B5	B5	A2	A2	
Κατεργασίες Παραγωγής	Χύτευση		x	x	x	x	
	Χύτευση σε Άμμο		x	x	x	x	
	Εξώθηση						
	Σφράγιση	x					
	Κοπή με Λείζερ	x	x	x			
	Έλαση						
	CNC διάτρηση	x	x	x	x	x	
	Χύτευση με έγχυση Μετάλλου		x	x	x	x	
	Τρισδιάστατη Εκτύπωση	x	x	x	x	x	
	Ψυχρή Διαμόρφωση		x	x			
	Θερμή Διαμόρφωση	x			x	x	
	Μηχανουργική Κατεργασία	x	x	x	x	x	
	Τοποθέτηση Σπειραμάτων	x	x	x	x	x	
	Χύτευση Πλαστικού						
	Διαμόρφωση υπό Κενό Αέρος	x					
	Υλικό	Αλουμίνιο		x	x	x	x
		Ατσάλι	x	x	x	x	x
		Κοβάλτιο				x	x
Πλαστικό Υψηλής Απόδοσης							
Θερμοπλαστικό / ABS / PVA / PVB							
Ίνες Άνθρακα / Carbon fibers		x					
Ρητίνη / Resin		x					
Βιοπλαστικό							

Πίνακας 7.4: Βήμα 5-Ανάλυση Ανοχής

Carbonfiber Monocoque	Θα πρέπει να υπάρχουν οπές, στις οποίες θα φωλιάσουν και, στη συνέχεια, θα βιδωθούν το εμπρόσθιο και το οπίσθιο τμήμα του σκελετού, τύπου subframe.
Front Subframe	Θα πρέπει να υπάρχουν οπές στο εξάρτημα μέσω των οποίων θα πραγματοποιηθεί η σύνδεσή του με το κυρίως μέρος.
Back Subframe	Θα πρέπει να υπάρχουν οπές στο εξάρτημα μέσω των οποίων θα πραγματοποιηθεί η σύνδεσή του με το κυρίως μέρος.
M15 Hex Bolt	Ισχύουν οι τυπικοί βαθμοί ανοχής, 6g για το σπείρωμα του κοχλία και 6H για το σπείρωμα του παξιμαδιού. Περιλαμβάνονται στο σχέδιο ως προεπιλογή.
M21 Hex Bolt	Ισχύουν οι τυπικοί βαθμοί ανοχής, 6g για το σπείρωμα του κοχλία και 6H για το σπείρωμα του παξιμαδιού. Περιλαμβάνονται στο σχέδιο ως προεπιλογή.

Πίνακας 7.5: Βήμα 6-Ανάλυση Φινιρίσματος Επιφάνειας

Carbonfiber Monocoque	Απαιτείται λείανση της επιφάνειας έπειτα από την αφαίρεση των καλουπιών ενσωμάτωσης των ινών άνθρακα. Ενδέχεται να χρειαστεί επιπλέον γυάλισμα ανά τμήματα, ώστε να επιτευχθεί ένα αισθητικά ευχάριστο αποτέλεσμα.
Front Subframe	Το εξάρτημα πρέπει να είναι λείο, ώστε να αποφευχθούν κίνδυνοι κατά τη λαβή του στη συναρμολόγηση. Τα ορατά μέρη από τον χρήστη θα χρειαστούν περαιτέρω λείανση και γυάλισμα, ώστε να επιτευχθεί ένα αισθητικά ευχάριστο αποτέλεσμα.
Back Subframe	Το εξάρτημα πρέπει να είναι λείο, ώστε να αποφευχθούν κίνδυνοι κατά τη λαβή του στη συναρμολόγηση. Τα ορατά μέρη από τον χρήστη θα χρειαστούν περαιτέρω λείανση και γυάλισμα, ώστε να επιτευχθεί ένα αισθητικά ευχάριστο αποτέλεσμα.
M15 Hex Bolt	Δεν απαιτούνται ειδικές διεργασίες φινιρίσματος της τελικής επιφάνειας.
M21 Hex Bolt	Δεν απαιτούνται ειδικές διεργασίες φινιρίσματος της τελικής επιφάνειας.

Πίνακας 7.6: Βήμα 7-Ανάλυση Ποσότητας

Carbonfiber Monocoque	Περιορισμένη παραγωγή εξαρτημάτων (ένα ανά τελικό προϊόν). Απαιτούνται ειδικά εργαλεία για την παραγωγή, όπως για την κατασκευή των καλουπιών, την έγχυση ρητίνης σε αυτά, την κοπή των φύλλων από ίνες άνθρακα και τη σκλήρυνση με θέρμανση του τελικού πλαισίου.
Front Subframe	<ul style="list-style-type: none"> • Η παραγωγή του εξαρτήματος με τη διαδικασία της χύτευσης / χύτευσης σε άμμο απαιτεί ακριβή εργαλεία και μετέπειτα διεργασίες για το τελικό αποτέλεσμα. • Οι απαιτήσεις ακριβείας και τελικού φινιρίσματος της επιφάνειας δε συμβαδίζουν με την προαναφερθείσα μέθοδο παραγωγής. • Προτείνεται η μέθοδος προσθετικής παραγωγής τρισδιάστατης εκτύπωσης.
Back Subframe	<ul style="list-style-type: none"> • Η παραγωγή του εξαρτήματος με τη διαδικασία της χύτευσης / χύτευσης σε άμμο απαιτεί ακριβή εργαλεία και μετέπειτα διεργασίες για το τελικό αποτέλεσμα. • Οι απαιτήσεις ακριβείας και τελικού φινιρίσματος της επιφάνειας δε συμβαδίζουν με την προαναφερθείσα μέθοδο παραγωγής. • Προτείνεται η μέθοδος προσθετικής παραγωγής τρισδιάστατης εκτύπωσης.
M15 Hex Bolt	Μικρή απαιτούμενη ποσότητα εξαρτήματος ανά μονάδα προϊόντος. Συνεπώς, θα πρέπει να εξεταστεί η κατασκευή ή η αγορά από προμηθευτή.
M21 Hex Bolt	Μικρή απαιτούμενη ποσότητα εξαρτήματος ανά μονάδα προϊόντος. Συνεπώς, θα πρέπει να εξεταστεί η κατασκευή ή η αγορά από προμηθευτή.

Το βήμα 8 περιλαμβάνει την Περιβαλλοντική ανάλυση. Στόχος είναι το αποτύπωμα άνθρακα του εκάστοτε εξαρτήματος, συνεπώς και το τελικό προϊόν, να ευθυγραμμιστεί με τις αρχές της βιωσιμότητας και της πράσινης παραγωγής. Κάποιοι βασικοί κανόνες σε αυτό το στάδιο είναι οι εξής:

- Η αποφυγή επιλογής των υλικών βολφραμίου και κοβαλτίου. Τα συγκεκριμένα υλικά χαρακτηρίζονται από τη δυσκολία ανακύκλωσής τους από το ευρύ κοινό, γεγονός που τους προσδίδει υψηλή βαθμολογία περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- Η αποφυγή πλαστικών υψηλής απόδοσης, όπως το ABS και το PVA/PVB. Αν και ανακυκλώσιμα, απαιτούν ειδικές διαδικασίες ανακύκλωσης, αποδίδοντας μια μεσαία βαθμολογία περιβαλλοντικών επιπτώσεων για τα υλικά και τα παράγωγά τους.
- Η επιλογή πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας (HDPE). Το υλικό αυτό είναι ένα από τα ευκολότερα. όσον αφορά την ανακύκλωσή του σε σχέση με πολλά πολυμερή υλικά. Λαμβάνει μια μεσαία προς υψηλή βαθμολογία περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- Η επιλογή βιοπλαστικών. Τα συγκεκριμένα υλικά παράγονται από ανανεώσιμες βιομάζες και όχι από ορυκτούς πόρους. Τις περισσότερες περιπτώσεις είναι βιοδιασπώμενα και κομποστοποιήσιμα, γεγονός που τους προσδίδει μια πολύ χαμηλή βαθμολογία περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Πίνακας 7.7: Κατασκευαστική ανάλυση του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου, βήματα 5 έως 9

	A/A	1	2	3	4	5
	Περιγραφή	Carbonfiber Monocoque	Front Subframe	Back Subframe	M15 Hex Bolt	M21 Hex Bolt
	Ομάδα	A	A	A	A	A
	Σχήμα	Γ5	B5	B5	A2	A2
Κατεργασίες Παραγωγής	Χύτευση		x	x	x	x
	Χύτευση σε Άμμο		x	x	x	x
	Εξώθηση					
	Σφράγιση	x				
	Κοπή με Λείζερ	x	x	x		
	Έλαση					
	CNC διάτρηση	x	x	x	x	x
	Χύτευση με έγχυση Μετάλλου		x	x	x	x
	Τρισδιάστατη Εκτύπωση	x	x	x	x	x
	Ψυχρή Διαμόρφωση		x	x		
	Θερμή Διαμόρφωση	x			x	x
	Μηχανουργική Κατεργασία	x	x	x	x	x
	Τοποθέτηση Σπειραμάτων	x	x	x	x	x
	Χύτευση Πλαστικού					
	Διαμόρφωση υπό Κενό Αέρος	x				

Υλικό	Αλουμίνιο		x	x	x	x
	Ατσάλι	x	x	x	x	x
	Κοβάλτιο				x	x
	Πλαστικό Υψηλής Απόδοσης					
	Θερμοπλαστικό / ABS / PVA / PVB					
	Ίνες Άνθρακα / Carbon fibers	x				
	Ρητίνη / Resin	x				
	Βιοπλαστικό					
Αγορά ή Κατασκευή		Κατασκευή	Κατασκευή	Κατασκευή	Αγορά	Αγορά

Η ανάλυση κόστους αποτελεί το επόμενο βήμα της διαδικασίας. Στο σημείο αυτό έχουν επιλεγεί οι διαδικασίες παραγωγής των εξαρτημάτων, ωστόσο δεν έχει οριστικοποιηθεί η απόφαση αγοράς ή κατασκευής τους. Οι δυνατότητες των εγκαταστάσεων, οι απαραίτητοι εξοπλισμοί και η κατάρτιση του ανθρώπινου δυναμικού αναφορικά με τη διαδικασία παραγωγής, όπως και η επικοινωνία με το τμήμα της εφοδιαστικής αλυσίδας, θα παρέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες προκειμένου να οριστικοποιηθούν οι παραπάνω επιλογές.

Ο ανασχεδιασμός, έως ότου δημιουργηθεί ένα ικανοποιητικό, αν όχι βέλτιστο, σχεδιαστικό αποτέλεσμα, αποτελεί τα δύο τελευταία βήματα της συνολικής διαδικασίας.

7.3 Ανάλυση χειρισμού της συναρμολόγησης του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου

Η ανάλυση χειρισμού, τα αναλυτικά βήματα της οποίας παρουσιάστηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο, ακολουθεί τα βήματα:

- Βήμα 1: Βαθμολόγηση Μεγέθους και βάρους (H_A). Γίνεται η αξιολόγηση του μεγέθους και του βάρους κάθε εξαρτήματος.
- Βήμα 2: Βαθμολόγηση Δυσκολιών Χειρισμού (H_B). Αναλύονται οι πιθανές δυσκολίες στο χειρισμό του εξαρτήματος.
- Βήμα 3: Βαθμολόγηση Προσανατολισμού από άκρο σε άκρο (H_C). Αξιολόγηση της κατεύθυνσης ή του προσανατολισμού του εξαρτήματος.
- Βήμα 4: Βαθμολόγηση Περιστροφικού προσανατολισμού (H_D). Αξιολόγηση του τρόπου περιστροφής ή στρέψης του εξαρτήματος.
- Βήμα 5: Υπολογισμός Δείκτη Χειρισμού (Handling Index HI) κάθε εξαρτήματος. Υπολογίζεται ο δείκτης χειρισμού για κάθε εξάρτημα με βάση τις αξιολογήσεις των προηγούμενων βημάτων.
- Βήμα 6: Υπολογισμός Συνολικής Αναλογίας Χειρισμού. Ο υπολογισμός της συνολικής αναλογίας χειρισμού πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη τους δείκτες χειρισμού των εξαρτημάτων.

