



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**« ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΟΜΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ
ΨΑΛΙΔΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ »**

ΜΙΧΑΗΛ Π. ΚΑΡΥΩΤΗΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: Κος ΓΕΩΡΓΙΟΣ – ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΣ ΒΟΣΝΙΑΚΟΣ
Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2010

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας και μαζί με αυτήν και τον κύκλο των σπουδών μου στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π., αισθάνομαι την ανάγκη και υποχρέωση πριν από την παρουσίαση της να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνέβαλαν στην πραγματοποίησή της.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου και επιβλέποντα της εργασίας, κύριο Γεώργιο – Χριστόφορο Βοσνιάκο για την συμπαράσταση του και για τις γνώσεις που μου προσέφερε καθ' όλη την διάρκεια της συγκεκριμένης εργασίας αλλά και κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Κατόπιν θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Σταμάτιο Γκιζελή για την παραχώρηση των σχεδίων της εργαλειομηχανής καθώς και τον κύριο Κωνσταντίνο Καραγιάννη, το μηχανικό της εταιρείας, για τις σημαντικές πληροφορίες που παρείχε και για τον ευρύτερο τρόπο σκέψης που με βοήθησε να αποκτήσω σχετικά με τη λειτουργία του ψαλιδιού.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ τέλος στην οικογένεια μου, για την συμπαράσταση και την βοήθειά τους κατά την διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων, καθώς και στους συμφοιτητές για τις κοινές εμπειρίες που μοιραστήκαμε τα χρόνια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	viii
ABSTRACT	ix
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ	3
1.1 Περιγραφή Εργαλειομηχανής	3
1.2 Περιγραφή του Προβλήματος.....	6
1.3 Μέσα Επίλυσης του Προβλήματος.....	7
1.3.1 CAD: Computer-aided design.....	7
1.3.2 CAE: Computer- aided engineering.....	7
1.3.3 Μεθοδολογία.....	8
1.4 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	10
2 ΣΥΝΘΕΣΗ ΣΩΜΑΤΟΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ.....	12
2.1 Σχεδίαση.....	12
2.2 Λειτουργικότητα	13
3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	16
3.1 Γενική Περιγραφή Μεθόδου	16
3.2 Επιλογή και Δημιουργία Πλέγματος.....	18
3.3 Προσομοίωση Δυνάμεων.....	19
3.3.1 Δυνάμεις που επενεργούν στην καρμανιόλα:	21
3.3.2 Δυνάμεις που επενεργούν στην βάση	24
4 ΜΕΛΕΤΗ ΔΟΜΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ.....	29
4.1 Παραμορφώσεις Λόγω Δυνάμεων Κοπής	29
4.1.1 Καρμανιόλα:	29
4.1.2 Βάση:.....	35
4.2 Παραμόρφωση Λόγω Στρέψης	43
5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	59
6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	63
7 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	65
7.1 Παράρτημα Ορισμών	65
7.2 Παράρτημα Σχεδίων.....	69
7.3 Παράρτημα Εικόνων	73

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1.1: Διάγραμμα ροής μεθόδου επίλυσης της εργαλειομηχανής...	9
Διάγραμμα 4.1: Καρμανιόλα - Οριζόντια παραμόρφωση πραγματικού μοντέλου	32
Διάγραμμα 4.2: Καρμανιόλα – Οριζόντια παραμόρφωση – Περίπτωση πρόσθεσης δύο κάθετων νεύρων	33
Διάγραμμα 4.3: Καρμανιόλα – Οριζόντια παραμόρφωση – Περίπτωση αύξησης πάχους της λαμαρίνας κατά 2 mm	35
Διάγραμμα 4.4: Βάση - Οριζόντια παραμόρφωση πραγματικού μοντέλου .	39
Διάγραμμα 4.5: Βάση - Οριζόντια παραμόρφωση - Πρόταση προσθήκης δύο νεύρων.....	41
Διάγραμμα 4.6: Βάση – Οριζόντια παραμόρφωση - Πρόταση αύξησης βάρους οριζόντιου ελάσματος	43
Διάγραμμα 4.7: Καρμανιόλα - Παραμόρφωση λόγω στρέψης – Πραγματική γεωμετρία.....	45
Διάγραμμα 4.8: Καρμανιόλα - Παραμόρφωση χωρίς το ενισχυτικό έλασμα ‘Γ’.....	46
Διάγραμμα 4.9: Καρμανιόλα - Παραμόρφωση της πραγματικής γεωμετρίας	47
Διάγραμμα 4.10: Μέγιστη παραμόρφωση λόγω στρέψης.	52
Διάγραμμα 4.11: Παραμόρφωση λόγω στρέψης συναρτήσει της ακτίνας του τόξου.	54
Διάγραμμα 5.1: Διάγραμμα συνολικών παραμορφώσεων	60

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά - G-Cut NC [®]	4
Πίνακας 3.1: Πληροφορίες πλέγματος	19
Πίνακας 3.2: Αντιδράσεις στις αρθρώσεις συναρτήσει του x.	26
Πίνακας 4.1: Καρμανιόλα - Οριζόντια παραμόρφωση πραγματικού μοντέλου	31
Πίνακας 4.2: Καρμανιόλα - Οριζόντια παραμόρφωση -Περίπτωση πρόσθεσης δύο κάθετων νεύρων	33
Πίνακας 4.3: Καρμανιόλα - Παραμόρφωση στην λεπίδα συνάρτηση της αύξησης του πάχους.....	34

Πίνακας 4.4: Καρμανιόλα - Οριζόντια Παραμόρφωση – Περίπτωση αύξησης πάχους της λαμαρίνας κατά 2 mm	35
Πίνακας 4.5: Βάση - Οριζόντια παραμόρφωση πραγματικού μοντέλου	38
Πίνακας 4.6: Βάση - Οριζόντια παραμόρφωση - Πρόταση προσθήκης δύο νεύρων.....	41
Πίνακας 4.7: Βάση – Οριζόντια παραμόρφωση - Πρόταση αύξησης βάρους οριζόντιου ελάσματος	43
Πίνακας 4.8: Καρμανιόλα - Παραμόρφωση λόγω στρέψης – Πραγματική γεωμετρία	44
Πίνακας 4.9: Καρμανιόλα - Παραμόρφωση χωρίς το ενισχυτικό έλασμα ‘Γ’	46
Πίνακας 4.10: Καρμανιόλα - Παραμόρφωση της πραγματικής γεωμετρίας	47
Πίνακας 4.11: Βαθμός συμβολής του κάθετου και οριζόντιου επιπρόσθετου πάχους	48
Πίνακας 4.12: Βέλτιστος συνδυασμός πάχους - βάρους.	48
Πίνακας 4.13:Μέγιστη παραμόρφωση λόγω στρέψης.....	52
Πίνακας 4.14:Παραμόρφωση λόγω στρέψης συναρτήσει της ακτίνας του τόξου.	54

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: G-Cut NC.....	4
Εικόνα 1.2: Εμπρόσθιος ανοιγόμενος προφυλακτήρας με διακόπτη ασφαλείας.....	4
Εικόνα 2.1: Αναλυτική απεικόνιση των μερών της εργαλειομηχανής (1)....	12
Εικόνα 2.2: Αναλυτική απεικόνιση των μερών της εργαλειομηχανής (2)....	12
Εικόνα 2.3: Συνολική σχεδίαση εργαλειομηχανής.	15
Εικόνα 3.1: Απεικόνιση Πεπερασμένων Στοιχείων.....	17
Εικόνα 3.2: Τετραεδρικό πεπερασμένο στοιχείο (πυραμίδα).	17
Εικόνα 3.3: Φόρα δύναμης εμβόλου.....	22
Εικόνα 3.4: Επιφάνεια άσκησης της δύναμης του εμβόλου.	23
Εικόνα 3.5: Κομμάτι προσομοίωσης λαμαρίνας.....	24
Εικόνα 3.6: Απεικόνιση πακτώσεων και εικονικού πατώματος στην βάση.	27
Εικόνα 3.7: Απεικόνιση αναπήδησης κατά την έναρξη της κατεργασίας (1)	28
Εικόνα 3.8: Απεικόνιση αναπήδησης κατά την έναρξη της κατεργασίας (2)	28
Εικόνα 4.1: Καρμανιόλα – Δημιουργία πλέγματος	30

Εικόνα 4.2: Κατανομή τάσεων κατά von Mises.....	31
Εικόνα 4.3: Καρμανιόλα – Περίπτωση πρόσθεσης δύο κάθετων νεύρων....	33
Εικόνα 4.4: Καρμανιόλα – Περίπτωση αύξησης πάχους της λαμαρίνας κατά 2 mm	34
Εικόνα 4.5: Βάση – Δημιουργία πλέγματος	36
Εικόνα 4.6: Βάση - Κατανομή τάσεων κατά von Mises.....	37
Εικόνα 4.7: Τομή εργαλειομηχανής - Οι πανομοιότυποι όγκοι της καρμανιόλας και της βάσης	38
Εικόνα 4.8: Απεικόνιση των παραμορφώσεων στη βάση κατά την κατεργασία και δημιουργία μάγουλων (σε τομή).....	40
Εικόνα 4.9: Βάση – Πρόταση προσθήκης δύο νεύρων.	41
Εικόνα 4.10: Βάση – Πρόταση αύξησης βάρους οριζόντιου ελάσματος	42
Εικόνα 4.11: Έλασμα καρμανιόλας σε σχήμα ‘Γ’	44
Εικόνα 4.12: Η καρμανιόλα χωρίς το έλασμα σχήματος ‘Γ’	46
Εικόνα 4.13: Υπάρχουσα γεωμετρία της καρμανιόλας σε τομή	47
Εικόνα 4.14: Καρμανιόλα - Γεωμετρία 1 ^{ης} πρότασης	49
Εικόνα 4.15: Καρμανιόλα - Γεωμετρία 2 ^{ης} πρότασης	51
Εικόνα 4.16: Καρμανιόλα - Γεωμετρία 3 ^{ης} πρότασης	52
Εικόνα 4.17: Καρμανιόλα - Γεωμετρία με μικρή ακτίνα τόξου.	53
Εικόνα 4.18: Καρμανιόλα - Γεωμετρία 4 ^{ης} πρότασης	55
Εικόνα 4.19: Καρμανιόλα - Γεωμετρία 5 ^{ης} πρότασης	56
Εικόνα 4.20: Γεωμετρία καρμανιόλας με την προσθήκη τριών δοκών σχήματος ‘Η’	57
Εικόνα 4.21: Γεωμετρία καρμανιόλας με την προσθήκη τεσσάρων δοκών σχήματος ‘Η’	58
Εικόνα 5.1: Απεικόνιση δυνάμεων και περιορισμών	61
Εικόνα Π. 1: Παραγόμενο προέκτασμα (burr) με χρήση χάρης 36%.....	67
Εικόνα Π. 2: Επίδραση της χάρης στη δύναμη, το έργο και την επιφάνεια αποχωρισμού κατά την κοπή.	68
Εικόνα Π. 3: Πλάγια όψη της εργαλειομηχανής σε τομή.	73

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΕΔΙΩΝ

Σχέδιο 3.1: Διάγραμμα ελεύθερου σώματος της καρμανιόλας.....	25
Σχέδιο 4.1: Κυκλική διατομή.....	50
Σχέδιο 4.2: Δακτυλιοειδής διατομή	50
Σχέδιο Π. 1: Υδραυλικό σύστημα της εργαλειομηχανής.....	69

Σχέδιο Π. 2: Διαστασιολόγηση καρμανιόλας (1).....	70
Σχέδιο Π. 3: Διαστασιολόγηση καρμανιόλας (2).....	70
Σχέδιο Π. 4: Διαστασιολόγηση βάσης (1)	71
Σχέδιο Π. 5: Διαστασιολόγηση βάσης (2)	71
Σχέδιο Π. 6: Διαστασιολόγηση δοκού σχήματος 'H'	72

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της δομικής επάρκειας βιομηχανικού υδραυλικού ψαλιδιού, με έμφαση στην ποιότητα της κατεργασίας. Κατά την διεξαγωγή της συγκεκριμένης μελέτης παρουσιάζεται η μεθοδολογία επίλυσης της εργαλειομηχανής με τη χρήση ολοκληρωμένου πακέτου πεπερασμένων στοιχείων. Αφού γίνει αναφορά στην ιστορία και την θεωρία της μεθόδου ακολουθεί η εφαρμογή της. Αφετηρία αποτελεί το σχεδιαστικό κομμάτι, δηλαδή η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου της εργαλειομηχανής. Το επόμενο βήμα περιγράφει τον υπολογισμό των δυνάμεων και την επιλογή των κατάλληλων περιορισμών κίνησης του ψαλιδιού. Η επιβεβαίωση του σχεδιασμού και των υπολογισμών των δυνάμεων παρέχεται από δοκιμαστικές επιλύσεις με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων και σύγκριση των αποτελεσμάτων με την πραγματικότητα. Αφού τα πειραματικά αποτελέσματα συμπίπτουν με τα πραγματικά ακολουθεί το επόμενο στάδιο της διπλωματικής. Σε αυτό το στάδιο προτείνονται εναλλακτικές γεωμετρίες στα δύο βασικά στοιχεία της εργαλειομηχανής : τη βάση και την καρμανιόλα. Εξετάζοντας σε κάθε πρόταση το ποσοστό κάλυψης των αναγκών της κατεργασίας και με κριτήριο το κόστος και τη βελτίωση της ποιότητας επιλέγονται οι τελικές προτάσεις. Στο τέλος γίνονται και κάποιες προτάσεις για περαιτέρω ανάλυση που θα βελτίωναν περισσότερο την ποιότητα της εργαλειομηχανής.