- Βήμα 7: Ανασχεδιασμός. Το τελευταίο βήμα προβλέπει τον ανασχεδιασμό ή τις αναπροσαρμογές βάσει των αξιολογήσεων και της συνολικής αναλογίας χειρισμού για τη βελτίωση του τελικού προϊόντος.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για το νέο πλαίσιο του αυτοκινήτου παρουσιάζονται στους πίνακες 7.8, 7.10 και 7.11

Πίνακας 7.8: Ανάλυση χειρισμού του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου, βήματα 1 έως 5









Αριθ. Εξαρτήματος	Περιγραφή	Ομάδα	H _A	H _B	H _C	H _D	H _I
1	Carbonfiber Monocoque	A	3	0	0	0	3
2	Front Subframe	A	3	0.7	0	0	3.7
3	Back Subframe	A	3	0.7	0	0	3.7
4	M15 Hex Bolt	A	1	0	0.1	0	1.1
5	M21 Hex Bolt	A	1	0	0.1	0	1.1

$$HR = \sum HI \div N_A = 12,6 \div 5 = 2,52 \quad (7.1)$$

Το HR (Handling Ratio) υπολογίζει τη σχέση μεταξύ του Συνολικού Δείκτη Χειρισμού (ΣΗΙ) και του Συνολικού Αριθμού εξαρτημάτων (N_A). Σε ανάλυση χειρισμού συναρμολόγησης, ανάλογα με την εφαρμογή, ένας δείκτης όπως το HR χρησιμοποιείται για να αξιολογήσει πόσο αποτελεσματικά σχεδιάστηκε ή μπορεί να συναρμολογηθεί ένα σύστημα ή μια δομή. Ένας δείκτης που βρίσκεται στην περιοχή του 2.5 είναι αρκετά αποδεκτός, αν και η αξιολόγηση αυτή εξαρτάται από τον τύπο εφαρμογής. Αν είναι σε μια κλίμακα από 0 έως 5, τότε το 2,52 δείχνει ένα μέτριο έως αρκετά αποδεκτό επίπεδο.

Αυτό σημαίνει ότι η συνολική αξιολόγηση του χειρισμού ή της ευκολίας στη συναρμολόγηση βρίσκεται σε έναν λογικά αποδεκτό βαθμό, αλλά είναι επίσης σημαντικό να ληφθούν υπόψη και άλλοι παράγοντες όπως οι ειδικές ανάγκες ή οι απαιτήσεις του έργου ή της εφαρμογής.

Πίνακας 7.9: Σύμβολα ανάλυσης χειρισμού

Σύμβολο	Επεξήγηση Συμβόλου	Σύμβολο	Επεξήγηση Συμβόλου
	Εργασία Χειρισμού (Χειροκίνητη)		Δευτερεύουσα Λειτουργία
	Διαδικασία Συναρμολόγησης (Τοποθέτηση, Στερέωση, Εισαγωγή)		Αποσυναρμολόγηση (Για εισαγωγή εργαλείου)
	Μηχανική Λαβή		Επανασυναρμολόγηση (Για αφαίρεση εργαλείου)
	Υποσύνολο Συναρμολόγησης ολοκληρωμένο		Συνολική Συναρμολόγηση ολοκληρωμένη

7.4 Ανάλυση συναρμολόγησης DFA του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου

Η δημιουργία ενός διαγράμματος ροής της συναρμολόγησης του πλαισίου αποτελεί το πρώτο βήμα της διαδικασίας ανάλυσης. Το διάγραμμα θα πρέπει να αναπαριστά την ακολουθία των λειτουργιών συναρμολόγησης των εξαρτημάτων. Οι λειτουργίες που προσδιορίζονται για τον νέο σχεδιασμό παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 7.10).

Πίνακας 7.10: Λειτουργική ανάλυση της συναρμολόγησης του νέου πλαισίου

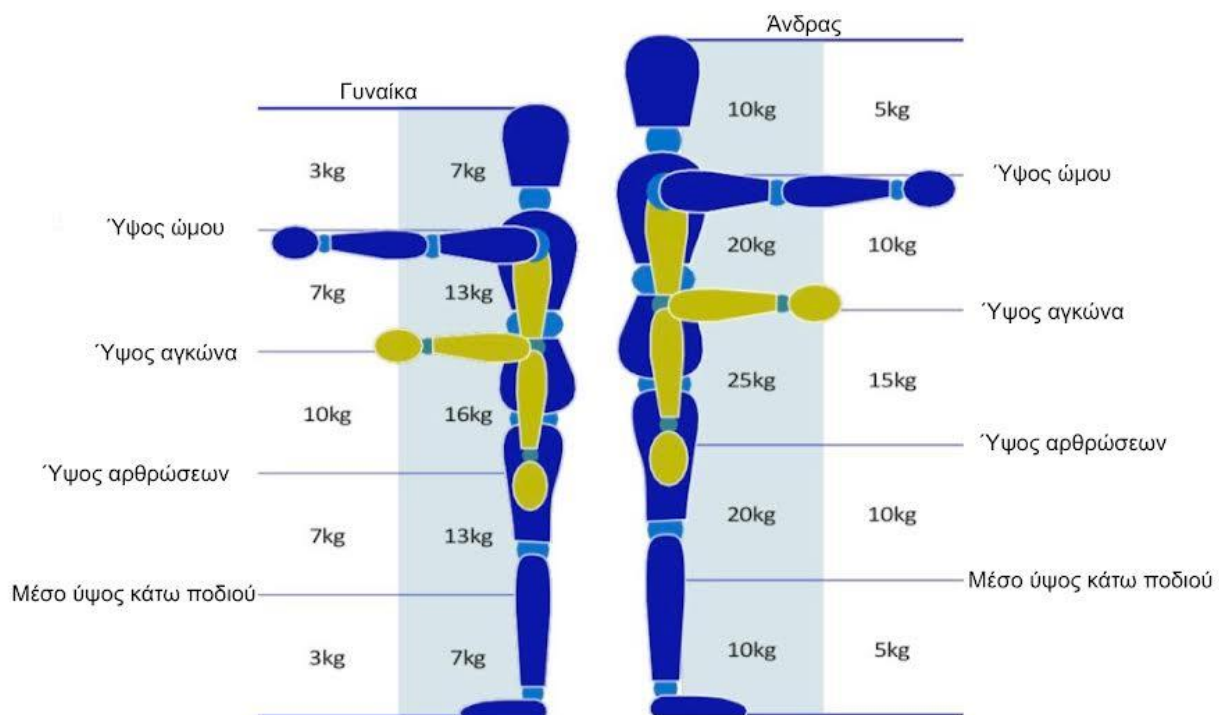
Αριθ. Εξαρτήματος	Περιγραφή	Ομάδα	HI
1	Carbonfiber Monocoque	A	3
2	Front Subframe	A	3.7
3	Back Subframe	A	3.7
4	M15 Hex Bolt	A	1.1
5	M21 Hex Bolt	A	1.1

Ακολουθεί η βαθμολόγηση των διεργασιών χειρισμού. Τα βασικά εξαρτήματα βαθμολογούνται με την τιμή μηδέν. Η τιμή αυτή μεταφέρεται στο διάγραμμα ροής, εντός του σχετικού κύκλου. Έπειτα, βαθμολογούνται και οι δευτερεύουσες διεργασίες. Το επόμενο βήμα περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του δείκτη προσαρμογής (FI) για καθεμία διαδικασία συναρμολόγησης.





Πίνακας 7.11:Κατασκευαστική ανάλυση του νέου πλαισίου

Αρ . Εξ.	Περιγραφή	Λειτουργία Συναρμολόγησης	Τοποθέτηση	FA1	Στερέωση	FA2	Κατεύθυνση Διεργασίας	FB	Τύπος Διεργασίας	FC	Πρόσβαση	FD	Ευθυγράμμιση	FE	Δύναμη	FF	FI
1	Carbonfiber Monocoque		Απαιτεί Κράτημα	2	-	0	Ευθεία γραμμή ή από τα άνω	0	-	-	Άμεση πρόσβαση	0	Εύκολη	0	Καμία αντίσταση	0	2
2	Front Subframe		Απαιτεί Κράτημα	2	-	0	Ευθεία γραμμή ή από τα άνω	0	Απλή εισαγωγή	0	Άμεση πρόσβαση	0	Εύκολη	0	Καμία αντίσταση	0	2
3	Back Subframe		Απαιτεί Κράτημα	2	-	0	Ευθεία γραμμή ή από τα άνω	0	Απλή εισαγωγή	0	Άμεση πρόσβαση	0	Εύκολη	0	Καμία αντίσταση	0	2
4	M15 Hex Bolt		Αυτάματα	1	Βίδωμα	4	Ευθεία από άλλη κατεύθυνση	0 .1	Απλή εισαγωγή	0	Άμεση πρόσβαση	0	Δύσκολη	0.7	Καμία αντίσταση	0	5.8
5	M21 Hex Bolt		Αυτάματα	1	Βίδωμα	4	Ευθεία από άλλη κατεύθυνση	0 .1	Απλή εισαγωγή	0	Άμεση πρόσβαση	0	Δύσκολη	0.7	Καμία αντίσταση	0	5.8

Τα Σχήματα 7.2, 7.3 και 7.4 παρέχουν παραδείγματα σημείων ενδιαφέροντος για την ανάλυση DFM και DFA. Παρουσιάζουν τη συμβολική και αριθμητική βαθμονόμηση διάφορων παραγόντων που αφορούν το μέγεθος, το βάρος και τις δυσκολίες χειρισμού κατά την τοποθέτηση εξαρτημάτων. Παρά τη σημαντικότητά τους, η λεπτομερής ανάλυσή τους εκτός των βασικών πλαισίων της παρούσας διπλωματικής εργασίας δεν αποτελεί προτεραιότητα. Η εστίαση της έρευνας στην παρούσα φάση έγκειται σε πιο συγκεκριμένα σημεία που σχετίζονται με τον σχεδιασμό και τη βελτίωση της δομής του πλαισίου. Μέσω αυτής της επιλογής, επιτρέπεται η συγκέντρωση στα βασικά κομμάτια που αφορούν την ασφάλεια και την απόδοση της δομής, χωρίς να διασπάται η προσοχή από πιθανά πλεονεκτήματα σε άλλους τομείς της ανάλυσης. Έτσι, προσφέρεται η ευκαιρία να επικεντρωθούμε στην πλήρη αξιοποίηση των αποτελεσμάτων που έχουν σημασία για το προκείμενο έργο, δίνοντας προτεραιότητα στις επιδιωκόμενες πτυχές.



Σχήμα 7.2: Το μέγιστο βάρος χειρισμού

(Η.) Κατηγορία Μεγέθους και Βάρους		Περιγραφή	Βαθμός
	Πολύ μικρό	Απαιτεί βοηθήματα όρασης ή χειρισμού	1.5
	Βολικό	Απαιτεί μόνο ένα χέρι	1
	Μεγάλο και / ή βαρύ	Απαιτεί περισσότερο από ένα χέρι ή βοήθημα λαβής	1.5
	Πολύ μεγάλο και / ή πολύ βαρύ	Απαιτεί περνοφόρο, μηχανισμό ανύψωσης ή δύο άτομα	3
Επιλέξτε ένα βαθμό για κάθε εξάρτημα			

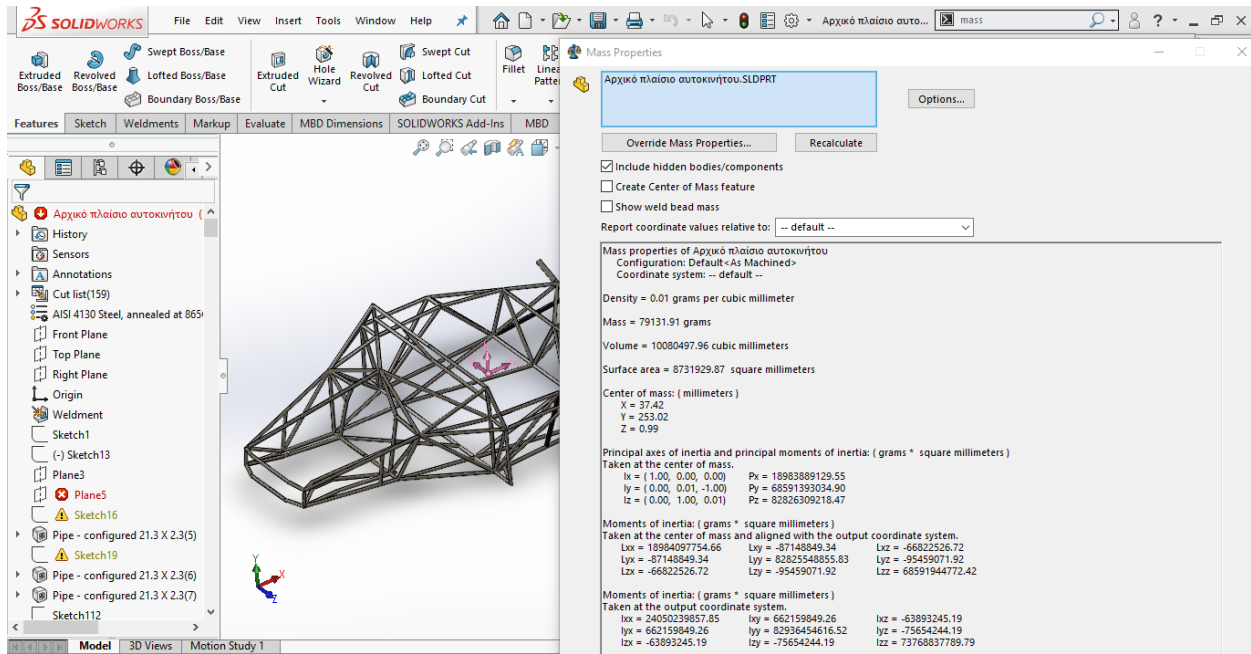
Σχήμα 7.3 :Συμβολική και αριθμητική βαθμονόμηση μεγέθους και βάρους εξαρτήματος κατά την τοποθέτηση

(Η.) Κατηγορία Μεγέθους και Βάρους		Βαθμός	(Η.) Δυσκολίες χειρισμού		Βαθμός
	Χωρίς δυσκολίες χειρισμού	0		Διανεμόμενο εξάρτημα	0
Εάν κάποιο από τα παραπάνω, σταματήστε εδώ					
	Εύθραστο / Ευαίσθητο	0.4		Έντονο φώλιασμα	0.7
	Εύκαμπτο	0.6		Λιχμηρό / Λειαντικό υλικό	0.3
	Κολλώδες / Συγκολλητικό	0.5		Άθικτο	0.5
	Υπερπλοκή	0.8		Ολισθηρό / Δύσκολο στο κράτημα	0.2
Επιλέξτε ανά εφαρμογή και προσθέστε για το τελικό αποτέλεσμα					

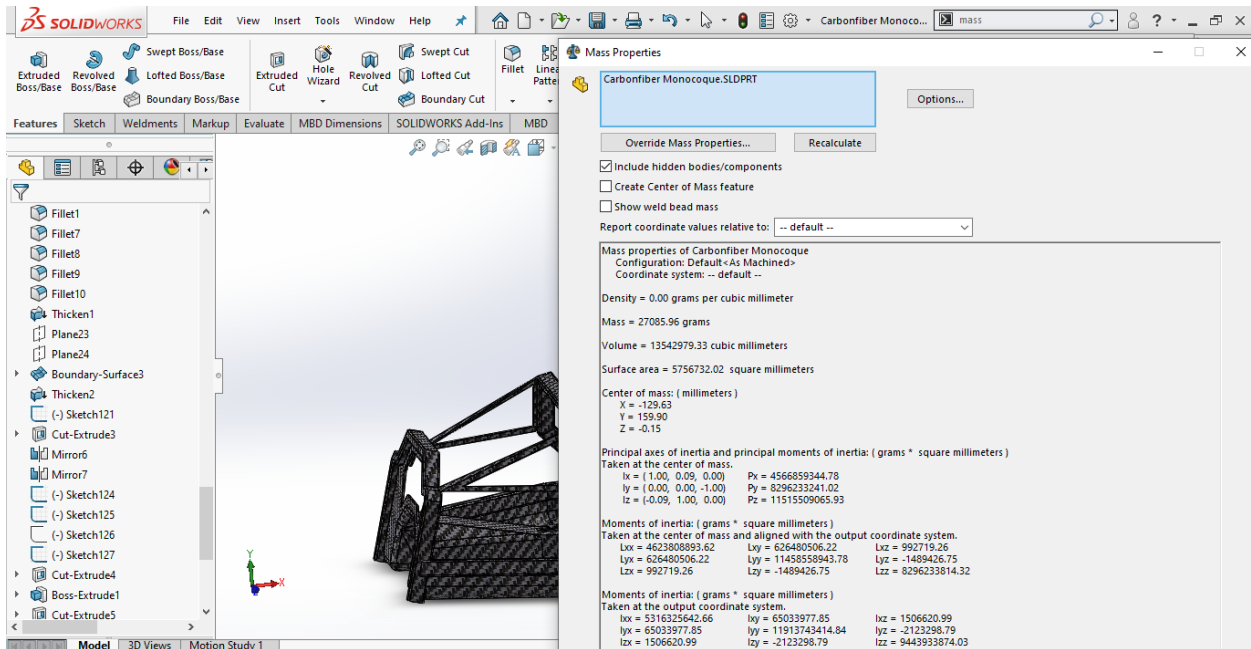
Σχήμα 7.4: Συμβολική και αριθμητική βαθμονόμηση δυσκολιών χειρισμού κατά τη τοποθέτηση εξαρτήματος

7.5 Αποτελέσματα βελτίωσης βάρους

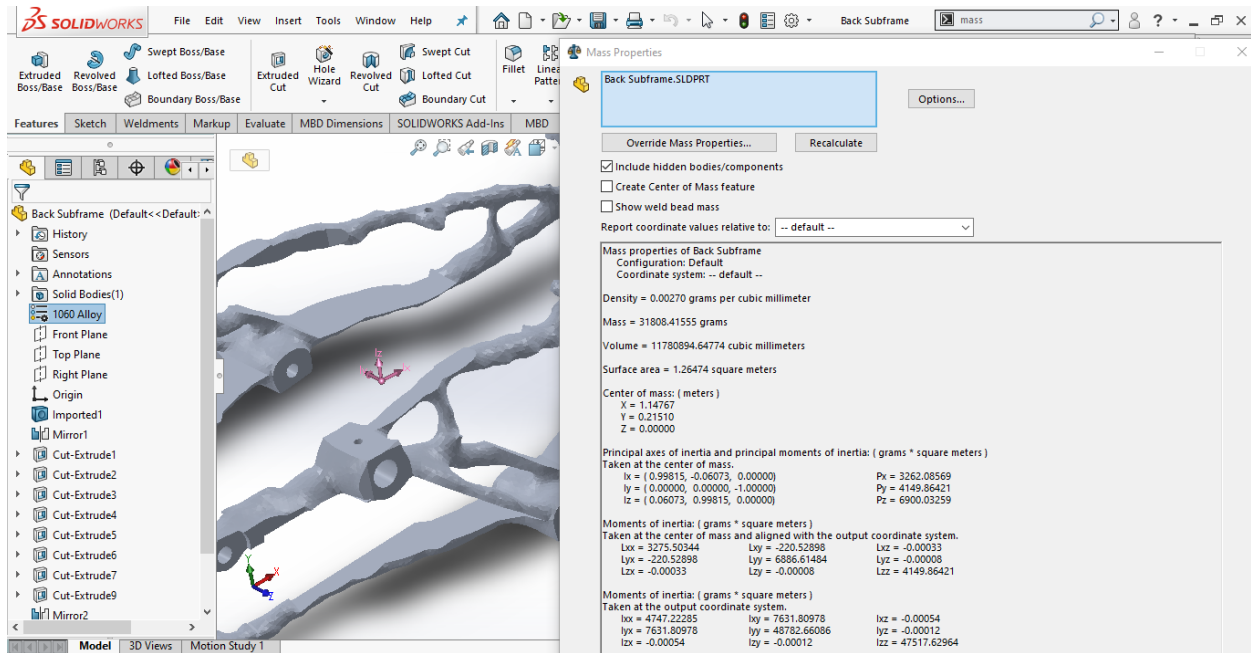
Η παρούσα εργασία στοχεύει έμμεσα στη βελτίωση βάρους του πλαισίου του αυτοκινήτου. Ο βελτιωμένος σχεδιασμός μείωσε τη χρήση περιττών υλικών και την πολυπλοκότητα κατασκευής και συναρμολόγησης. Χρησιμοποιήθηκαν ελαφρύτερα υλικά, όπως το αλουμίνιο και οι ίνες άνθρακα, διατηρώντας την αντοχή και την ασφάλεια του οχήματος. Η σύγκριση της μάζας του πρωταρχικού με το νέο σχέδιο του πλαισίου πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος SolidWorks2020 και παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες (Σχήμα 7.5, 7.6, 7.7 και 7.8)



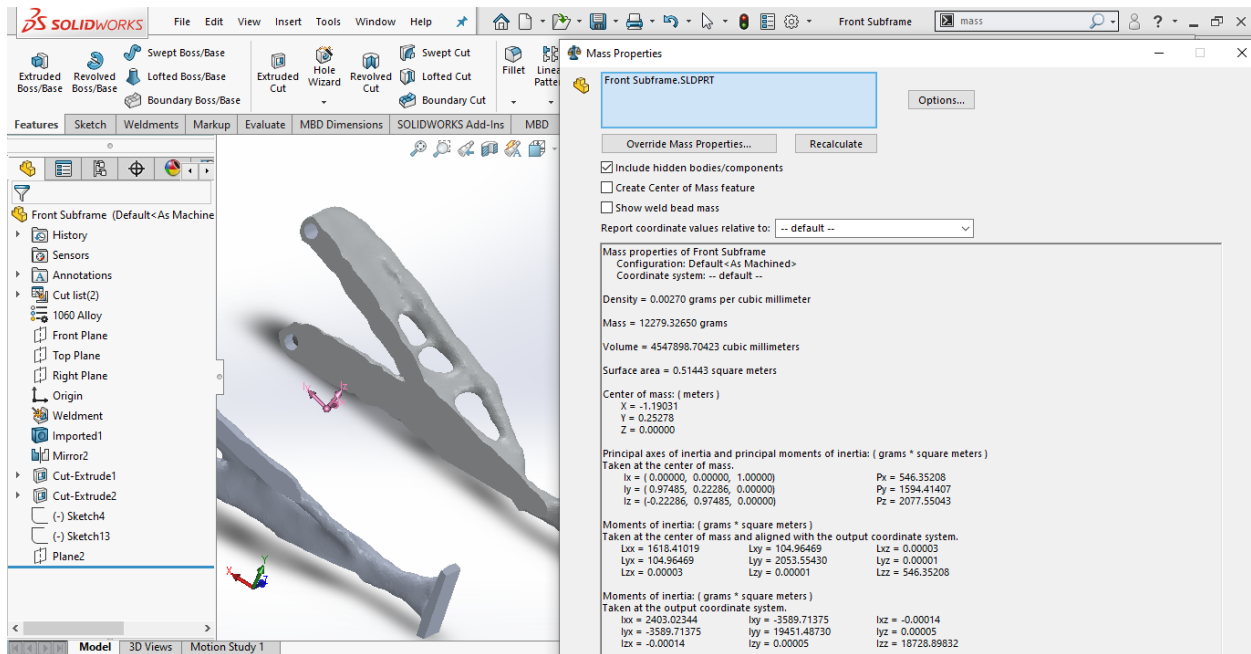
Σχήμα 7.5: Ο δείκτης μάζας του πρωταρχικού σωληνωτού πλαισίου του αυτοκινήτου



Σχήμα 7.6: Ο δείκτης μάζας του κεντρικού τμήματος του νέου πλαισίου από ίνες άνθρακα τύπου monocoque



Σχήμα 7.7: Ο δείκτης μάζας του οπίσθιου μέρους του πλαισίου, τύπου subframe



Σχήμα 7.8: Ο δείκτης μάζας του εμπρόσθιου μέρους του πλαισίου, τύπου subframe

Πίνακας 7.12: Τα αποτελέσματα σύγκρισης μάζας των δύο πλαισίων

Όχημα	Εξαρτήματα	Μάζα Εξαρτήματος (grams)	Συνολικό Βάρος (kg)
Πρωταρχικό	Σωληνωτό πλαίσιο	79131.91	79.13
Νέο	Κεντρικό τμήμα από ίνες άνθρακα, monocoque	27085.96	71.17
	Οπίσθιο μέρος, subframe	31808.41	
	Εμπρόσθιο μέρος, subframe	12279.32	
Συνολική διαφορά			7.96 ή 10,05%

Το βελτιωμένο βάρος του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου αποτελεί έναν κρίσιμο παράγοντα στον σχεδιασμό του οχήματος. Η εξοικονόμηση των 7,91 κιλών επιφέρει σημαντικά αποτελέσματα σε πολλούς τομείς. Αρχικά, μειώνεται η συνολική μάζα του αυτοκινήτου, βελτιώνοντας την απόδοση και την οικονομία καυσίμου. Αυτό σημαίνει ότι το όχημα μπορεί να κινηθεί με μικρότερη κατανάλωση καυσίμου, προσφέροντας οικονομικότερη λειτουργία για τους χρήστες του.