ABSTRACT

The purpose of this study is to show the structural sufficiency of an industrial hydraulic shear emphasizing on the quality of the process. During this study it is presented the methodology of resolution of the machine – tool with the finite elements method. After a short report on the method's theory, its application follows. Starting line constitutes the three dimensional design of the model of the machine – tool. The next step describes the calculation of forces and the choice of suitable restrictions of process' movement. The validation of the design and the calculations is provided by exanimating the real data with the outcome of finite elements method. Alternative geometries for the two basic elements of the machine - tool ; the base and the upper shear are proposed in this stage. Examining each proposal how percent they meet our needs, we select the final proposals. At last proposals are recommended for further analysis that would improve the quality of the machine – tool.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι εργαλειομηχανές αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της τεχνολογίας των κατεργασιών. Η χρήση τους είναι απαραίτητη για την παραγωγή σχεδόν όλων των προϊόντων, κάθε ένα από τα οποία απαιτεί συνήθως περισσότερες της μίας κατεργασίες. Η ποιότητα της κάθε κατεργασίας επηρεάζει συνολικά την τελική ποιότητα του προϊόντος. Δημιουργείται λοιπόν μία συνεχιζόμενη ανάγκη για δημιουργία καλύτερων και ποιοτικότερων εργαλειομηχανών με απώτερο σκοπό και την δημιουργία προϊόντων καλύτερης ποιότητας. Βασικά χαρακτηριστικά μιας εργαλειομηχανής αποτελούν η καινοτομία, η αντοχή, η αρχή λειτουργίας της και οι ανοχές της, βασικός στόχος των οποίων είναι η βελτίωση της ποιότητας της κατεργασίας και κατ' επέκταση των παραγόμενων προϊόντων.

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής αφορά στην εξέταση της δομικής επάρκειας ενός βιομηχανικού υδραυλικού ψαλιδιού λαμβάνοντας υπόψη τις δυνάμεις και τις παραμορφώσεις που δέχεται η εργαλειομηχανή. Επεξεργάζονται τρόποι για την βελτίωση της ποιότητας κοπής με τη χρήση πακέτου πεπερασμένων στοιχείων. Οι πληροφορίες που εξάγονται από πειραματικές γεωμετρίες και που θα στηρίζονται στην θεωρία και στην εμπειρία, οδηγούν σε εναλλακτικές προτάσεις για τη βελτίωση της εργαλειομηχανής.

Για να γίνει περισσότερο κατανοητό το πρόβλημα και ο τρόπος επίλυσης του, στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται αρχικά η δομή των κυρίων και περιφερικών της εργαλειομηχανής. Καθορίζονται τα δομικά προβλήματα της και επιλέγονται τα μέσα με τα οποία θα επεξεργασθούν τα προβλήματα και θα αναλυθεί η μεθοδολογία επίλυσης που θα ακολουθηθεί.

Το κεφάλαιο που ακολουθεί αφιερώνεται στη σύνθεση του σώματος της εργαλειομηχανής. Γίνεται αναφορά στη σχεδίαση των μεμονωμένων εξαρτημάτων της εργαλειομηχανής μέσω του σχεδιαστικού προγράμματος solidworks. Η σύνθεση της μηχανής ολοκληρώνεται με τη δημιουργία ενός λειτουργικού συνόλου, στο οποίο οι κινήσεις του ψαλιδιού αντιπροσωπεύουν με ακρίβεια την πραγματικότητα.

Στο επόμενο κεφάλαιο, περιγράφεται η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων σε θεωρητικό επίπεδο και αναλύονται οι δυνάμεις. Προσδιορίζονται οι βασικές αρχές της μεθόδου, όπως η επιλογή των κατάλληλων στοιχείων και η δημιουργία του πλέγματος στη γεωμετρία της εργαλειομηχανής. Υπολογίζονται οι δυνάμεις κοπής και οι αντιδράσεις στις αρθρώσεις της βάσης και τοποθετούνται οι κατάλληλοι περιορισμοί στα στοιχεία του ψαλιδιού.

Η προεργασία που αναλύεται στα παραπάνω κεφάλαια καταλήγει στη μελέτη της δομικής επάρκειας της εργαλειομηχανής. Το ψαλίδι διακριτοποιείται σε δύο στοιχεία, τη βάση και την καρμανιόλα τα οποία εξετάζονται ξεχωριστά.

Επιλύονται και θα αξιολογούνται διάφορες γεωμετρικές προσθήκες με σκοπό την επίτευξη μείωσης των παραμορφώσεων λόγω των δυνάμεων κοπής που αναπτύσσονται. Για την μείωση της παραμόρφωσης λόγω στρέψης παρατίθενται πέρα από προσθήκες και διαφορετικές γεωμετρίες της καρμανιόλας.

Η μελέτη κλείνει με την παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις συνολικές εφαρμογές που έγιναν στην παρούσα εργασία καθώς και με προτάσεις θεμάτων που προσφέρονται για περαιτέρω έρευνα.

1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

1.1 Περιγραφή Εργαλειομηχανής

Η προσπάθεια να ικανοποιηθεί ένα πλήθος αναγκών του ανθρώπου με την αξιοποίηση και εκμετάλλευση του μετάλλου, σε συνδυασμό με την εξέλιξη της τεχνολογίας, είχαν σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη μιας μεγάλης ποικιλίας μηχανών.

Με τον όρο *εργαλειομηχανές* ορίζονται οι μηχανές εκείνες που χρησιμεύουν ως εργαλεία για την εφαρμογή των διαφόρων μεθόδων στην παραγωγή προϊόντων. Κατά κανόνα οι εργαλειομηχανές, σταθερές στη θέση εργασίας τους, επεξεργάζονται και αξιοποιούν κυρίως το μέταλλο και αποδίδουν στο παραγόμενο προϊόν την επιθυμητή μορφή και μέγεθος με διαμόρφωση ή με αφαίρεση του πλεονάζοντος υλικού.

Η κατεργασία του ψαλιδισμού που μελετάται ανήκει στην κατηγορία αποχωρισμού-αποβολής υλικού και ειδικότερα στον τεμαχισμό. Η κατεργασία αυτή συναντάται στα πρώτα στάδια της παραγωγής ενός προϊόντος και περιλαμβάνει τον τεμαχισμό της λαμαρίνας σε μικρότερα κομμάτια [1].

Ιδιαίτερη θέση στις σύγχρονες εργαλειομηχανές έχουν οι εργαλειομηχανές με αυτόματο πρόγραμμα και ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Η μεγάλη πρόοδος της τεχνολογίας στους τομείς της ηλεκτρονικής, των ηλεκτρονικών υπολογιστών, της ηλεκτροτεχνίας, των υδραυλικών και των πνευματικών συστημάτων καθώς και του αυτόματου ελέγχου βρίσκει εφαρμογή στις εργαλειομηχανές. Οι κατάλληλες προσαρμογές και προσθήκες στη συγκρότηση των εργαλειομηχανών και ο εξοπλισμός τους με Ηλεκτρονικές Μονάδες Ελέγχου (Η.Μ.Ε.) καθιστούν δυνατή την πλήρη αυτοματοποίηση των κινήσεων και της λειτουργίας τους. Δημιουργήθηκε έτσι μια εντελώς νέα και με μεγάλες δυνατότητες και πλεονεκτήματα οικογένεια εργαλειομηχανών οι «Προγραμματιζόμενες Εργαλειομηχανές».

Η ειδική αριθμητική διατύπωση των εντολών (σε δυαδικό σύστημα) έχει δώσει στις εργαλειομηχανές αυτές και μια άλλη ονομασία με την οποία κυρίως χαρακτηρίζονται στη ξένη τεχνική ορολογία: «Εργαλειομηχανές αριθμητικού ελέγχου» ή «Εργαλειομηχανές NC» - από τα αρχικά γράμματα των αγγλικών λέξεων Numerical Control.

Η εργαλειομηχανή που εξετάζεται είναι ένα υδραυλικό ψαλίδι με τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά¹.

¹ Πηγή: <http://www.gizelis.gr>

Χαρακτηριστικά	Μοντέλο: G Cut NC 3006
Ικανότητα κοπής St42	6 mm
Ικανότητα κοπής ανοξείδωτου	4 mm
Μήκος κοπής	3100 mm
Γόνατο	180 mm
Διαδρομή οπίσθιου οδηγού	1000 mm
Μοίρες κοπής	1.4 degrees
Μέγιστη πίεση υδραυλικού κυκλώματος	255 bar
Ηλεκτρικός κινητήρας	11 KWatt
Μήκος	3820 mm
Πλάτος	3835 mm
Ύψος	1820 mm
Βάρος (κατά προσέγγιση)	7000 Kgr

Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά - G-Cut NC®



Εικόνα 1.1: G-Cut NC



Εικόνα 1.2: Εμπρόσθιος ανοιγόμενος προφυλακτήρας με διακόπτη ασφαλείας

Κάποια επιπλέον στοιχεία που χαρακτηρίζουν την εργαλειομηχανή είναι:

Βασικός εξοπλισμός

- Υδραυλικό ψαλίδι περιστροφικής κοπής.
- Συγκολλητό σώμα βαρέως τύπου.
- Επιπλέον συγκολλητή ενίσχυση στο μπροστινό μέρος (καθρέφτης).
- Συγκράτηση ελάσματος με υδραυλικούς συγκρατητήρες μονού εμβόλου, με ρύθμιση πίεσης ανάλογη της δύναμης κοπής.
- Πυκνότερη διάταξη συγκρατητήρων κοντά στην γωνιάστρα για καλύτερη συγκράτηση των μικρών τεμαχίων.
- Βιομηχανικός υπολογιστής ELGO Γερμανίας.
- Αυτόματος οπίσθιος οδηγός, με δυνατότητα προγραμματισμού διαδοχικών κοπών.
- Ηλεκτρική ρύθμιση του διάκενου κοπής από το control.
- Ειδικά μαχαίρια για κοπή κοινού και ανοξειδώτου χάλυβα.
- Μπίλιες ολισθήσεως πάνω στο τραπέζι.
- Εμπρόσθιο ανοιγμένο προφυλακτήρα με διακόπτη ασφαλείας.
- Βαθμονομημένους εμπρόσθιους οδηγούς (δύο κομμάτια) μήκους 1μ με κοκοράκια.
- Γωνιάστρα εμπρός μήκους 1μ.
- Κουμπί διακοπής σε περίπτωση κινδύνου.
- Πίσω πόρτες με φωτοκύτταρα ασφαλείας.

Πλεονεκτήματα ψαλιδιών περιστροφικής κοπής Boschert - Gizelis.

- Το κυρίως σώμα βαρέως τύπου εξασφαλίζει μέγιστη ακαμψία και διατήρηση σταθερού διακένου κοπής σε όλο το μήκος, ανεξαρτήτως φορτίου. Όλα τα ψαλίδια διαθέτουν επιπλέον συγκολλητή ενίσχυση εμπρός και εργαλειοφορέα σωληνωτού τύπου, άκαμπτης κατασκευής.
- Η έλλειψη οπίσθιου οδηγού κατά την κοπή, διασφαλίζει ότι το απόκομμα δεν εγκλωβίζεται ανάμεσα στη λεπίδα και τον οδηγό.
- Η περιστροφική κίνηση του άνω μαχαιριού, διασφαλίζει ότι το έλασμα δεν εγκλωβίζεται ανάμεσα στα μαχαίρια.
- Κατασκευή οπίσθιου οδηγού βαρέως τύπου σε σχήμα T.
- NEO PPS Proportional Pressure System. Αναλογικό σύστημα πίεσης λαδιού στους υδραυλικούς κυλίνδρους για άριστη ποιότητα κοπής.
- Όλα τα ψαλίδια Boschert - Gizelis χρησιμοποιούνε τη χαμηλότερη δυνατή κλίση κοπής, έτσι ώστε να αποφεύγεται η παραμόρφωση του ελάσματος.
- Μοναδική κατασκευή μηχανισμού υποστήριξης 3 θέσεων.