Επιπλέον, η ελαφρύτερη δομή του πλαισίου βελτιώνει την απόκριση του αυτοκινήτου, τη σταθερότητα και την οδηγική εμπειρία. Αυτό καθιστά το όχημα πιο ευχάριστο για τους οδηγούς και τους επιβάτες του, ενισχύοντας την ασφάλεια και την ευχρηστία του. Απαιτεί λιγότερη ενέργεια για να κινηθεί και, συνεπώς, επιτυγχάνει μεγαλύτερη ταχύτητα και επιτάχυνση, γεγονός ιδιαίτερα θεμιτό στα αυτοκίνητα απόδοσης, όπως τα αθλητικά και τα αγωνιστικά, όπου κάθε κιλό εξοικονομημένου βάρους είναι δυνατό να ασκήσει δραματική επίδραση στην απόδοση.

Τέλος, η εξοικονόμηση βάρους συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στην προστασία του περιβάλλοντος. Κάθε μικρή μείωση στο βάρος επηρεάζει την κατανάλωση καυσίμου και, επομένως, επιφέρει τη ρύπανση αυτού. Συνολικά, το βελτιστοποιημένο βάρος του πλαισίου αποτελεί σημαντικό επίτευγμα στον σχεδιασμό του αυτοκινήτου με θετικές επιπτώσεις στην απόδοση, την ασφάλεια και την προσπάθεια για πιο βιώσιμη μετακίνηση και οδήγηση.

7.6 Σύνοψη

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται ανάλυση των ανασχεδιασμένων μερών του οχήματος. Αρχικά, εξετάζεται η εφαρμογή της μεθόδου κατά Lucas, συμπεριλαμβανομένης της ανάλυσης συναρμολόγησης DFA. Επιπλέον, γίνεται μια κατασκευαστική ανάλυση DFM του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου, ενώ διερευνάται και η ανάλυση του χειρισμού της συναρμολόγησης αυτού. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα από την ανάλυση συναρμολόγησης του νέου πλαισίου

με αυτά του πρωταρχικού, που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, παρατηρούμε κάποιες σημαντικές διαφορές.

Συγκεκριμένα, στην ανάλυση συναρμολόγησης του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου, αναφέρεται ότι το προϊόν αποτελείται από 15 μέρη, ενώ το προηγούμενο αποτελείται από 159. Επιπλέον, στην ανάλυση του νέου πλαισίου, ο βαθμός τροφοδότησης (FDR) είναι 1.02666667, ενώ στο προηγούμενο κεφάλαιο ήταν 1.32327044. Ο βαθμός συναρμολόγησης (FTR) είναι επίσης χαμηλότερος στο νέο (0.98666667) σε σύγκριση με τον αντίστοιχο αρχικό (2.294968553). Οι διαφορές στους βαθμούς αναφέρονται στον τρόπο που επηρεάζει η δομή και ο σχεδιασμός του προϊόντος τη διαδικασία κατασκευής και συναρμολόγησής του.

Αναφορικά με την σημασία των δεικτών, ο βαθμός FDR μετρά τον βαθμό δυσκολίας στο να τροφοδοτηθούν τα διάφορα μέρη και υλικά στη γραμμή παραγωγής για την κατασκευή του προϊόντος. Ένας χαμηλός FDR υποδεικνύει ότι η διαδικασία τροφοδότησης είναι εύκολη και αποδοτική, ενώ ένας υψηλός FDR υποδεικνύει δυσκολίες στην τροφοδοσία υλικών.

Ο βαθμός FTR μετρά τον βαθμό δυσκολίας στη συναρμολόγηση των διαφόρων μερών κατά τη διάρκεια της κατασκευής του προϊόντος. Ένας χαμηλός FTR υποδεικνύει ότι η διαδικασία συναρμολόγησης είναι εύκολη και αποδοτική, ενώ ένας υψηλός FTR υποδεικνύει δυσκολίες στη συναρμολόγηση.

Συμπερασματικά, οι συγκριτικά χαμηλότεροι FDR και FTR βαθμοί, υποδεικνύουν ότι ο σχεδιασμός του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου έχει βελτιστοποιηθεί, ώστε να είναι εύκολος στην κατασκευή και συναρμολόγηση με ελάχιστες δυσκολίες και προβλήματα στη διαδικασία παραγωγής.

7.7 Βιβλιογραφικές αναφορές κεφαλαίου

[48] Keith Waller, «Design for Manufacture & Assembly Guideline», Construction Innovation Hub, Coventry, GB, Ηνωμένο Βασίλειο, 2022

[49] Ntokou Evangelia, «LABORATORY WORKING AND HARDENING – MACHINING», ACADEMIA, 2019

Συμπεράσματα και προτάσεις

Περιεχόμενα

Συμπεράσματα	147
Προτάσεις	149

Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε η μέθοδος σχεδιασμού ενός νέου μηχανολογικού προϊόντος με έμφαση στην κατασκευασιμότητα και τη συναρμολογησιμότητα. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε έρευνα για την ιστορία, τις ιδιαιτερότητες και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αυτοκινήτου Mercedes SL 300. Η μελέτη των πληροφοριών των πηγών και η εύρεση ενός δυσδιάστατου μηχανολογικού σχεδίου του πλαισίου του αυτοκινήτου επέτρεψε τη δημιουργία και ένταξη αυτού σε τρισδιάστατο χώρο, μέσω του σχεδιαστικού προγράμματος SolidWorks 2020.

Ακολουθώντας, με τη βοήθεια του ίδιου προγράμματος και τις δυνατότητες προσομοιώσεων που αυτό διαθέτει, πραγματοποιήθηκαν η στατική και η δυναμική ανάλυση του πλαισίου, προκειμένου να αναδειχθούν πιθανά αδύναμα ή προβληματικά σημεία στον σχεδιασμό του. Τα αποτελέσματα των παραπάνω αναλύσεων χρησιμοποιήθηκαν στον ανασχεδιασμό του πλαισίου ως δεδομένα που απαιτούνταν από το πρόγραμμα για τη δημιουργία μοντέλου με τη μέθοδο βελτιστοποίησης τοπολογίας. Το νέο πλαίσιο αποτελείται από τρία βασικά μέρη, τα οποία προέκυψαν από τον συνεχή ανασχεδιασμό. Η μέθοδος συνεχούς δοκιμής και σφάλματος και η ανάλυση των διαφορετικών αποτελεσμάτων οδήγησε στη δημιουργία ενός νέου βελτιστοποιημένου σχεδιασμού, ο οποίος καλύπτει τόσο τις αρχικές προδιαγραφές όσο και τις σχεδιαστικές προσδοκίες της παρούσας μελέτης. Οι αναλύσεις και οι συνεχείς σχεδιαστικές αλλαγές, που διενεργήθηκαν, δεν παρουσιάστηκαν αναλυτικά, λόγω πολυπλοκότητας και μεγέθους.

Η επιλογή υλικών κατασκευής του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου αποτέλεσε επίσης μια πρόκληση. Κατά τη διερεύνηση των ιδανικότερων υλικών, παρατηρήθηκε για ακόμη μια φορά η χρησιμότητα του προγράμματος SolidWorks 2020. Οι πολυάριθμες διαθέσιμες επιλογές υλικών του προγράμματος σε συνδυασμό με πληροφορίες περί κατασκευαστικών υλικών που χρησιμοποιούνται από σύγχρονες εταιρίες της αυτοκινητοβιομηχανίας, οδήγησαν στην επιλογή κάποιων πιθανών υλικών. Η σύγκριση της μηχανικής συμπεριφοράς και των γενικών χαρακτηριστικών του πρωταρχικού πλαισίου έθεσε περαιτέρω περιορισμούς στην επιλογή κατασκευαστικών υλικών του νέου μοντέλου. Η τελική απόφαση χρήσης κατασκευαστικών υλικών για κάθε εξάρτημα προήλθε από υλοποίηση της μεθόδου σχεδιασμού με έμφαση στη κατασκευή. Σε αυτό το στάδιο τα υποψήφια κατασκευαστικά υλικά που έχουν απομείνει συνεξετάζονται με τις διεργασίες παραγωγής τους. Τη βέλτιστη λύση για το εμπρόσθιο και το οπίσθιο μέρος του πλαισίου, τύπου subframe, αποτέλεσε το αλουμίνιο με μέθοδο παραγωγής την τρισδιάστατη εκτύπωση. Πρέπει να σημειωθεί ότι στην επιλογή μεθόδου παραγωγής διαδραμάτισε καθοριστικό ρόλο το περιορισμένο μέγεθος

παραγωγής, το οποίο ανέρχεται σε δέκα πλαίσια ετησίως. Το κύριο μέρος του πλαισίου, τύπου monocoque, κατασκευάζεται από ίνες άνθρακα και ρητίνη μέσω της χρήσης καλουπιών και της εφαρμογής πίεσης, ώστε να εξαλειφθεί η περίσσια ποσότητα ρητίνης και, εν τέλει, να εφαρμοστούν θερμές διεργασίες, οι οποίες θα ομογενοποιήσουν και θα σκληρύνουν το τελικό αποτέλεσμα.

Το επόμενο βήμα για την ολοκλήρωση του μηχανολογικού ανασχεδιασμού αποτέλεσε η εφαρμογή δύο βασικών μεθόδων σχεδιασμού προϊόντων, ο σχεδιασμός για βελτιωμένη κατασκευασιμότητα DFM και ο σχεδιασμός για βελτιωμένη συναρμολογησιμότητα DFA. Οι μέθοδοι αρχικά εφαρμοστήκαν στο πρωταρχικό σωληνωτό πλαίσιο του αυτοκινήτου. Με τη χρήση του λογισμικού Solid Works 2020 δημιουργήθηκε ο κατάλογος εξαρτημάτων, από τα οποία αποτελείται. Καθένα από αυτά αρχικά ταξινομήθηκαν με βάση το βάρος, το μέγεθος και τον προσανατολισμό, ώστε να υπολογισθεί ο δείκτης χειρισμού. Στη συνέχεια, τα εξαρτήματα βαθμονομήθηκαν σε διεργασίες, όπως η τοποθέτηση και η στερέωση, η προσβασιμότητα και η ορατότητα αλλά και οι κατευθύνσεις και οι δυνάμεις τοποθέτησής τους κατά τη διαδικασία συναρμολόγησης. Κατά αυτόν το τρόπο προέκυψε και ο δείκτης εισαγωγής ή τοποθέτησης. Η ίδια διαδικασία πραγματοποιήθηκε και για τα εξαρτήματα που απαρτίζουν το νέο πλαίσιο. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι μέθοδοι απευθύνονται κυρίως σε σχετικά μικρές, σταδιακές, σχεδιαστικές αλλαγές προϊόντων, ώστε να αποκομιθούν τα οφέλη τους. Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε ολικός ανασχεδιασμός γεγονός που δεν επιτρέπει την άμεση αριθμητική σύγκριση των αποτελεσμάτων. Ωστόσο αναδεικνύεται η ευκολία τόσο της κατασκευής όσο και της συναρμολόγησης του νέου προϊόντος. Αναφορικά με την επαναληπτική διόρθωση στον σχεδιασμό του νέου πλαισίου, λόγω της εφαρμογής των μεθόδων DFMA, επήλθαν τα εξής αποτελέσματα:

- Αυξημένες ώρες σχεδιασμού και ανάλυσης των αποτελεσμάτων. Ο συμβατικός σχεδιασμός εκσυγχρονίζεται. Ολοένα και περισσότερες παράμετροι λαμβάνονται υπόψη. Δίνεται πλέον η δυνατότητα προσομοιώσεων και αναλύσεων χωρίς να απαιτείται φυσικό προϊόν.
- Διαρκείς και πολυάριθμες αλλαγές κατά τον σχεδιασμό του πλαισίου.
- Βελτίωση της συναρμολόγησης. Ο νέος καινοτόμος σχεδιασμός προάγει την ευκολία και την ακρίβεια συναρμολόγησης, μειώνοντας τον απαιτούμενο χρόνο και το κόστος της διαδικασίας. Απαιτούνται, ωστόσο, δύο άτομα ή η βοήθεια ανυψωτικού μηχανισμού κατά τη συναρμολόγησή του.