- Αυτόματη μέτρηση πάχους ελάσματος (σειρά CNC) και αυτόματη ρύθμιση διακένου κοπής.
- Επιμέρους υδραυλικά-ηλεκτρολογικά μέρη από τους πιο ποιοτικούς ευρωπαϊούς κατασκευαστές.
- Μεγάλη λίστα βασικού και επιπλέον εξοπλισμού.
- Μακρά εμπειρία και παράδοση στο χώρο των υδραυλικών ψαλιδιών.
- Απευθείας γραμμή επικοινωνίας για service και τεχνική υποστήριξη.

Βιομηχανικός Υπολογιστής ELGO

1. Ηλεκτρική ρύθμιση του διακένου κοπής από το control πάνελ.
2. NC αυτόματος οπίσθιος οδηγός.
3. Ρύθμιση χρόνου κοπής.
4. Ένδειξη πάχους ελάσματος.
5. Προγραμματισμός διαδοχικών κοπών.

Ειδικός εξοπλισμός κατά παραγγελία

- Παράγωνος οδηγός X1-X2.
- Σύστημα αυτόματης φορτοεκφόρτωσης.
- Μετακινούμενοι εμπρόσθιοι οδηγοί.
- Σύστημα με παλέτες για αποθήκευση μεγάλων φύλλων.
- Μετακινούμενο κατά μήκος πάνελ ελέγχου.
- PPS Proportional Pressure System. Αναλογικό σύστημα πίεσης λαδιού στους υδραυλικούς κυλίνδρους για άριστη ποιότητα κοπής.

1.2 Περιγραφή του Προβλήματος

Οι εξελίξεις της εποχής και η παγκοσμιοποίηση της αγοράς έχουν δημιουργήσει και στη βιομηχανία ένα παγκόσμιο ανταγωνισμό για καλύτερα προϊόντα. Η εξέλιξη μίας εργαλειομηχανής όμως με απλή μηχανική είναι περιορισμένη. Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων δίνει σήμερα πολλές περισσότερες δυνατότητες μελέτης και βελτίωσης μιας εργαλειομηχανής.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι αρχικά η εξέταση της δομικής επάρκειας του βιομηχανικού υδραυλικού ψαλιδιού, με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, και η μετέπειτα δομική του βελτίωση με σκοπό τη μείωση των παραμορφώσεων που επηρεάζουν την ποιότητα της κοπής.

Τρία είναι τα βασικά προβλήματα που έρχεται να αντιμετωπίσει ο σχεδιαστής μηχανικός στην εργαλειομηχανή που μελετάται.

Η εμπειρία έχει αναδείξει πως ένα σημαντικό πρόβλημα είναι η παραμόρφωση των λεπίδων, κάθετα στην διεύθυνση της κοπής, η οποία

συνεπάγεται αύξηση της χάρης² και έχει άμεσο αντίκτυπο στην ποιότητα της κοπής και στο παραγόμενο προϊόν.

Ένα εξίσου σημαντικό πρόβλημα είναι και η καταπόνηση του ψαλιδιού σε στρέψη κατά την διάρκεια της κατεργασίας. Η στρέψη αυτή οφείλεται στην αδυναμία του υδραυλικού συστήματος να κατανέμει την πίεση στα δύο έμβολα ανάλογα με τις απαιτήσεις της κατεργασίας σε κάθε θέση.

Για την άμεση αντιμετώπιση της στρέψης αυτής έχει προστεθεί στην γεωμετρία της εργαλειομηχανής ένα έλασμα σε σχήμα “ Γ ” το οποίο σημαίνει *πολυπλοκότερη γεωμετρία και επιπλέον βάρος* (358 κιλών) στο σύνολό της. Αυτό αποτελεί και το τελευταίο προς μελέτη πρόβλημα.

Η επίλυση των παραπάνω προβλημάτων γίνεται δυνατή χρησιμοποιώντας την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Προσομοιώνοντας αρχικά την γεωμετρία της εργαλειομηχανής, ελέγχεται η δομική της επάρκεια και στη συνέχεια εξετάζονται διάφορες εναλλακτικές για την επίλυση των παραπάνω προβλημάτων.

1.3 Μέσα Επίλυσης του Προβλήματος

Η εύρεση μίας κατασκευαστικά και οικονομικά αποδεκτής γεωμετρίας απαιτεί δύσκολες και χρονοβόρες μεθόδους. Θα ήταν σχεδόν αδύνατη μία τέτοια μελέτη χωρίς τις δυνατότητες που μας παρέχει η σύγχρονη τεχνολογία.

Η επίλυση του προβλήματος επιτυγχάνεται με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή και τις παρακάτω μεθοδολογίες:

1.3.1 CAD: Computer-aided design

Computer- aided design (CAD), όπως παραπέμπει και η ονομασία του, είναι η μέθοδος που βοηθάει στην σχεδίαση του προϊόντος και το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της είναι η ευκολία με την οποία μπορούμε να μεταβάλουμε τη γεωμετρία κάθε φορά που αυτό χρειάζεται. Το CAD επίσης επιτρέπει στον σχεδιαστή μηχανικό να περάσει στο επόμενο βήμα, το Computer- aided engineering (CAE).

1.3.2 CAE: Computer- aided engineering

Με τη χρήση του CAE θα προσομοιωθεί, θα επιλυθεί και θα βελτιωθεί η εργαλειομηχανή. Η κυρίαρχη μέθοδος CAE είναι αυτή των πεπερασμένων στοιχείων.

² Παράρτημα Ορισμών

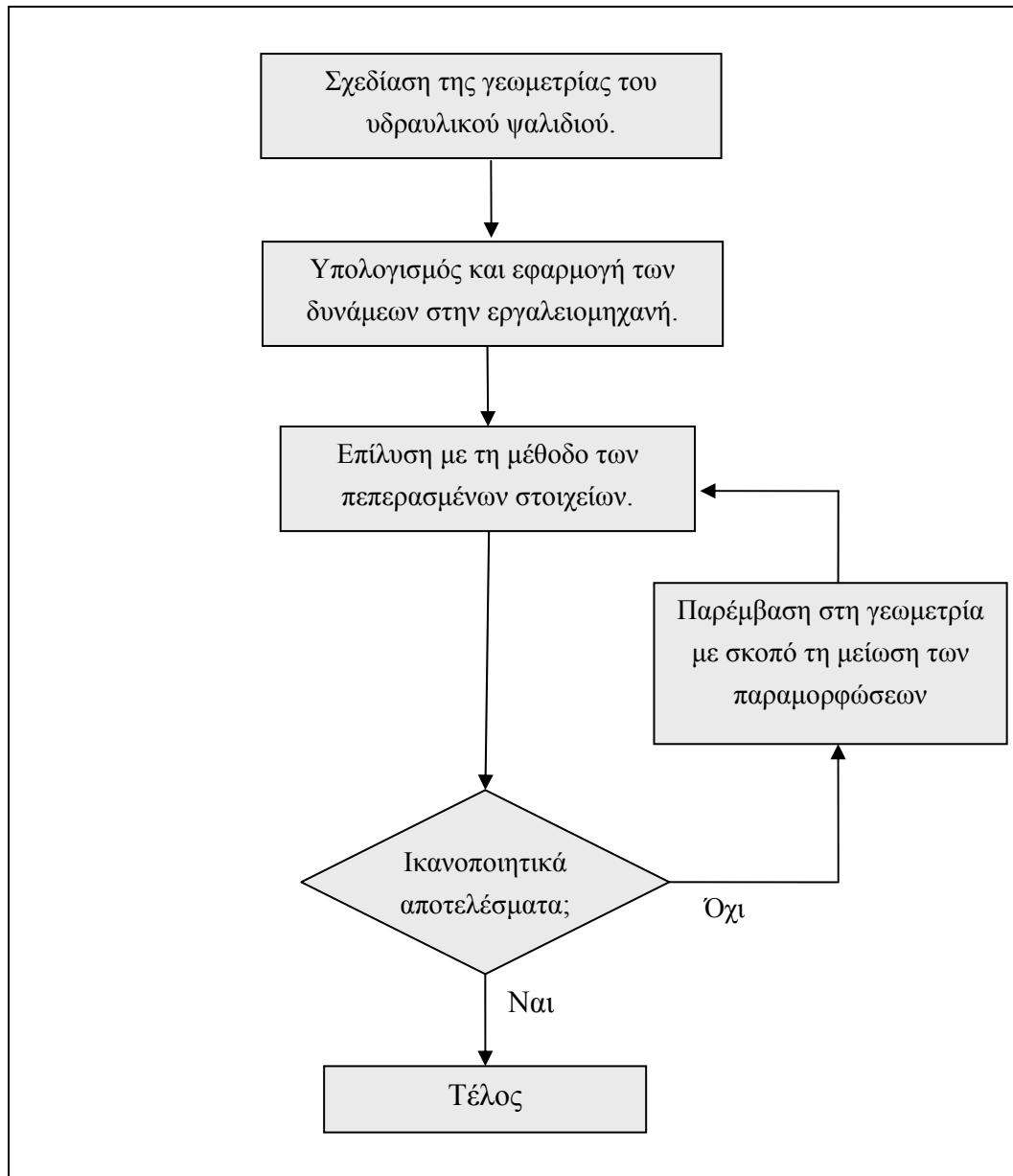
1.3.3 Μεθοδολογία

Στην συγκεκριμένη περίπτωση θα χρησιμοποιηθεί το πακέτο λογισμικού solidworks που περιλαμβάνει CAD και CAE. Στο σχεδιαστικό κομμάτι (CAD) σχεδιάζεται η βασική γεωμετρία της εργαλειομηχανής η οποία εν συνεχεία εξετάζεται από το CAE.

Στην συνέχεια χρησιμοποιώντας το CAE, για να προκύψουν όσο το δυνατόν αξιόπιστα αποτελέσματα πρέπει να έχει γίνει μια πολύ καλή προσομοίωση των πραγματικών δυνάμεων που εφαρμόζονται στην εργαλειομηχανή μας. Απροσεξίες και "μικρά" λάθη μπορούν να οδηγήσουν σε καταστροφικά αποτελέσματα εάν περάσουν στην παραγωγή.

Τελευταίο βήμα είναι η επιλογή των κριτηρίων των μεγεθών που θα μεταβληθούν ώστε να επέλθει βελτίωση της δομής της εργαλειομηχανής. Και εδώ το CAE δίνει μεγάλες δυνατότητες αρκεί να επιλεχθούν τα κατάλληλα μεγέθη. Μεγάλο ρόλο στην επιτυχία του τελικού αποτελέσματος, παίζει και η εμπειρία του σχεδιαστή μηχανικού

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται συγκεντρωτικά, σε έξι διακριτά βήματα, η μεθοδολογία που ακολουθείται κατά την διαδικασία επίλυσης του προβλήματος.



Διάγραμμα 1.1: Διάγραμμα ροής μεθόδου επίλυσης της εργαλειομηχανής

1.4 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Η μελέτη της εργαλειομηχανής με την χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων έχει βρει εφαρμογή σε μία πληθώρα μελετών μέχρι σήμερα. Ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα παρουσιάζεται παρακάτω.

1. Πολυσύνθετες λύσεις δομών για εξαιρετικά υψηλής ακρίβειας εργαλειομηχανές [9].

Η εργασία αυτή στοχεύει στο να μελετήσει καινοτόμες λύσεις δομών για εξαιρετικά υψηλής ακρίβειας εργαλειομηχανές. Η ύπαρξη πολλών πτυχών που επηρεάζουν την ακρίβεια και την απόδοση της εργαλειομηχανής, όπως ζητήματα στατικής, δυναμικής και θερμικής φόρτισης απαιτείται η χρήση μιας μεθόδου επίλυσης που θα δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα. Οι συντάκτες της εργασίας έχουν σχεδιάσει, πραγματοποιήσει και εξετάσει πρότυπα που χρησιμοποιούνται για τις θερμικές δοκιμές και έπειτα αξιολογούν τα πειραματικά στοιχεία με τα αποτελέσματα της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων.

2. Σύνθεση μορφής εργαλειομηχανής [10].

Το συγκεκριμένο άρθρο αναλύει τα πλεονεκτήματα που μπορούν να απορέσουν από τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων εργαλειομηχανών. Παρουσιάζει τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων και την οργάνωση μιας βάσης δεδομένων με μοντέλα εργαλειομηχανών. Ειδικότερα με το συνδυασμό της τρισδιάστατης γεωμετρίας των εργαλειομηχανών και τα πεπερασμένα στοιχεία δημιουργείται η δυνατότητα της πλήρους γνώσης της στατικής, δυναμικής συμπεριφοράς της εκάστοτε εργαλειομηχανής σε οποιαδήποτε θέση.

3. Προς την εικονική μηχανολογία στη σχεδίαση εργαλειομηχανών [11].

Οι συντάκτες της εργασίας αυτής απαριθμούν τα πλεονεκτήματα της σύγχρονης τεχνολογίας και συγκεκριμένα της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων. Περιγράφουν τη διαδικασία σχεδίασης ενός προϊόντος μέχρι της ίδιας της εργαλειομηχανής. Αναφέρουν τη δυνατότητα του σχεδιαστή μηχανικού να αξιολογήσει τη συμπεριφορά της μηχανής με ακρίβεια, γρήγορα και με μηδενικό κόστος.

4. Συνδυασμός γενετικών αλγορίθμων και πεπερασμένων στοιχείων για την επίτευξη μηχανικής βελτιστοποίησης [12].

Όπως προϋποθέτει και ο τίτλος της μελέτης θα γίνει χρήση δύο σύγχρονων μεθόδων για την βελτιστοποίηση ενός βιομηχανικού μοντέλου.

Η παρούσα μελέτη παρουσιάζει μια αποδοτική μεθοδολογία που σκοπό έχει να αναπτύξει ένα νέο μοντέλο βελτιστοποίησης βασισμένο στους γενετικούς αλγορίθμους που θα συνεργάζεται με ένα εμπορικό πακέτο πεπερασμένων στοιχείων. Ο στόχος είναι να αυτοματοποιηθεί η βελτιστοποίηση των στατικών κριτηρίων (πιέσεις, βάρος, δύναμη, κλπ...) με τα πεπερασμένα μοντέλα στοιχείων.

Στο προτεινόμενο μοντέλο, η διαδικασία βελτιστοποίησης έχει δύο μεταβλητές γεωμετρικές παραμέτρους :

- τη θέση που καθορίζει την ένταση του ήχου
- τις συγκεντρώσεις πιέσεων
- στόχος είναι η ελαχιστοποίηση των πιέσεων.

Η ακρίβεια του μοντέλου επαληθεύεται από πειραματικές μετρήσεις. Μια βιομηχανική εφαρμογή του γενετικού αλγορίθμου – πεπερασμένων στοιχείων μοντέλο υιοθετείται για να σχεδιαστεί η θέση λειτουργίας ενός υδροηλεκτρικού στροβίλου.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το μοντέλο συγκλίνει σε μια πολύ αποδοτική λύση χωρίς οποιαδήποτε επέμβαση μηχανικών.

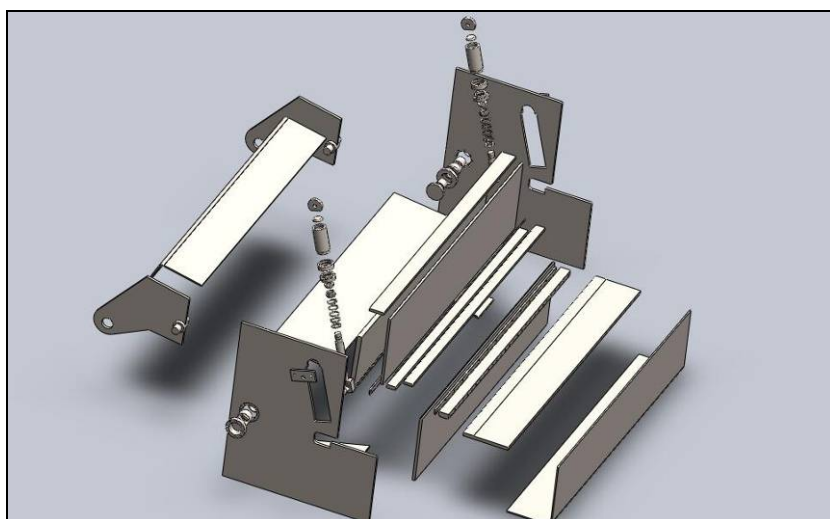
2 ΣΥΝΘΕΣΗ ΣΩΜΑΤΟΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ

2.1 Σχεδίαση

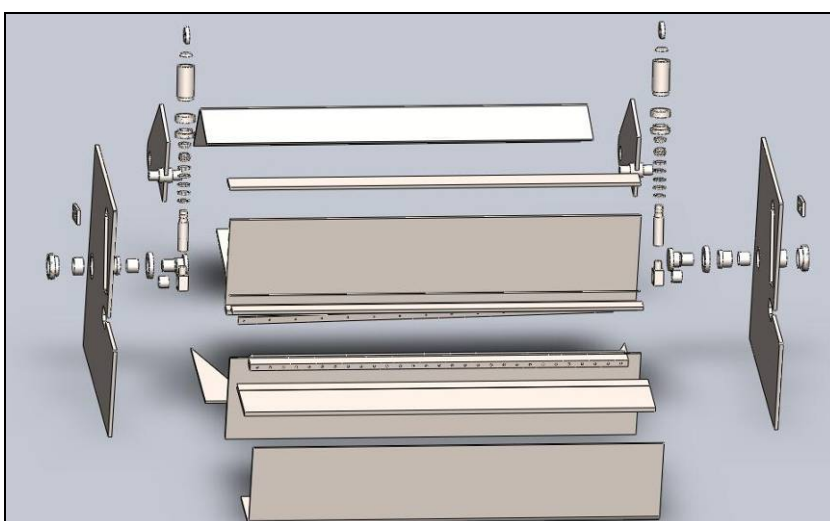
Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, το πρώτο στάδιο της επίλυσης είναι η τρισδιάστατη σχεδίαση της γεωμετρίας της εργαλειομηχανής με τη βοήθεια του CAD.

Η μεταφορά ολόκληρης της εργαλειομηχανής με τα περιφερειακά της συστήματα σε τρισδιάστατη μορφή είναι χρονοβόρα διαδικασία, ανούσια και πιθανώς να μην οδηγήσει σε λύση. Για αυτό το λόγω έχει σχεδιαστεί ο βασικός σκελετός του ψαλιδιού που ουσιαστικά δέχεται τις κύριες τάσεις και ροπές που ασκούνται κατά την κοπή.

Παρακάτω παρουσιάζονται σε ανάπτυγμα τα μέρη από τα οποία αποτελείται η εργαλειομηχανή.



Εικόνα 2.1: Αναλυτική απεικόνιση των μερών της εργαλειομηχανής (1)



Εικόνα 2.2: Αναλυτική απεικόνιση των μερών της εργαλειομηχανής (2)

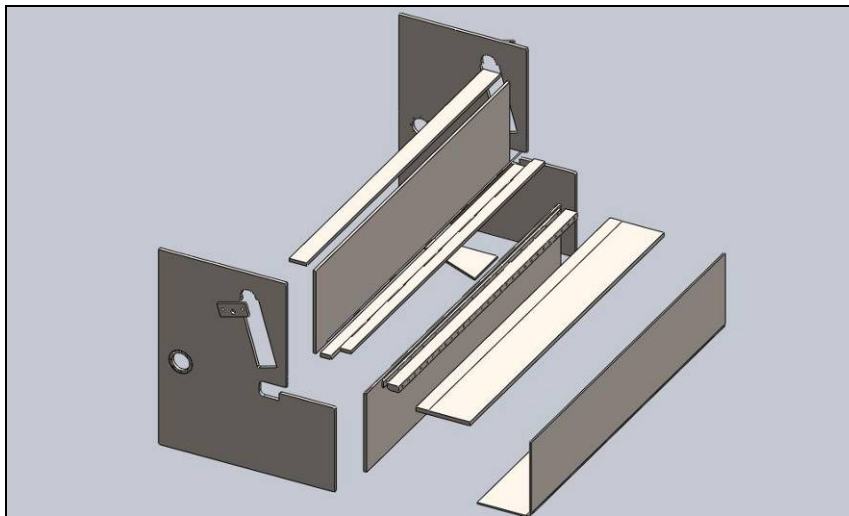
Συνολικά η εργαλειομηχανή αποτελείται από εξήντα τρία (63) κομμάτια, τα τριάντα επτά (7) από τα οποία είναι μοναδικά. Τα κομμάτια αυτά δεν έχουν καμία συνοχή μεταξύ τους και κινούνται ελεύθερα χωρίς κανέναν περιορισμό.

2.2 Λειτουργικότητα

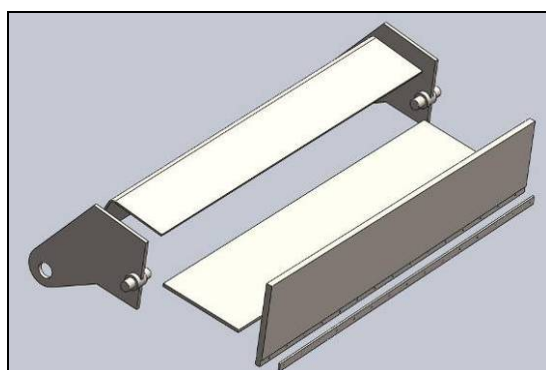
Για να επιτευχθεί ένα λειτουργικό σύνολο πρέπει να επιβληθούν οι κατάλληλοι περιορισμοί κίνησης σε κάθε κομμάτι της εργαλειομηχανής.

Για να μειωθούν οι συνθήκες περιορισμού (mates) των κομματιών και παράλληλα να απλοποιηθούν οι υπολογισμοί που απαιτούνται από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή στην φάση της επίλυσης, μετατράπηκαν κάποια κομμάτια σε ομάδες (blocks). Με την ενέργεια αυτή, οι εκατόν σαράντα δύο (142) περιορισμοί (mates) μειώθηκαν μόλις στους τριάντα οκτώ (38). Υπήρξε δηλαδή μια μείωση της τάξης του 73% στον αριθμό των περιορισμών κάνοντας και την σχεδίαση πιο "ελαφριά" για το σύστημα.

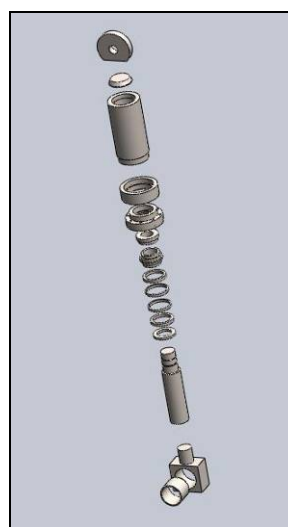
Οι κύριες ομάδες που τελικά δημιουργήθηκαν είναι τέσσερις:



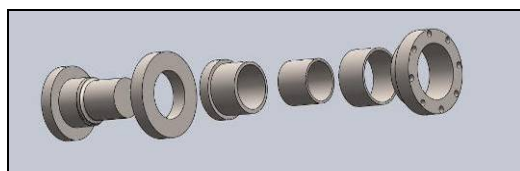
Βάση



Καρμανιόλα



Έμβολο



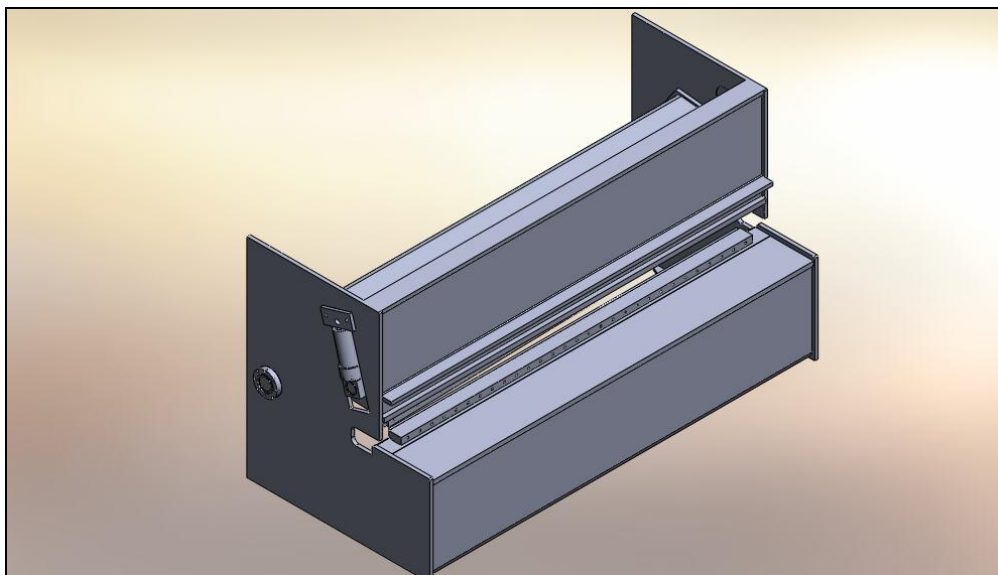
Σύνδεσμος

Η ομαδοποίηση έχει γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να διευκολυνθεί η ανάλυση της εργαλειομηχανής από εδώ και στο εξής. Κατά τη διάρκεια της μελέτης, στην φάση εκτέλεσης των υπολογισμών, παρατηρήθηκε ότι τα έμβολα στοιχίζουν αρκετά σε υπολογιστική ισχύ χωρίς όμως να δίνουν σημαντικές πληροφορίες όσον αφορά στις παραμορφώσεις. Για τον λόγο αυτό αφαιρέθηκαν και τοποθετήθηκαν στα σημεία εφαρμογής τους οι αντίστοιχες δυνάμεις.