Συμπερασματικά, η σύγχρονη τεχνολογία με τη βοήθεια σχεδιαστικών και υπολογιστικών λογισμικών επέτρεψε την ολοκληρωτική ανάπτυξη νέου σχεδιασμού, σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Η ένταξή του σε τρισδιάστατο εικονικό χώρο βοήθησε τόσο την κατανόηση όσο και την περεταίρω ανάλυση αυτού. Το νέο σχέδιο εκ πρώτης όψεως χαρακτηρίζεται από μια πολύπλοκη σχεδιαστικά δομή και μοιάζει με σκελετό ζωντανού οργανισμού. Παρόλα αυτά, οι ραγδαίες εξελίξεις στο τομέα της προσθετικής παραγωγής και του γενετικού σχεδιασμού επιτρέπουν πλέον τη δημιουργία και παραγωγή αυτών των ιδιαίτερων μηχανολογικών εξαρτημάτων και διατάξεων που, έως την παρούσα στιγμή, φάνταζαν ουτοπικά. Η αυτοματοποιημένη παραγωγή της τρισδιάστατης εκτύπωσης αντικαθιστά την πολύωρη, επίπονη και δαπανηρή χειρωνακτική εργασία. Τέλος, η εφαρμογή μεθόδων σχεδιασμού αποτρέπει πιθανά σχεδιαστικά και λειτουργικά λάθη στα πρώιμα στάδια της παραγωγής. Τα νέα προϊόντα χαρακτηρίζονται από ευκολία κατασκευής, συναρμολόγησης και συντήρησης, με αποτέλεσμα να μειώνεται το συνολικό κόστος παραγωγής και να βελτιώνεται η ποιότητά τους.

Προτάσεις

Ο ανασχεδιασμός του πλαισίου του αυτοκινήτου με έμφαση στην κατασκευή και στη συναρμολόγηση αποτέλεσε το πρώτο και στοιχειώδες βήμα στην αναδιαμόρφωση και ένταξη αυτού στα τεχνολογικά δεδομένα της σύγχρονης εποχής. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλα υποσυστήματα του αυτοκινήτου, η βελτίωση των οποίων θα παρέχει το ολοκληρωμένο, τελικό αποτέλεσμα. Μελλοντικές έρευνες θα μπορούσαν να επικεντρωθούν στη μελέτη και τον σχεδιασμό των συστημάτων ανάρτησης, πέδησης και χειρισμού του οχήματος. Εξαρτήματα, όπως οι δαγκάνες των φρένων, τα ψαλίδια των αναρτήσεων ακόμα και οι μπιέλες του κινητήρα του αυτοκινήτου, είναι δυνατό να μελετηθούν, να σχεδιαστούν και να κατασκευαστούν με τις προαναφερθείσες μεθόδους. Παράλληλα, εξαρτήματα του εξωτερικού αμαξώματος μπορούν να κατασκευαστούν με νέα συνθετικά υλικά και μεθόδους, ώστε να εξοικονομηθεί κυρίως βάρος, βελτιώνοντας την αγωνιστική απόδοση.

Μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα προσθήκη στην παρούσα μελέτη θα αποτελούσε η πλήρης οικονομική ανάλυση του έργου. Η ανάλυση του κόστους κατασκευής, χρησιμοποιώντας τις συμβατικές χειρωνακτικές εργαλειομηχανές σε σύγκριση με τις προτεινόμενες παραγωγικές διεργασίες, ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος, καθώς και η ενεργειακή μελέτη, θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν.

Τέλος, η βέλτιστη μέθοδος σχεδιασμού του πλαισίου του αυτοκινήτου απαιτεί ο αναλυτής να έχει στη κατοχή του το πλαίσιο και, στη συνέχεια, να προβεί σε ανάλυση αυτού. Συγκεκριμένα, η ιδανικότερη περίπτωση, με τα δεδομένα της σύγχρονης εποχής, είναι η δημιουργία ενός τεχνολογικού «νευρικού συστήματος» του αυτοκινήτου. Το σύστημα αυτό αποτελείται από αισθητήρες, οι οποίοι τοποθετούνται σε κρίσιμα σημεία του πλαισίου. Στη συνέχεια, αφού το όχημα χρησιμοποιηθεί σε ποικίλους τύπους εδάφους, με διάφορες ταχύτητες και συνθήκες, οι αισθητήρες θα μπορέσουν να καταγράψουν αναλυτικά όλες τις δυνάμεις που αναπτύσσονται στο σασί από εξωτερικούς και εσωτερικούς παράγοντες σε μία βάση δεδομένων. Τα πολύτιμα αυτά δεδομένα θα τοποθετηθούν έπειτα σε λογισμικό γενετικού σχεδιασμού τεχνητής νοημοσύνης. Το πρόγραμμα, αφού δημιουργήσει εκατοντάδες χιλιάδες πιθανές λύσεις, τελικά θα καταλήξει στην καλύτερη δυνατή ανάλογα με το μέγεθος δεδομένων που θα λάβει και την υπολογιστική του ισχύ. Το αποτέλεσμα δεν θα μπορούσε ποτέ να σχεδιαστεί από άνθρωπο.

Η εποχή της πληροφορίας οδεύει προς το τέλος της, δίνοντας τη θέση της σε αυτή της επαυξημένης, όπου τα, έως την παρούσα στιγμή, δεδομένα μεταβάλλονται. Η κατασκευή αντικαθίσταται από την καλλιέργεια, η ανοικοδόμηση από την εκτύπωση και η εξαγωγή πόρων από τη χρήση εναλλακτικών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το σχήμα των προϊόντων διαφοροποιείται παντελώς, εξατομικεύεται και γίνεται αντικείμενο εκμετάλλευσης στον μέγιστο βαθμό. Ο σχεδιασμός αποτελεί πλέον μια νέα συνεργασία. Μια συνεργασία μεταξύ τεχνολογίας, φύσης και ανθρωπότητας.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Περιεχόμενα

Βιβλιογραφία	Error! Bookmark not defined.
Σύνδεσμοι στο διαδίκτυο	153

Βιβλιογραφία

- [1] H.W. Fowler· F. G. Fowler, «Pocket Oxford Dictionary», Oxford Univ Pr (Sd), Αγγλία, 1976
- [2] «Motor car, n», OED Online. Oxford University Press, Αγγλία, 2014
- [3] Mitchel Taylor, «Model T Facts», Αμερική, 2013
- [4] Gordon John Steele, «10 Moments That Made American Business», American Heritage, Volume 58 ,Issue 1, 2007
- [5] Price, R. G. , «Division of Labor, Assembly Line Thought – The Paradox of Democratic Capitalism», Rational Evolution, 2004
- [6] Chris Tohn, «Top 10 Best Selling Cars of All Time», Auto Guide, 2013
- [7] Werner Oswald, «Mercedes-Benz Personenwagen 1945–1985», Motorbuch, Stuttgart, Γερμανία, 2001
- [8] LaPalm, Julia, «Uberbird: The Most Important Postwar Benz of Them All», Motortrend, 2013
- [9] Rex McAfee, Daimler Ag, «When Mercedes-Benz Dominated SCCA Racing in the 1950s», Sports Car Digest, 2019
- [10] Benjamin Bessinger, «Mercedes-Konzernarchiv. 15 Regalkilometer Autogeschichte», Zeit Online, 2018
- [11] Bernd Ostmann, «Mercedes-Sportwagen. Gipfeltreffen von drei Generationen», Auto Motor Sport, Γερμανία, 2017
- [12] Michael Rieder, « Urahn-Forschung», Motor Klassik, Γερμανία, 1989
- [13] Anne Fauser, «Der Mercedes-Benz 300 SL (W 194) mit der Chassisnummer 11», Daimler-Media, Γερμανία, 2012
- [14] Nitske Robert, «Mercedes-Benz 300 SL», Motorbook International, 1974

- [15] Mike Covello, «Standard Catalog of Imported Cars 1946 to 2002», Krause Publications, Γερμανία, 2002
- [16] Karl Ludvigsen, «300 SLR Tech Report», Hagerty Insider, Γερμανία, 2022
- [17] Adler Dennis, « Mercedes-Benz 300 SL», Motorbooks Intl, Osceola Country, 1994
- [18] Zal Pawel, «1954 Mercedes-Benz 300 SL opt. 3.42 axle», Automobile-Catalogue, Γερμανία, 2018
- [19] Yasuji Shibahata, Tochigi, Shimotakanezawa, Haga-machi, Haga-gun, «Honda R&D Co. Ltd.», Haga, Haga District, Tochigi 321-3321, Ιαπωνία, 2004
- [20] Bradford Goldense, «A History of Design for Manufacturing and Assembly», Research Gate, Cambridge, 2022
- [21] Boothroyd G., Knight W., Dewhurst P., «Product Design for Manufacture and Assembly», Crc Press, Μπόκα Ράτον, Φλόριντα, ΗΠΑ, 2010
- [22] T. J. Howard, S. J. Culley and E. Dekoninck, «Creativity in the engineering design process», Research Gate, Δανία, 2008
- [23] Hill P. H., Rinehart H., «The science of engineering design», Holt,Rinehart & Winston of Canada Ltd, 1968
- [24] Tien-Chien chang, Richard A Wysk and Hsu-Pin Wang, «Information taken from Computer-Aided Manufacturing», Roberto Orozco Sanchez, 1998
- [25] Lee D. E. and Melkanodd M. A., «Product design analysis using the assembly design evaluation metric», Proceedings of the ASME Computers in Engineering Conference, Vol. 1, Vol. 1, 95-102, Santa Clara, CA., 1991
- [26] Miyakawa, S. and Ohashi, T., «The Hitachi Assembly Evaluation Method (AEM)», JSME International Journal, Series C, Vol. 45, No. 2, 2002
- [27] G. Boothroyd,L. Alting , «Design for Assembly and Disassembly, CIRP Annals - Manufacturing Technology», Sience Direct, Elsevier, Volume 41, Issue 2, 1992
- [28] Central Steel, «Alloy composition by weight (%)», Central Steel & Wire Company Catalog, Chicago, Illinois, 2008
- [29] Fui, T. H., Rahman, R. A., «Statics and Dynamics Structural Analysis of a 4.5 Ton Car Chassis», Core, Universiti Teknologi Malaysia Institutional Repository, 2007
- [30] Jason, C., Brown, A., John Robertson, Stan, T., «Serpento, Motor vehicle structures», Butterworth-Heinemann, Οξφόρδη, Ηνωμένο Βασίλειο, 2002
- [31] Rakesh Kumar Sahu, Suman Kumar Sahu, Srikant Behera and V. Santosh Kumar, «Static Load Analysis of a Ladder Type Chassis Frame», Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing Ltd, 2016
- [32] Douglas D. Lefever, Kristin L. Wood, «Design for Assembly Techniques in Reverse Engineering and Redesign», Volume 4: 8th International Conference on Design Theory and Methodology Irvine, California, USA, 2021
- [33] George-Christopher Vosniakos, Xenofon V. Gogouvitis and Emmanuel E. Stathatos, «Coupling product and manufacturing system design», Published Online, Inderscience Online, Ελλάδα, 2009
- [34] Corrado Poli, «Design for Manufacturing: A Structured Approach», Butterworth-Heinemann, Οξφόρδη, Ηνωμένο Βασίλειο, 2001

- [35] H. Okamoto, «Evolution of the Supplier Network in the German Automotive Industry from the Prewar to Postwar Period: A Comparative Perspective with the Japanese experience», Business History Conference, Αγγλία, 2004
- [36] Noah Webster, «Merriam-Webster Dictionary», ΗΠΑ, 2011
- [37] Witold Rządowski, Przemysław Klik, Jan Tracz, Michał Kowalik, «Composite Chassis Manufacturing Process Using Low Temperature Molds Tempered with Gradual Heat Annealing Process», Advances in science and technology research journal, Volume 16, Issue 3, Chicago, 2022
- [38] Todd E. Durham, Lauren M. Bangert, Matthew L. McCoy, «Carbon Fiber Monocoque Chassis Redesign», Honors Capstones, 2021
- [39] Honnagangaiah, Kumar Nijagal, «Design and evaluation of composite car-front subframe rails in a sedan and its corresponding occupant crash injury response», Wichita State University, ΗΠΑ, 2006
- [40] G Davies, «Materials for automobile bodies», Butterworth-Heinemann, Οξφόρδη, Ηνωμένο Βασίλειο, 2012
- [41] Jürgen Hirsch, «Recent development in aluminium for automotive applications», Volume 24, Issue 7, Elsevier, Bonn, Germany, 2014
- [42] Jihong Zhu, Tong Gao, «Topology Optimization in Engineering Structure Design», Weihong Zhang, Elsevier, 2016
- [43] Marco Cavazzuti, Andrea Baldini, Enrico Bertocchi, Dario Costi, Enrico Torricelli, Patrizio Moruzzi, «High performance automotive chassis design: a topology optimization-based approach», Research Gate, Volume: Proceedings of the World Congress on Engineering 2011 Vol III, London, UK, 2010
- [44] Sierk Fiebig, Jürgen Sellschopp, Holger Manz, Thomas Vietor, Joachim K. Axmann, Axel Schumacher, «Future challenges for topology optimization for the usage in automotive lightweight design technologies», University of Wuppertal, Γερμανία, 2015
- [45] Andrew Thomas Kearney, «3D Printing : A Manufacturing Revolution», ATKearney, Σικάγο, Ιλινόι, ΗΠΑ, 2016
- [46] Stuart Nathan, «Ten minutes with the inventor of 3D printing», THE ENGINEER, Johnstown, Pennsylvania, 2014
- [47] M Hagan, J Rappolt, J Waldrop, «Formula SAE Hybrid Carbon Fiber Monocoque/Steel Tube Frame Chassis», Semantic Scholar, California Polytechnic State University, 2014
- [48] Keith Waller, «Design for Manufacture & Assembly Guideline», Construction Innovation Hub, Coventry, GB, Ηνωμένο Βασίλειο, 2022
- [49] Ntokou Evangelia, «LABORATORY WORKING AND HARDENING – MACHINING», ACADEMIA, 2019