Τελικώς η εργαλειομηχανή επιλέχθηκε να επιλυθεί σε δύο κομμάτια – ομάδες, τα:

- καρμανιόλα.
- βάση.

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει συνολικά την εργαλειομηχανή με τους κατάλληλους περιορισμούς κίνησης.



Εικόνα 2.3: Συνολική σχεδίαση εργαλειομηχανής.

Ολοκληρώνοντας την φάση της σχεδίασης της γεωμετρίας και την σύνδεσή της σε ένα λειτουργικό σύνολο ακολουθεί η επίλυση με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων

3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

3.1 Γενική Περιγραφή Μεθόδου

Η μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων έχει θεωρητική αφετηρία στις αρχές του εικοστού αιώνα και είναι συνυφασμένη με τον Γερμανό μαθηματικό W. Ritz (1909) και τον Ρώσο επίσης μαθηματικό B.G. Galerkin (1915). Η μέθοδος αυτή όμως αναπτύχθηκε και εξαπλώθηκε από το 1950 και μετά, λόγω του υπολογιστικού κόστους, με την εμφάνιση των ηλεκτρονικών υπολογιστών [6].

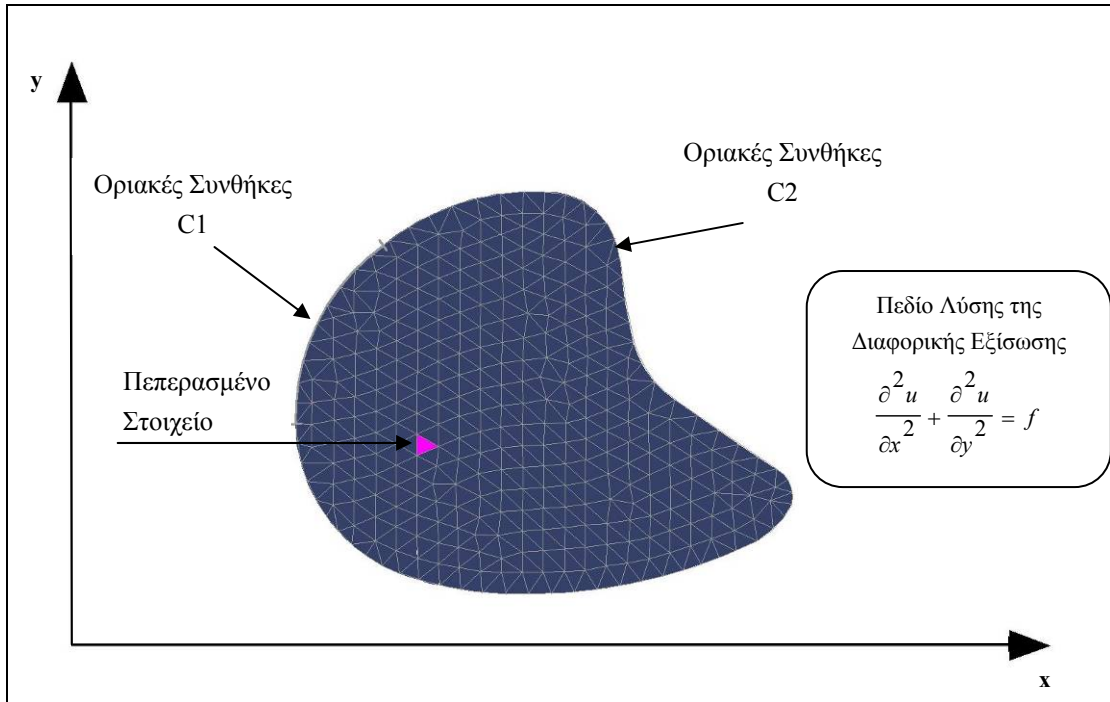
Η μέθοδος Galerkin - Ritz είναι μία μέθοδος προσέγγισης της λύσης διαφορικών εξισώσεων, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως στην αριθμητική ανάλυση.

Η δυναμικότητα των προσεγγιστικών μεθόδων που βασίζονται στα ενεργειακά θεωρήματα είναι πολύ μεγάλη και δίνει λύσεις σε σημεία που οι υπόλοιπες μέθοδοι δεν μπορούν να δώσουν. Κύριο χαρακτηριστικό των προσεγγιστικών μεθόδων είναι η ανάγκη προσδιορισμού ενός παραδεκτού πεδίου (π.χ. μετατοπίσεων) με την βοήθεια συναρτήσεων, που ορίζονται σε όλο το σώμα και ικανοποιούν ορισμένες συνθήκες στα σύνορα. Με τον τρόπο αυτό το αρχικό πρόβλημα του προσδιορισμού του πεδίου των μετατοπίσεων σε κάθε σημείο του σώματος (άπειρος βαθμός ελευθερίας κίνησης) μετασχηματίζεται σε ένα υποκατάστατο πρόβλημα προσδιορισμού αριθμού άγνωστων συντελεστών (πεπερασμένος βαθμός ελευθερίας). Το υποκατάστατο πρόβλημα δίνει μια προσεγγιστική λύση στο αρχικό πρόβλημα.

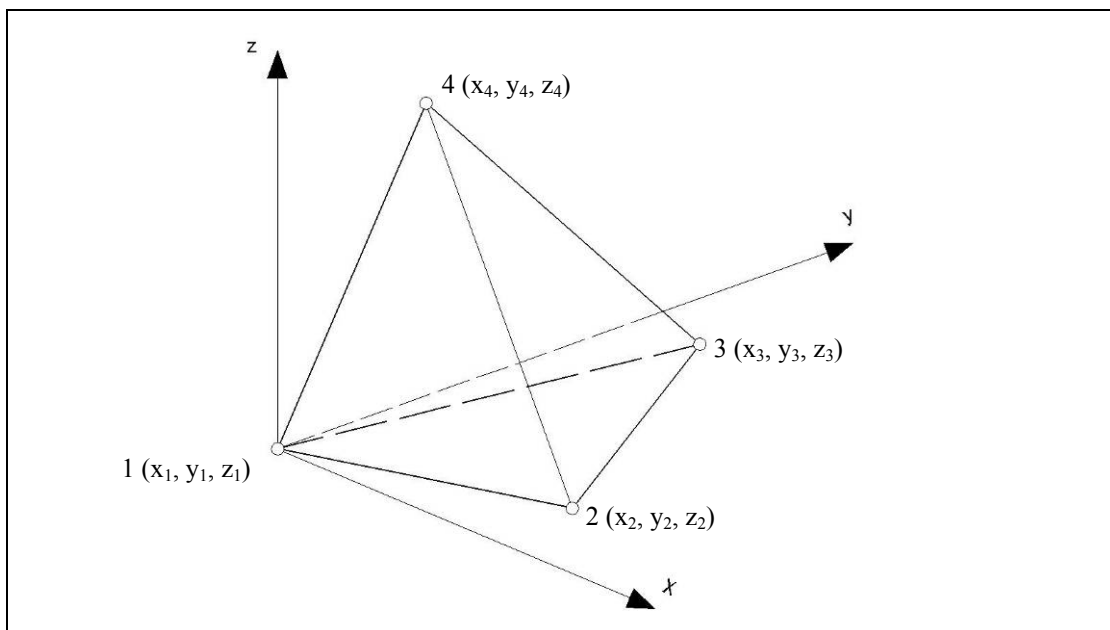
Η κατασκευή των συναρτήσεων, που ικανοποιούν τις συνθήκες στα σύνορα, είναι μια σχετικά εύκολη υπόθεση όταν το σύνορο του σώματος είναι απλό. Όσο πιο πολύπλοκο γίνεται όμως το σύνορο του σώματος τόσο δυσκολότερη έως αδύνατη γίνεται η ικανοποίηση των οριακών συνθηκών. Αυτό ακριβώς το πρόβλημα έρχεται να αντιμετωπίσει η Μεθοδολογία των Πεπερασμένων Στοιχείων [7].

Σύμφωνα με την μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων, το σώμα χωρίζεται σε έναν αριθμό περιοχών που λέγονται στοιχεία (εικόνα 3.1). Οι συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται μέσα σε κάθε στοιχείο είναι απλές και συνήθως κάποιες πολυωνυμικές εκφράσεις.

Χρησιμοποιώντας ένα μεγάλο αριθμό στοιχείων αποδίδεται μια καλή προσέγγιση της πραγματικής κατάστασης. Το τελικό αποτέλεσμα είναι να αναχθεί το αρχικό πρόβλημα σε ένα πρόβλημα με πεπερασμένο αριθμό βαθμών ελευθερίας κίνησης. Η μεθοδολογία αυτή μπορεί να υπαχθεί στη μεθοδολογία Galerkin-Ritz.



Εικόνα 3.1: Απεικόνιση Πεπερασμένων Στοιχείων



Εικόνα 3.2: Τετραεδρικό πεπερασμένο στοιχείο (πυραμίδα).

Για προβλήματα τρισδιάστατων πεδίων, το πεδίο επίλυσης υποδιαιρείται συνήθως σε τριγωνικά στοιχεία [4]. Εάν $F_{(x,y,z)}$ είναι η άγνωστη συνάρτηση τότε με το τρίγωνο Pascal δύο είναι οι πιο σκόπιμες περιπτώσεις επιλογής αντίστοιχων πολυωνύμων:

- a) Η γραμμική παρεμβολή: αντιστοιχεί σε 4 άγνωστους βαθμούς ελευθερίας.

$$F_{(x,y,z)} = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot y + a_3 \cdot z$$

- b) Η παρεμβολή 2^{ov} βαθμού: αντιστοιχεί σε 10 άγνωστους βαθμούς ελευθερίας.

$$F_{(x,y,z)} = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot y + a_3 \cdot z + a_4 \cdot x^2 + a_5 \cdot y^2 + a_6 \cdot z^2 + a_7 \cdot x \cdot y + a_8 \cdot y \cdot z + a_9 \cdot z \cdot x$$

Ένα ακόμα στάδιο της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων είναι η γένεση του πλέγματος στο γεωμετρικό μοντέλο. Τα σύγχρονα προγράμματα FEA (Finite Element Method) υποστηρίζουν την αυτόματη γένεση πλέγματος.

Η γένεση πλέγματος συνεπάγεται τη δημιουργία κομβικών συντεταγμένων και στοιχείων και περιλαμβάνει την αυτόματη αρίθμηση των κόμβων και στοιχείων βασισμένων στην ελάχιστη αλληλεπίδραση με τον χρήστη [2].

Μερικές μέθοδοι γένεσης πλέγματος είναι:

- Μέθοδος σύνδεσης κόμβων
- Μέθοδος αποσύζευξης τοπολογίας
- Μέθοδος αποσύζευξης γεωμετρίας
- Μέθοδος βάσει πλέγματος
- Μέθοδος απεικόνισης

3.2 Επιλογή και Δημιουργία Πλέγματος

Τα σημερινά πακέτα πεπερασμένων στοιχείων παρέχουν στον σχεδιαστή την ευκολία της αυτόματης γένεσης πλέγματος αλλά και την ελευθερία στο να επιλέξει αυτός το μέγεθος του πλέγματος που θα χρησιμοποιηθεί στις διάφορες επιφάνειες.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, επιλέχθηκε το πυκνότερο πλέγμα που μπορούσε να επεξεργαστεί ο υπολογιστής με σκοπό την εξαγωγή των περισσότερο αξιόπιστων αποτελεσμάτων.

Κατά την δημιουργία του πλέγματος χρειάστηκε να οριστούν οι παρακάτω παράμετροι:

- Συνθήκες επαφής (Contact conditions):
 - a) Bonded : συνδεδεμένοι κόμβοι
 - b) No penetration: οι κόμβοι δεν ενώνονται
 - c) Virtual wall : εικονικός τοίχος, στην περίπτωση μας πάτωμα.
Μέση τιμή του μεγέθους στοιχείου (Global size).
Ορίζει την μέση τιμή του μεγέθους των στοιχείων
- Ανοχή (Tolerance):
Ορίζει την ανοχή της απόστασης μεταξύ δύο κόμβων.
Αν η απόσταση μεταξύ των δύο κόμβων είναι μικρότερη από την προεπιλεγμένη τιμή ανοχής, τότε οι κόμβοι ενώνονται μεταξύ τους εκτός και αν έχει οριστεί διαφορετικά από τις συνθήκες επαφής.
Συνήθως ισούται με το 5% της μέσης τιμής του μεγέθους του στοιχείου.