9.1 Σύνδεσμοι στο διαδίκτυο

<http://www.astrj.com/Case-Study-of-Composite-Chassis-Manufacturing-Process-Using-Low-Temperature-Molds,147368,0,2.html>

<http://www.speedhunters.com/2013/04/the-process-building-a-mclaren-mp4-12c/>

<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.415.4782&rep=rep1&type=pdf>

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/42974023/Describing_the_creative_design_process_b20160223-22940-tzlhxc-libre.pdf?1456237494=&response-content-

disposition=inline%3B+filename%3DDescribing_the_creative_design_process_b.pdf&Expires=1682069747&Signature=GYm4lCiOgXJU0XOkJ-D7qg0mgfGpmKg-0jY6kUYsp9cB3Wr7FZeE-

<Wle6tK~a5plluCFoP0kf2HTIAYYtopZKlojiWqpnD9uEb4ic7fS9FcAfi->

<Rbu6KFLnz31dfbOakHX6tUjnPkN9aYQbKVJokYly4FBUX2bE9M~rcM5eY~TjIBmdk8kwfYCyo2QhDjPF9r~~PRcniFhxcGP9bWjia--MZHVBmaKy~tBbSBkjV4c3gRUkkw63ce6XqoiXlqAKqb7pridN-euN7Wv3Nm4nBMazxe~VF4->

Ey7SO5U1ZJoT~CJMPTq--URs97-ID--ajVQWYyG2tYm0tTu2Ddhfssw_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/18995/Tabulka_koeficientu_LUCAS_Method.pdf?sequence=43&isAllowed=y

https://ebrary.net/191720/business_finance/lucas_evaluation_method#700

https://ebrary.net/191721/business_finance/boothroyd_dewhurst_method

<https://emona.com.au/Company-News/5-ways-production-3d-printing-saves-money-1.html>

https://en.wikipedia.org/wiki/Benz_Patent-Motorwagen

<https://fixingengines.com/what-is-a-tube-chassis/>

<https://formlabs.com/eu/blog/topology-optimization/>

<https://forums.aaca.org/topic/342422-first-roll-up-windows/>

<https://gomechanic.in/blog/brief-history-of-the-seatbelt/>

<https://gomechanic.in/blog/power-steering-history/>

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/908/1/012042/pdf>

<https://matmatch.com/learn/material/4130-steel>

<https://supercarnostalgia.com/blog/mercedes-benz-w198-300-sl-gullwing>

<https://techhistorian.com/when-was-the-first-hybrid-car-made/>

<https://web.archive.org/web/20160316191503/https://www.atkearney.com/documents/10192/5992684/3D+Printing+A+Manufacturing+Revolution.pdf/bf8f5c00-69c4-4909-858a-423e3b94bba3>

<https://www.autoguide.com/auto-news/2016/05/mclaren-developing-new-carbon-monocoque-and-hybrid-powertrain.html>

<https://www.britannica.com/technology/Model-T>

<https://www.caranddriver.com/features/g15382751/automotive-tech-history/>

<https://www.carexpert.com.au/car-news/suv-body-types-monocoque-vs-body-on-frame>

<https://www.carscoops.com/2018/04/magna-created-carbon-fiber-front-subframe-ford/>

<https://www.classic-trader.com/en/magazine/max-hoffman-automotive-success-story>

<https://www.classic-trader.com/uk/cars/search/mercedes-benz/sl-class/w-198-i>

<https://www.dfma.com/images/dfm3.png>

<https://www.idrivesafely.com/defensive-driving/trending/evolution-automobile>

<https://www.machinedesign.com/automation-iiot/article/21213546/a-history-of-design-for-manufacturing-and-assembly>

<https://www.monashmotorsport.com/blog/monocoque-fyt>

<https://www.pinterest.com/pin/hpoint-car-design-book-history-timeline-car-body-design--345792077613537158/>

<https://www.rac.co.uk/drive/features/new-car-features-and-tech-you-definitely-need/>

https://www.researchgate.net/figure/Automotive-chassis-topology-optimization-In-the-results-the-density-range-from-01_fig3_261749964

<https://www.sciencedirect.com/journal/cirp-annals/vol/41/issue/2>

<https://www.statista.com/statistics/744910/cost-breakdown-of-car-production-by-segment/>

<https://www.unm.edu/~bgreen/ME101/dfm.pdf>

<https://www.upsbatterycenter.com/blog/history-of-electric-cars/>

<https://www.urenio.org/npd/reports/npd.pdf>

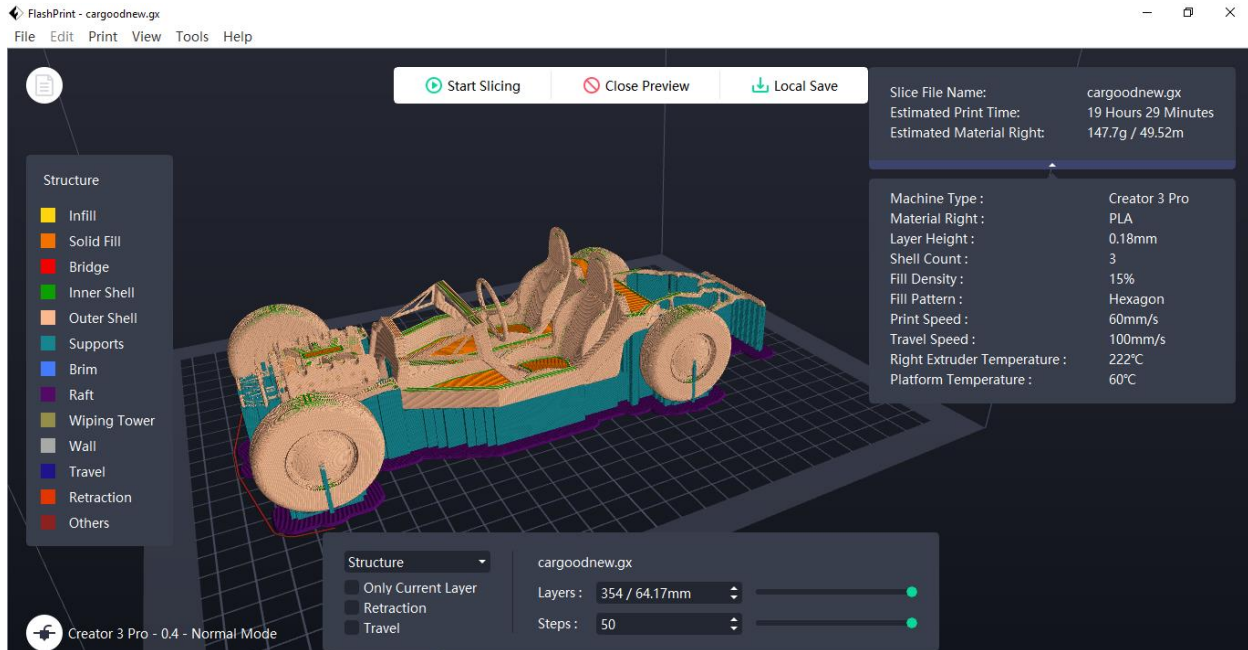
https://www.researchgate.net/profile/George-Christopher-Vosniakos/publication/237045338_Coupling_product_and_manufacturing_system_design/links/5433a25a0cf20c6211be5ab2/Coupling-product-and-manufacturing-system-design.pdf

<https://hermes-ir.lib.hit-u.ac.jp/hermes/ir/re/15151/0500700701.pdf>

Παράρτημα

Παράρτημα Α: Τρισδιάστατη εκτύπωση νέου πλαισίου και μοντέλου αυτοκινήτου υπό κλίμακα

Για την περαιτέρω κατανόηση της δομής και της συναρμολόγησης του νέου πλαισίου του αυτοκινήτου, κρίθηκε απαραίτητη η δημιουργία πρωτοτύπου υπό κλίμακα. Το παρόν μηχανολογικό σχέδιο αναπτύχθηκε με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος SolidWorks 2020 στο Flashprint 5, στο οποίο ρυθμίστηκαν οι παράγοντες που επηρεάζουν την εκτύπωση. Ορισμένες από τις βασικές ρυθμίσεις που λήφθηκαν υπόψη είναι το υλικό, η θερμοκρασία, τόσο της κεφαλής εκτύπωσης (nozzle) όσο και του πυρήνα (bed), η ταχύτητα εκτύπωσης, η χρήση υποστηρίξεων (supports), η ανάλυση εκτύπωσης και η πυκνότητα αυτής (infill), οι στρώσεις (layers) και το περίγραμμα (raft). Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε ο τρισδιάστατος εκτυπωτής Flashforge Creator 3. Ο χρόνος εκτύπωσης ανήλθε σε συνολικά 19 ώρες και 47 λεπτά, παρέχοντας μια πολύτιμη και καλαίσθητη αναπαράσταση του νέου πλαισίου.



Σχήμα 1: Ρυθμίση της τρισδιάστατης εκτύπωσης στο πρόγραμμα Flashprint 5

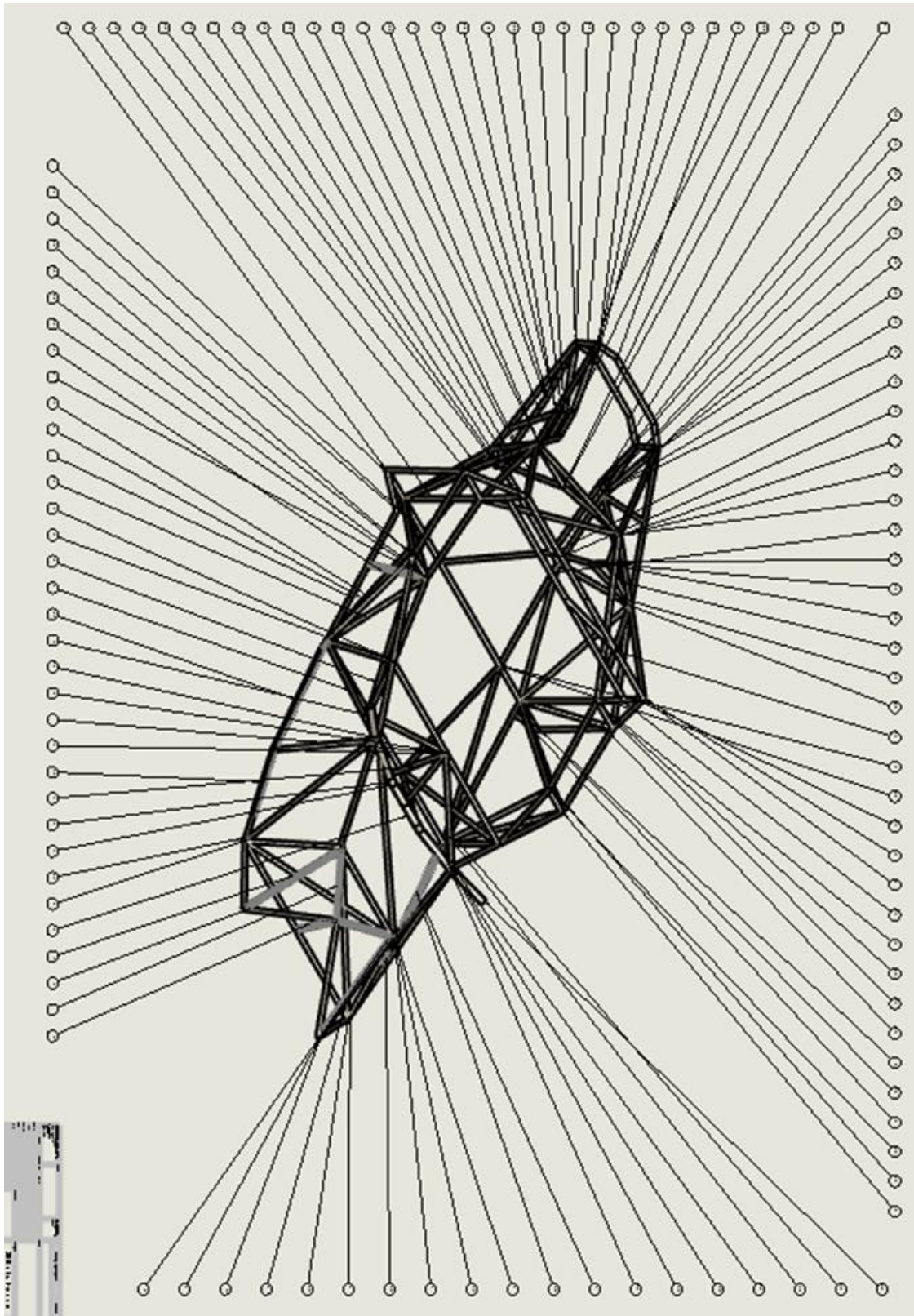


Σχήμα 2: Η τρισδιάστατη εκτύπωση του νέου πλαισίου, με τη χρήση του εκτυπωτή Flashforge Creator 3

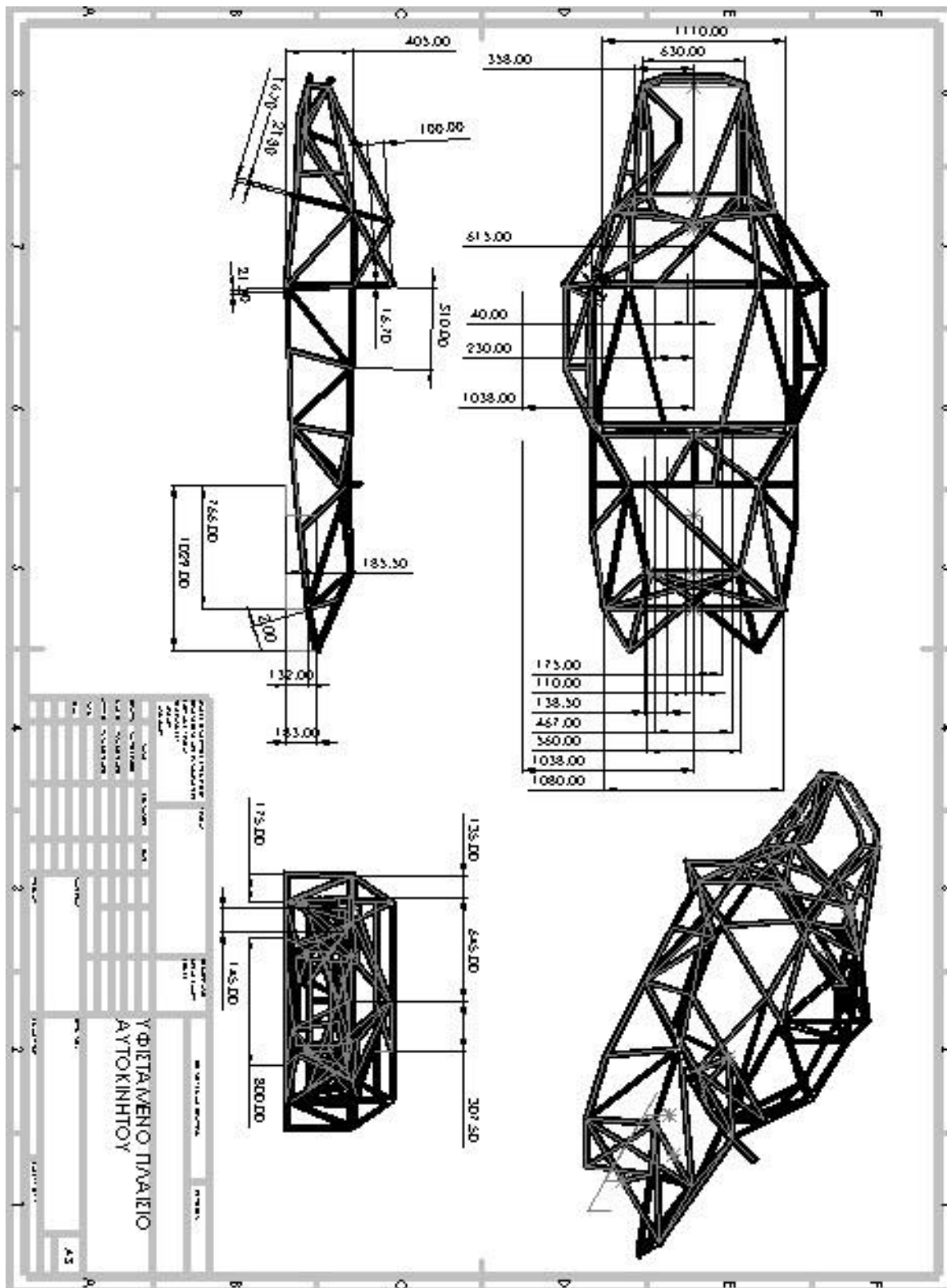


Σχήμα 3: Η τρισδιάστατη εκτύπωση του ολοκληρωμένου αυτοκινήτου, με τη χρήση του εκτυπωτή Flashforge Creator 3

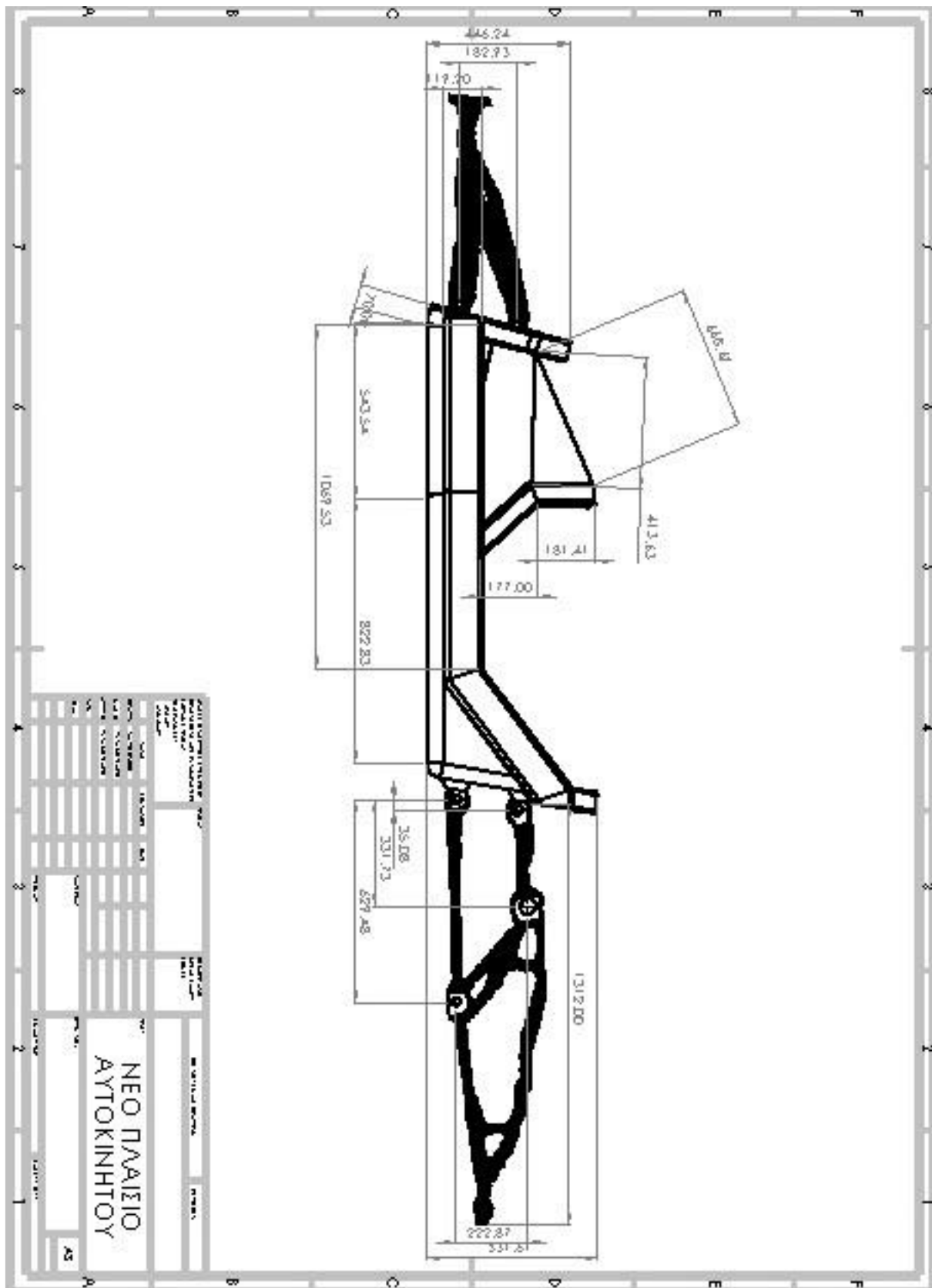
Παράρτημα Β: Μηχανολογικός σχεδιασμός υφιστάμενου και νέου πλαισίου του αυτοκινήτου



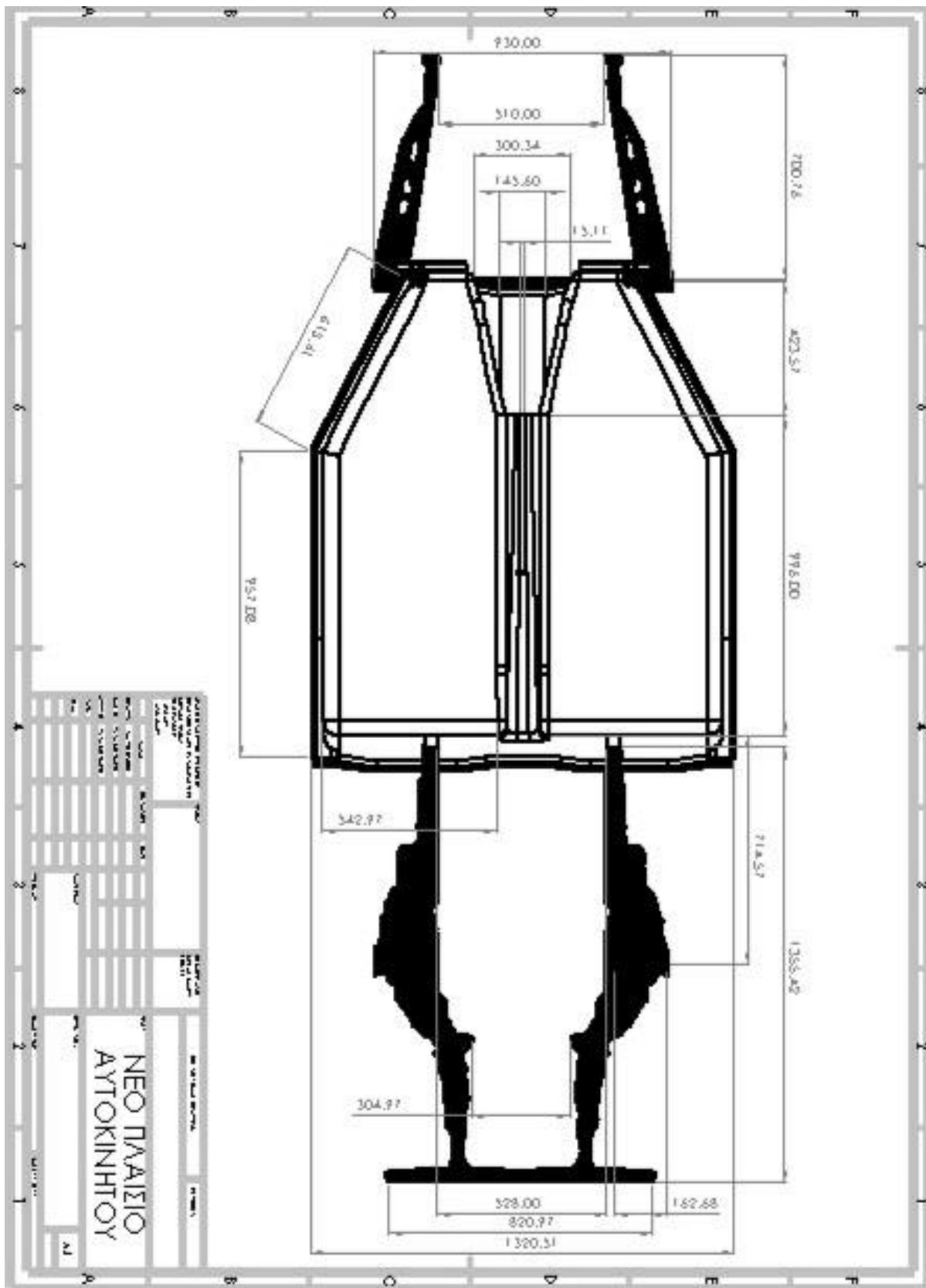
Σχήμα 4: Σχεδιάγραμμα εξαρτημάτων του υφιστάμενου πλαισίου