Ειδικότερα για την δημιουργία πλέγματος στην καρμανιόλα και στην βάση της εργαλειομηχανής έχουν επιλεγεί οι ακόλουθοι παράμετροι:

	Καρμανιόλα	Βάση
Συνθήκες επαφής	Bonded No penetration: μεταξύ της λεπίδας και της λαμαρίνας	Virtual Wall :στην έδραση Bonded: όλα υπόλοιπα κομμάτια
Μέση τιμή μεγέθους στοιχείου	32 mm	36 mm
Ανοχή	1,60 mm	1,80 mm

Πίνακας 3.1: Πληροφορίες πλέγματος

3.3 Προσομοίωση Δυνάμεων

Ένα από τα πιο σημαντικά κομμάτια για την ακρίβεια και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων στην μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων αποτελεί η όσο το δυνατόν ρεαλιστικότερη μεταφορά των πραγματικών δυνάμεων και περιορισμών.

Η βασική δύναμη που επενεργεί κατά την κατεργασία είναι η δύναμη κοπής, δηλαδή η δύναμη που απαιτείται για την κοπή της εκάστοτε λαμαρίνας. Η δύναμη αυτή, όπως είναι φυσικό, εξαρτάται κάθε φορά από τη φύση και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της λαμαρίνας που πρόκειται να κοπεί.

Η δύναμη κοπής αναλύεται για ευκολία σε δύο μεταξύ τους κάθετες δυνάμεις:

- κάθετη δύναμη κοπής:
$$F_k = \frac{(\sigma_k \cdot t^2)}{(2 \cdot \tan a)} \quad (\text{τύπος 1})$$

- οριζόντια δύναμη κοπής:
$$F_h = \frac{1}{3} \cdot F_k \quad (\text{τύπος 2})$$

$0,9 \cdot \sigma_B$, για μαλακά υλικά

Όπου σ_k : $0,8 \cdot \sigma_B$

$0,7 \cdot \sigma_B$, για σκληρά υλικά

σ_B : το όριο θραύσης του υλικού σε εφελκυσμό (tensile strength)

t : το πάχος του ελάσματος

a : η γωνία κοπής

Στη συγκεκριμένη μελέτη για την διερεύνηση των μέγιστων δυνάμεων και παραμορφώσεων που καταπονούν την εργαλειομηχανή λαμβάνονται ως δεδομένα οι οριακές τιμές των παραπάνω μεγεθών:

$$t = 6mm$$

$$a = 1,4^\circ$$

$$\sigma_B = 440 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_k = 0,9 \cdot \sigma_B = 396 \frac{N}{mm^2}$$

$$F_k = 291659,31N$$

$$F_h = 97219,77N$$

Σύμφωνα με την θεωρία της κοπής η οριζόντια δύναμη που ασκείται ισούται με το ένα τρίτο της κάθετης δύναμης. Στην πραγματικότητα όμως η εμπειρία μας δείχνει ότι η δύναμη αυτή δεν ξεπερνά το ένα πέμπτο της κάθετης δύναμης κοπής.

Την πραγματικότητα έρχεται να επιβεβαιώσει και η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων όπου ύστερα από δοκιμαστική εφαρμογή και των δύο παραπάνω περιπτώσεων απέδειξε ότι υπολογίζοντας την οριζόντια δύναμη κοπής στο ένα πέμπτο της κάθετης δύναμης τα αποτελέσματα είναι περισσότερο ρεαλιστικά.

Έπειτα από αυτή την διαπίστωση σαν οριζόντια δύναμη χρησιμοποιήθηκε η:

$$F_h = \frac{1}{5} \cdot F_k$$

Όπως θα εξηγηθεί και παρακάτω η επίλυση της καρμανιόλας γίνεται στατικά.

Για την εξαγωγή πληροφοριών σε κάθε θέση κοπής η λεπίδα έχει διαχωριστεί σε δεκατρείς τριγωνικές επιφάνειες. Κάθε μία από τις παραπάνω επιφάνειες που εφαρμόζονται οι δυνάμεις κοπής (F_k, F_h), αντικαθιστούν και δεκατρείς θέσεις του σημείου κοπής που έχει επιλυθεί στατικά.

Η εκλογή της τριγωνικής επιφάνειας ως της πιο αντιπροσωπευτικής της κοπής έχει παρθεί από το αποτύπωμα που αφήνει η λεπίδα κατά τη μέγιστη βύθιση σε λαμαρίνα πάχους 6mm.

3.3.1 Δυνάμεις που επενεργούν στην καρμανιόλα:

Πέρα από τις δυνάμεις κοπής που αναλύθηκαν παραπάνω η εργαλειομηχανή λαμβάνει δύναμη και από ένα υδραυλικό σύστημα μέσω δύο εμβόλων διπλής ενεργείας. Το διάγραμμα του υδραυλικού συστήματος παρατίθεται στο Παράρτημα σχεδίων.

Η απαίτηση της εργαλειομηχανής σε πίεση που πρέπει να καλυφθεί υπολογίζεται μέσω της ισορροπίας ροπών ως προς τον άξονα περιστροφής της καρμανιόλας. Ο υπολογισμός της πίεσης αυτής έγινε με το σκεπτικό ότι τα έμβολα πρέπει να αντισταθμίζουν και να υπερνικούν την ροπή που δημιουργούν οι δυνάμεις κοπής έτσι ώστε να επέλθει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Ο μαθηματικός υπολογισμός των δυνάμεων παρουσιάζεται παρακάτω:

$$M_A = M_B = \frac{F_k}{2} \cdot 0,8788 = 128.155,10 N \cdot m$$

$$F_{\text{εμβ}} = \frac{M_A}{\kappa} = 156.731,90 N$$

Μια πρώτη επαλήθευση των υπολογισμών γίνεται συγκρίνοντας την $F_{\text{εμβ}}$ που υπολογίστηκε, με τη μέγιστη δύναμη που μπορεί να παρέχει το υδραυλικό σύστημα του ψαλιδιού, η οποία είναι:

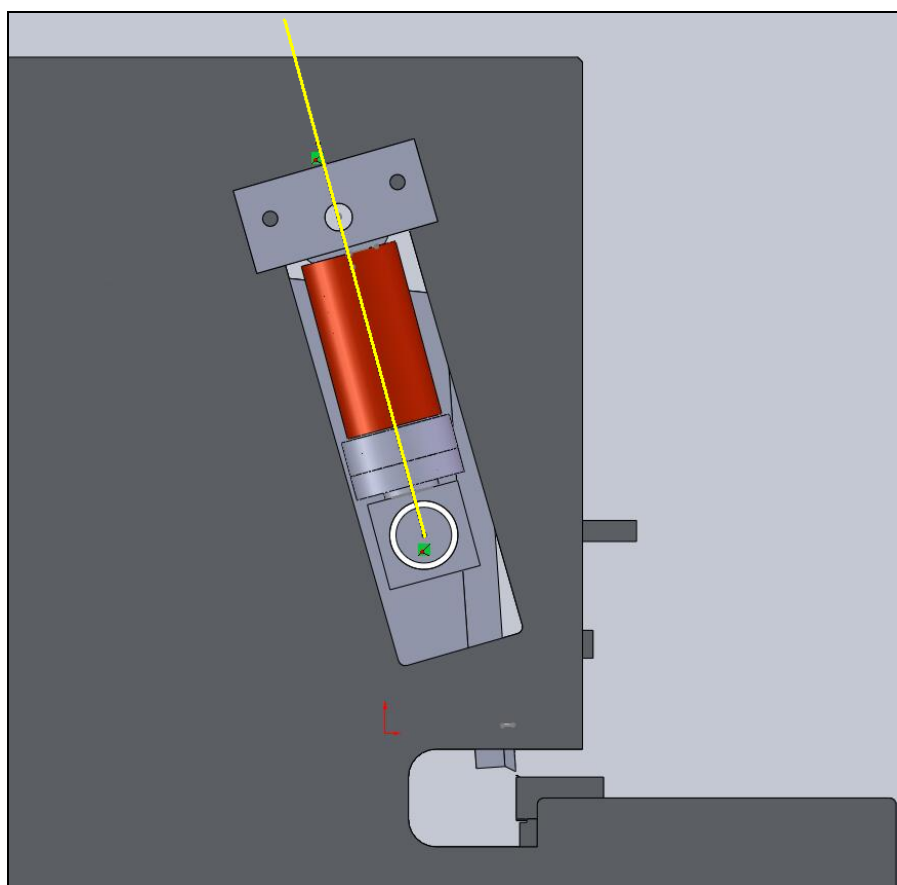
$$F_{\text{max}} = P \cdot A = 255 \cdot 10^5 \frac{N}{mm^2} \cdot \pi \cdot (48,5 \cdot 10^{-3} mm)^2 = 188.344,66 N$$

δηλαδή:

$$F_{\text{εμβ}} = 156731,90 N < F_{\text{max}} = 188344,66 N$$

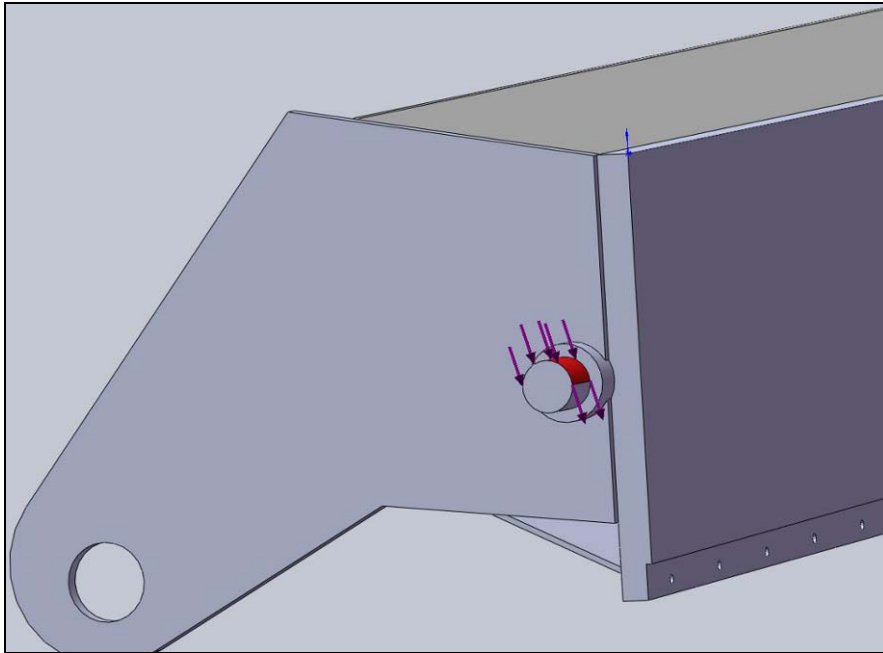
Η περιστροφική αρχή λειτουργίας του υδραυλικού ψαλιδιού αναγκάζει τα έμβολα να τοποθετούνται υπό κλίση και όσο το δυνατόν εφαπτομενικά με την περιστροφική κίνηση. Η δύναμη του εμβόλου έχει υπολογιστεί έτσι ώστε να εφαρμοσθεί με φορά τον άξονα του εμβόλου, δηλαδή 106° από το οριζόντιο επίπεδο (εικόνα 2.6). Στην πραγματικότητα το έμβολο περιστρέφεται καθώς κατεβαίνει για

την κοπή αλλά αυτή η μεταβολή της γωνίας είναι της τάξης της 1 με 2 μοίρες κάτι που δεν επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα μας.



Εικόνα 3.3: Φόρα δύναμης εμβόλου

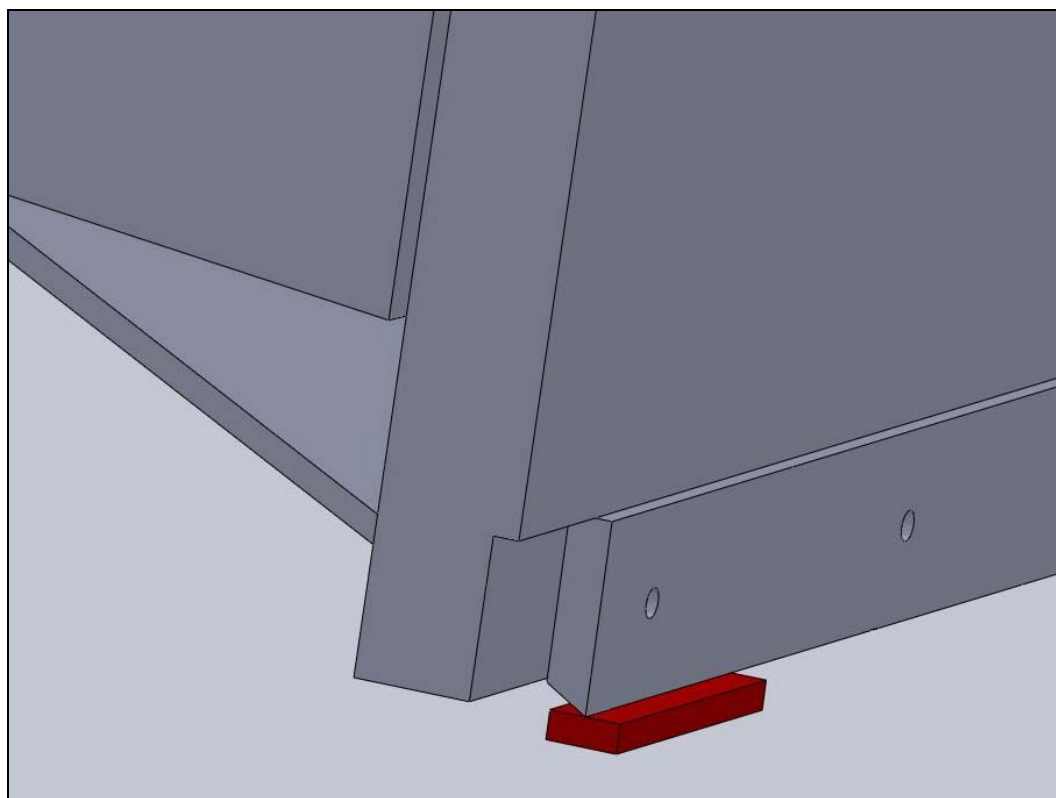
Οι δυνάμεις που ασκούν τα έμβολα τοποθετούνται σε συγκεκριμένες επιφάνειες πάνω στην καρμανιόλα ώστε να ανταποκρίνονται όσο το δυνατό καλύτερα στην πραγματικότητα.