Σχήμα 5: Μηχανολογικός σχεδιασμός υφιστάμενου πλαισίου



Σχήμα 6: Μηχανολογικός σχεδιασμός νέου πλαισίου, πλάγια όψη

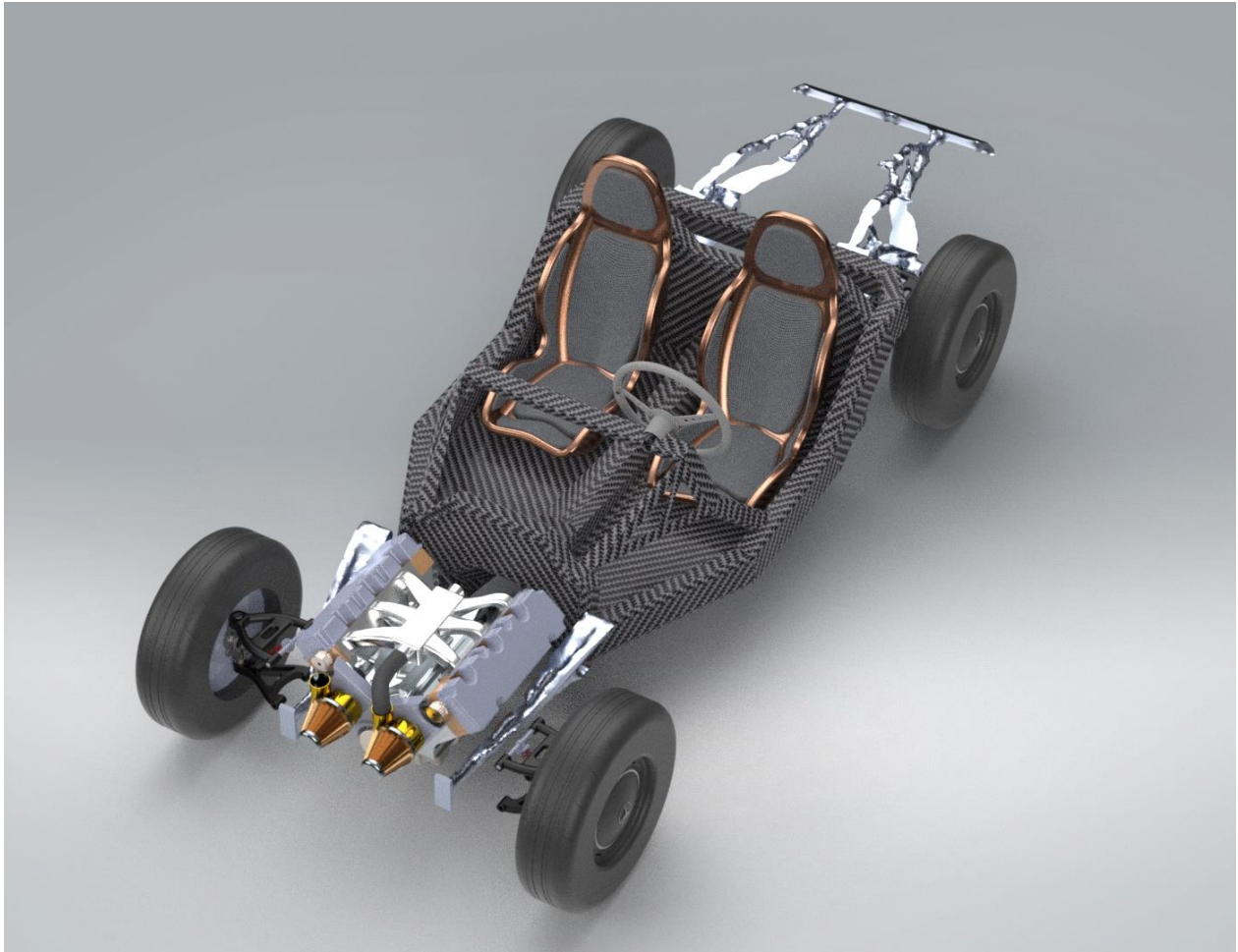


Σχήμα 6: Μηχανολογικός σχεδιασμός νέου πλαισίου, άνω όψη

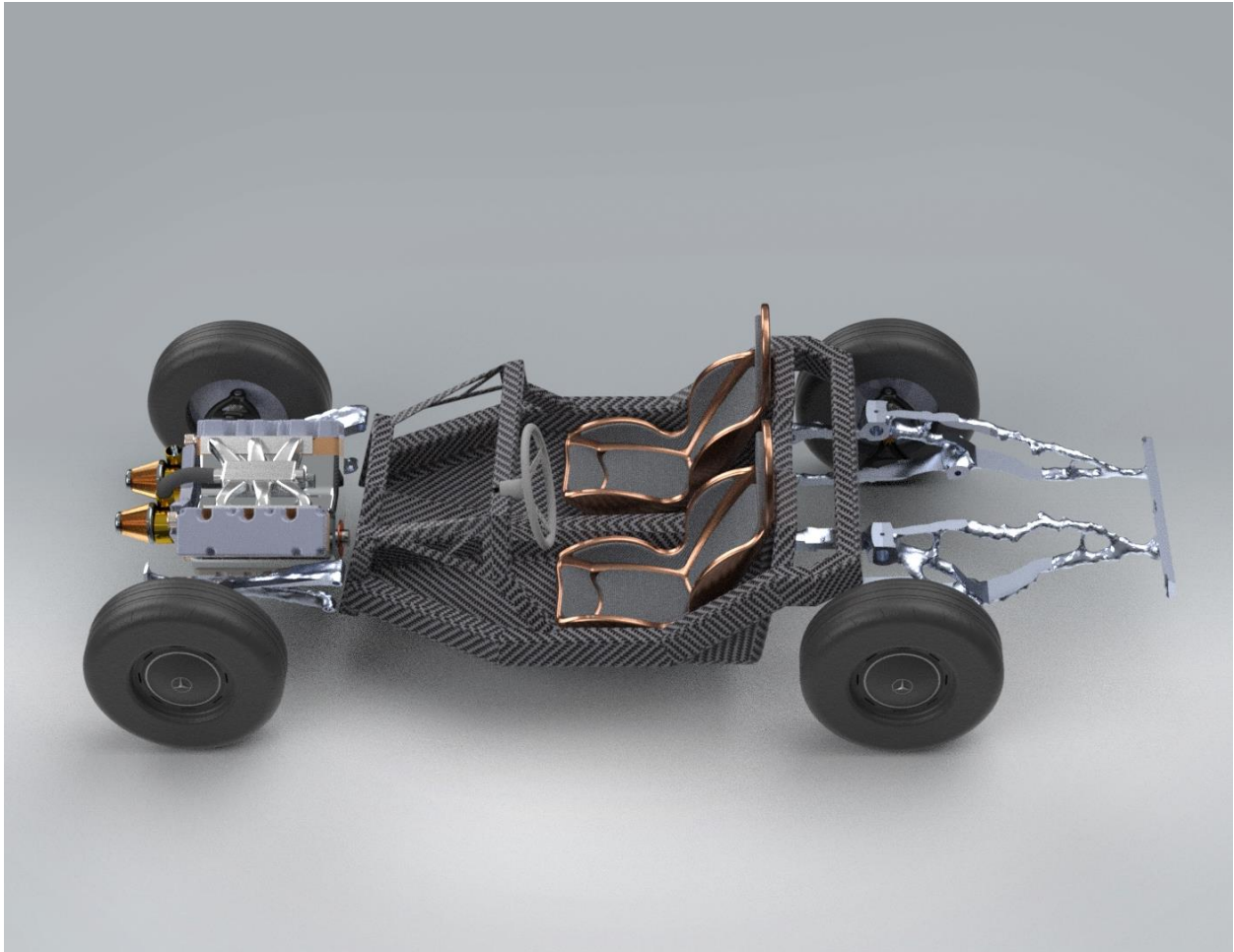
Παράρτημα Γ: Φωτορεαλιστικές απεικονίσεις νέου πλαισίου



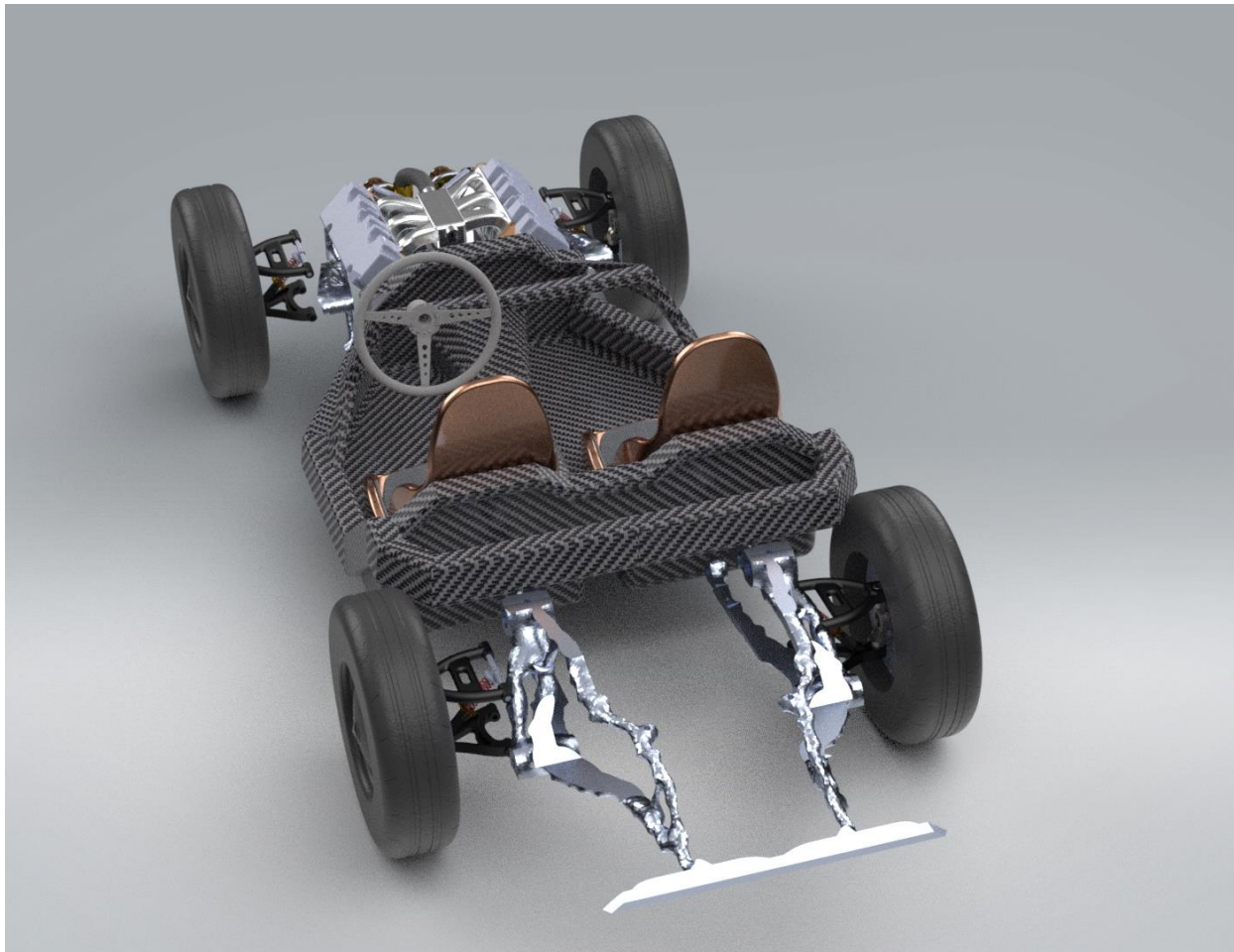
Σχήμα 6: Φωτορεαλιστική απεικόνιση νέου πλαισίου, πρώτη όψη



Σχήμα 7: Φωτορεαλιστική απεικόνιση νέου πλαισίου, δεύτερη όψη



Σχήμα 8: Φωτορεαλιστική απεικόνιση νέου πλαισίου, τρίτη όψη



Σχήμα 9: Φωτορεαλιστική απεικόνιση νέου πλαισίου, τέταρτη όψη