Εικόνα 3.4: Επιφάνεια άσκησης της δύναμης του εμβόλου.

Για την επίλυση της καρμανιόλας ως μεμονωμένο κομμάτι απαιτείται να μπουν κάποιοι περιορισμοί κίνησης στα σημεία των αρθρώσεων. Η μόνη ελεύθερη κίνηση που επιτρέπει ο περιορισμός αυτός είναι η περιστροφή κατά τον άξονα των x .

Επειδή η επίλυση που θα εκτελεστεί είναι στατική, η κάθετη δύναμη κοπής (F_k) αντικαθιστάται με ένα υποθετικό κομμάτι υλικού (εικόνα 3.5) πακτωμένο, ώστε να αποτρέψει την καρμανιόλα να περιστραφεί. Για την ανάλυση των δυνάμεων και των παραμορφώσεων σε κάθε θέση της κοπής, επίσης, η λεπίδα κατανέμεται σε δεκατρείς ίσες τριγωνικές επιφάνειες που προσομοιάζουν την μέγιστη επιφάνεια που δρα το ψαλίδι κάθε φορά.



Εικόνα 3.5: Κομμάτι προσομοίωσης λαμαρίνας

3.3.2 Δυνάμεις που επενεργούν στην βάση

Βάση του νόμου δράσης – αντίδρασης, ασκούνται και στην βάση οι αντίστοιχες αντιδράσεις των δυνάμεων κοπής (F_{κ} , F_h).

Επιλύοντας την βάση ως μεμονωμένο κομμάτι, απαιτείται η μεταφορά των δυνάμεων που ασκούνται στην καρμανιόλα, με ισολογισμό των δυνάμεων, στις αρθρώσεις της βάσης.

Αναλυτικότερα,

$$\Sigma F_x = 0 \Leftrightarrow A_x + F_{\epsilon\mu\beta}^x - F_h + F_{\epsilon\mu\beta}^x + B_x = 0$$

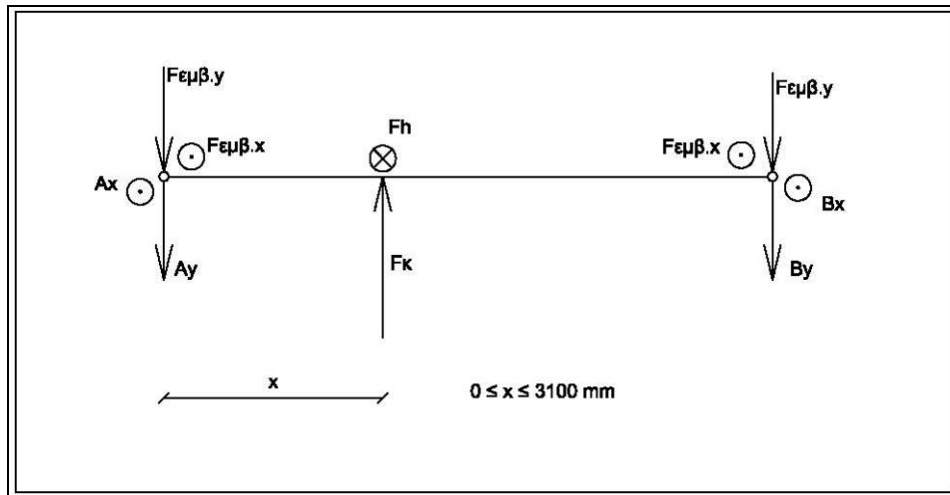
$$\Sigma F_y = 0 \Leftrightarrow -A_y - F_{\epsilon\mu\beta}^y + F_{\kappa} - B_y - F_{\epsilon\mu\beta}^y = 0$$

$$\Sigma M_A^x = 0 \Leftrightarrow F_{\kappa} \cdot x - F_{\epsilon\mu\beta}^y \cdot l - B_y \cdot l = 0$$

$$\Sigma M_A^y = 0 \Leftrightarrow F_h \cdot x - F_{\epsilon\mu\beta}^x \cdot l - B_x \cdot l = 0$$

(Οι ροπές έχουν υπολογιστεί με θετική φορά την αριστερόστροφη)

Στο σχέδιο που ακολουθεί φαίνονται οι θέσεις και οι φορές των δυνάμεων που ασκούνται στην καρμανιόλα.



Σχέδιο 3.1: Διάγραμμα ελεύθερου σώματος της καρμανιόλας

Από τις παραπάνω σχέσεις, δημιουργείται ένα σύστημα τεσσάρων ανεξάρτητων εξισώσεων με τέσσερις αγνώστους:

$$A_y, B_y, A_x, B_x$$

οι οποίοι τελικά προκύπτουν από τις σχέσεις:

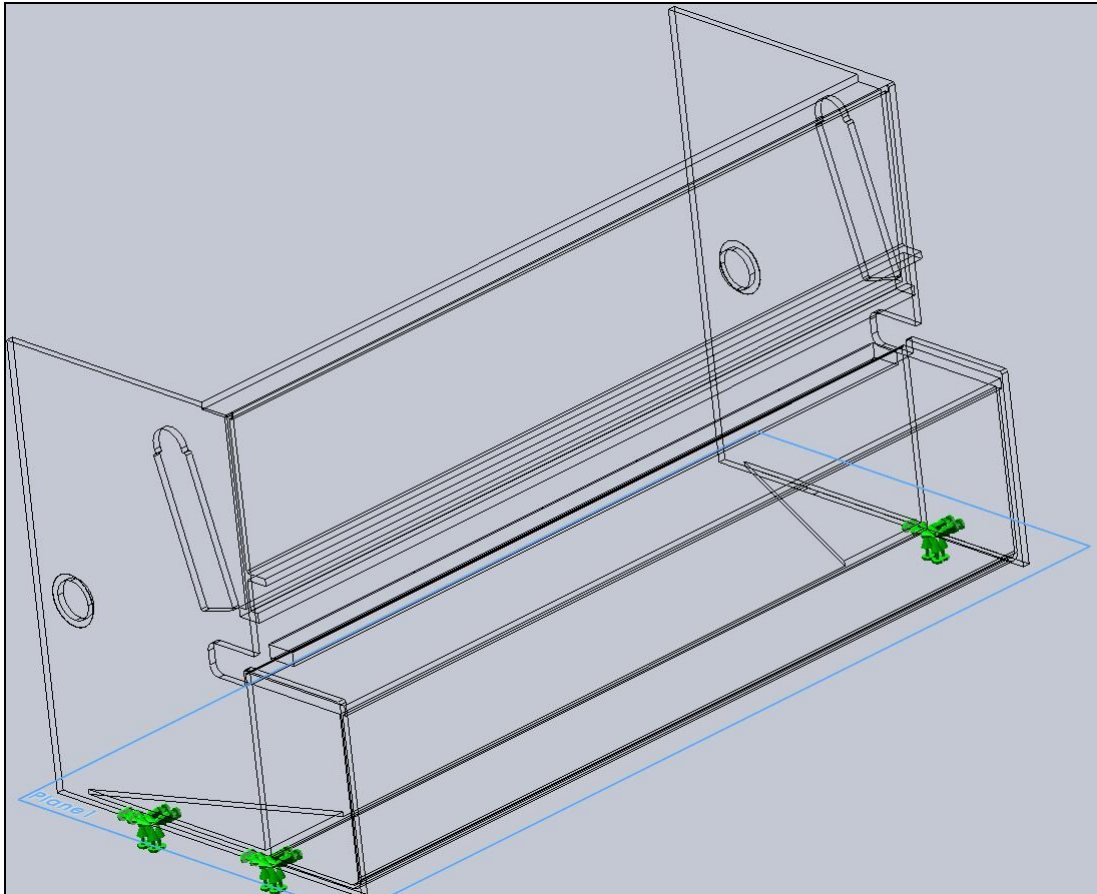
$$\begin{aligned} A_x &= F_h - 2 \cdot F_{\varepsilon\mu\beta}^x - B_x & A_y &= F_{\kappa} - 2 \cdot F_{\varepsilon\mu\beta}^y - B_y \\ B_x &= \frac{F_h \cdot x}{l} - F_{\varepsilon\mu\beta}^x & B_y &= F_{\kappa} \cdot \frac{x}{l} - F_{\varepsilon\mu\beta}^y \end{aligned}$$

Με τους παραπάνω υπολογισμούς έχουμε την δυνατότητα να γνωρίζουμε τις αντιδράσεις στους συνδέσμους συναρτήσει της απόστασης “x” ($0 \leq x \leq 3100\text{mm}$). (πίνακας 3.2)

x(m)	Bx(N)	By(N)	Ax(N)	Ay(N)
0,00	- 43.201,19	- 150.658,99	15.130,68	141.000,32
0,10	- 41.319,51	- 141.250,62	13.249,00	131.591,96
0,20	- 39.437,84	- 131.842,26	11.367,33	122.183,59
0,30	- 37.556,17	- 122.433,89	9.485,66	112.775,23
0,40	- 35.674,49	- 113.025,53	7.603,98	103.366,86
0,50	- 33.792,82	- 103.617,16	5.722,31	93.958,50
0,60	- 31.911,15	- 94.208,80	3.840,64	84.550,13
0,70	- 30.029,47	- 84.800,43	1.958,97	75.141,77
0,80	- 28.147,80	- 75.392,07	77,29	65.733,40
0,90	- 26.266,13	- 65.983,70	- 1.804,38	56.325,04
1,00	- 24.384,46	- 56.575,34	- 3.686,05	46.916,67
1,10	- 22.502,78	- 47.166,97	- 5.567,73	37.508,31
1,20	- 20.621,11	- 37.758,61	- 7.449,40	28.099,94
1,30	- 18.739,44	- 28.350,25	- 9.331,07	18.691,58
1,40	- 16.857,76	- 18.941,88	- 11.212,75	9.283,21
1,50	- 14.976,09	- 9.533,52	- 13.094,42	- 125,15
1,60	- 13.094,42	- 125,15	- 14.976,09	- 9.533,52
1,70	- 11.212,75	9.283,21	- 16.857,76	- 18.941,88
1,80	- 9.331,07	18.691,58	- 18.739,44	- 28.350,25
1,90	- 7.449,40	28.099,94	- 20.621,11	- 37.758,61
2,00	- 5.567,73	37.508,31	- 22.502,78	- 47.166,97
2,10	- 3.686,05	46.916,67	- 24.384,46	- 56.575,34
2,20	- 1.804,38	56.325,04	- 26.266,13	- 65.983,70
2,30	77,29	65.733,40	- 28.147,80	- 75.392,07
2,40	1.958,97	75.141,77	- 30.029,47	- 84.800,43
2,50	3.840,64	84.550,13	- 31.911,15	- 94.208,80
2,60	5.722,31	93.958,50	- 33.792,82	- 103.617,16
2,70	7.603,98	103.366,86	- 35.674,49	- 113.025,53
2,80	9.485,66	112.775,23	- 37.556,17	- 122.433,89
2,90	11.367,33	122.183,59	- 39.437,84	- 131.842,26
3,00	13.249,00	131.591,96	- 41.319,51	- 141.250,62
3,10	15.130,68	141.000,32	- 43.201,19	- 150.658,99

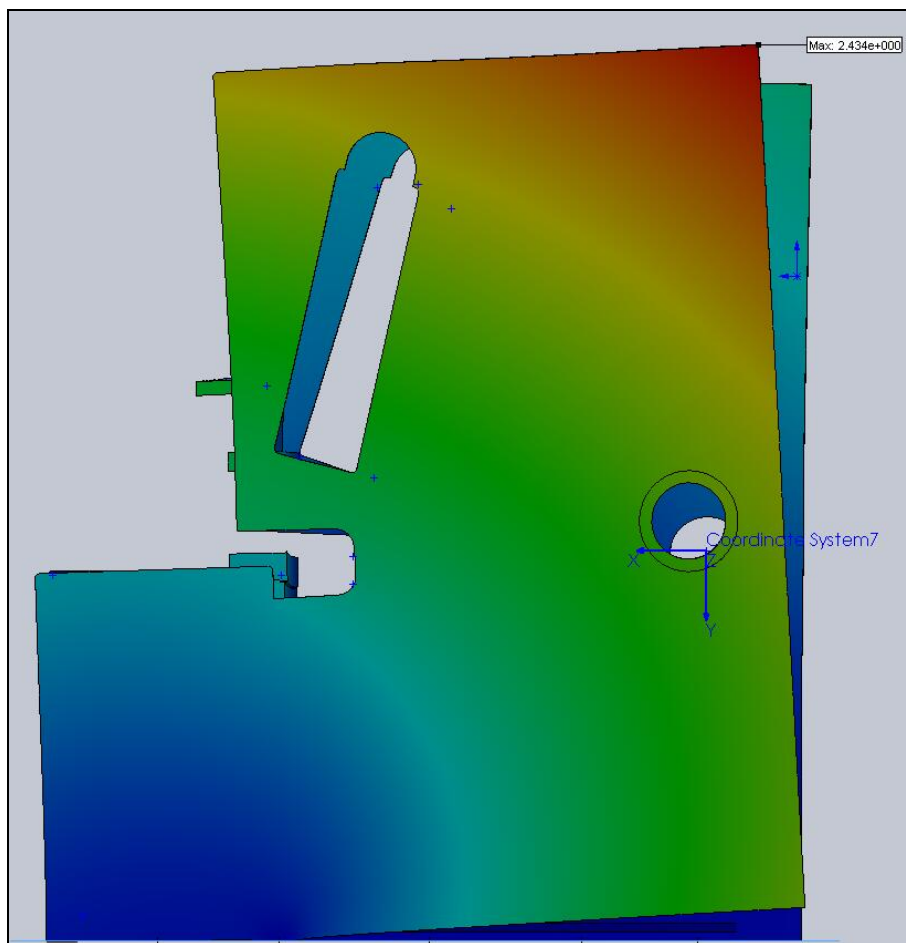
Πίνακας 3.2: Αντιδράσεις στις αρθρώσεις συναρτήσει του x.

Όσον αφορά την έδραση της βάσης, αυτή πακτώνεται σε 3 από τα 4 σημεία (ώστε να υπάρχει ελευθερία κίνησης σε μικρές παραμορφώσεις) και ακουμπά σε ένα εικονικό έδαφος (εντολή virtual wall) όπως φαίνεται στην εικόνα 3.6

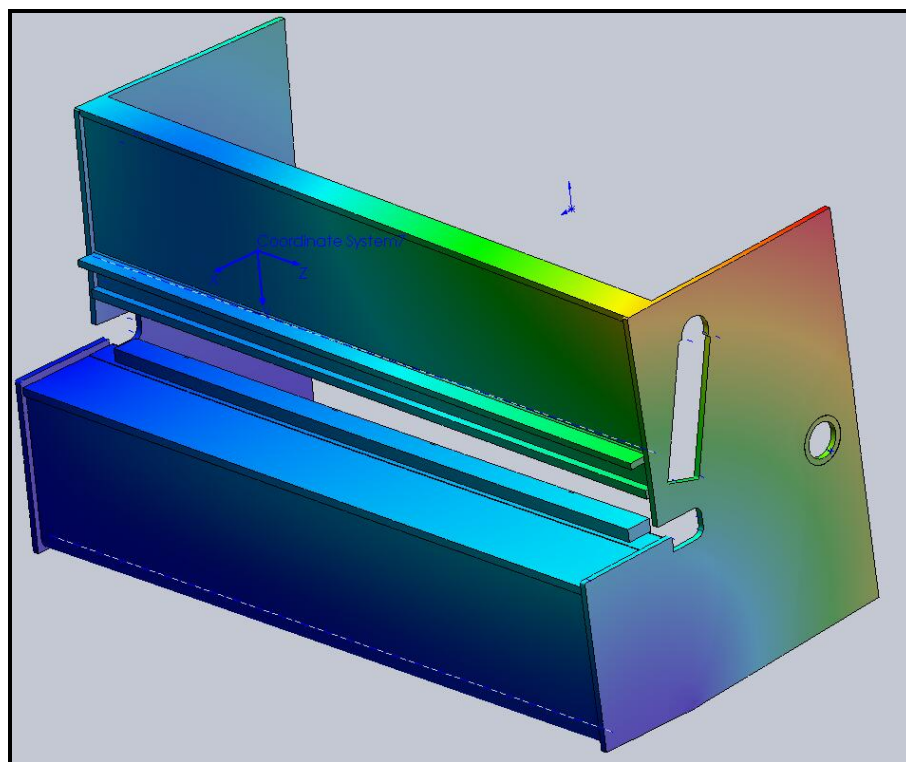


Εικόνα 3.6: Απεικόνιση πακτώσεων και εικονικού πατώματος στην βάση.

Οι υπολογισμοί των αντιδράσεων στις αρθρώσεις και η κατάλληλη έδραση της βάσης επιβεβαιώνονται από την ύπαρξη αναπήδησης στο ελεύθερο άκρο της με την εφαρμογή των πεπερασμένων στοιχείων που παρατηρείται και στην πραγματικότητα.



Εικόνα 3.7: Απεικόνιση αναπήδησης κατά την έναρξη της κατεργασίας (1)



Εικόνα 3.8: Απεικόνιση αναπήδησης κατά την έναρξη της κατεργασίας (2)

4 ΜΕΛΕΤΗ ΔΟΜΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ

Όπως αναπτύχθηκε και παραπάνω η κύρια μέριμνα είναι η δημιουργία μιας κατασκευής που θα εκπληρώνει το θεωρητικό κανόνα για την παραμόρφωση των λεπίδων στο σημείο κοπής :

$$f_{\text{Συνολική}} = f_{\text{άνω λεπίδας}} + f_{\text{κάτω λεπίδας}} \leq 20\% \cdot \text{χάρη κοπής} = 20\% \cdot \left(\frac{1}{10} \cdot 6 \right) mm$$

δηλαδή

$$f_{\text{Συνολική}} \leq 0,12mm$$

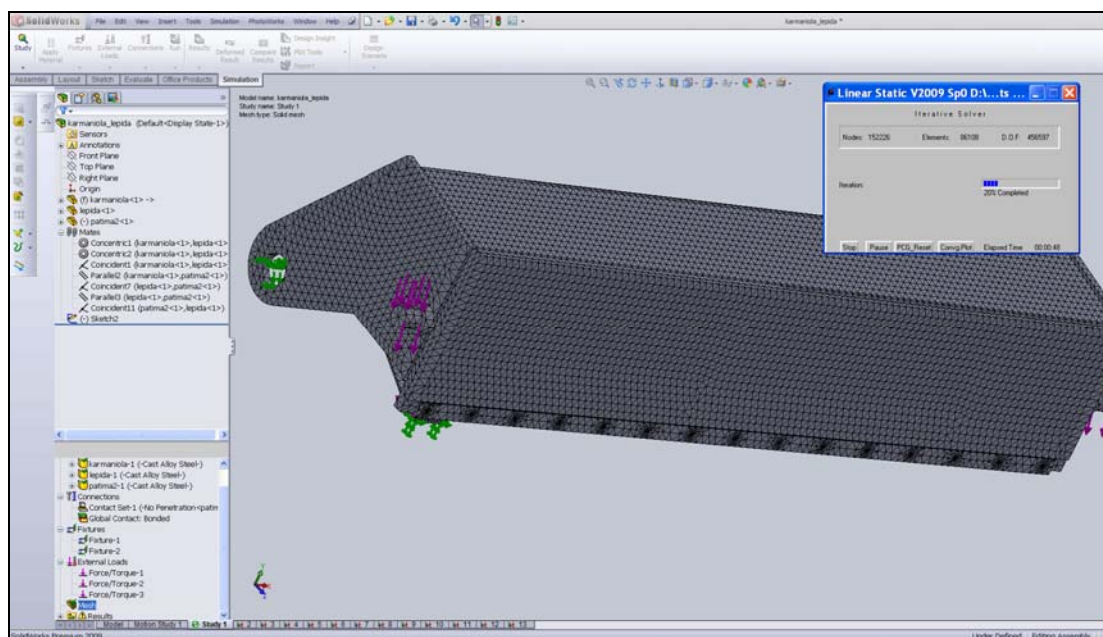
Στην μεθοδολογία που ακολουθείται εξετάζεται η παραμόρφωση στις δύο ομάδες, (καρμανιόλα και βάση) ξεχωριστά, και αθροίζεται ώστε να υπολογιστεί η συνολική πραγματική οριζόντια παραμόρφωση στο σημείο κοπής και τελικά να ελεγχθεί κατά πόσο καλύπτεται ο παραπάνω περιορισμός.

4.1 Παραμορφώσεις Λόγω Δυνάμεων Κοπής

4.1.1 Καρμανιόλα:

Κατά την επίλυση της καρμανιόλας, αρχικά τοποθετούνται οι δυνάμεις και οι περιορισμοί που υπολογίσθηκαν (στην παράγραφο 3.3.1), στις κατάλληλες επιφάνειες του μοντέλου της.

Την εφαρμογή των δυνάμεων αυτών ακολουθεί η αυτόματη γένεση του πλέγματος της καρμανιόλας από το ίδιο το πρόγραμμα. Το πλέγμα που δημιουργείται αποτελείται από 86.108 στοιχεία και 152.226 κόμβους. όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 4.1: Καρμανιόλα – Δημιουργία πλέγματος

Η διαδικασία επίλυσης του μοντέλου της καρμανιόλας από το πρόγραμμα απαιτεί περίπου 15 έως 30 λεπτά σε κάθε μία από τις 13 θέσεις όπου έχει γίνει η διακριτοποίηση της λεπίδας.

Τα αποτελέσματα τα οποία εξάγονται από την διαδικασία της επίλυσης και παρέχουν χρήσιμες για την μελέτη πληροφορίες είναι δύο ειδών και αφορούν:

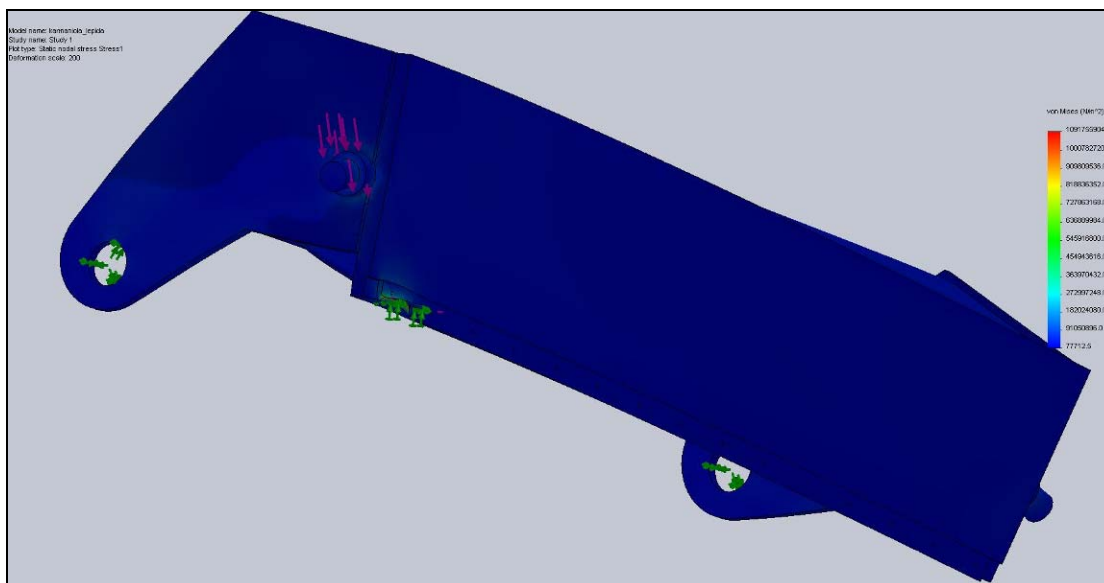
- a) τάσεις
- b) παραμορφώσεις.

Ανάλυση των τάσεων:

Ένα κριτήριο που χρησιμοποιούν σχεδόν όλα τα πακέτα των πεπερασμένων στοιχείων είναι το κριτήριο διαρροής κατά von Mises. Το κριτήριο αυτό αναγάγει όλες τις τάσεις σε μία έτσι ώστε να μπορούν να γίνουν άμεσα συγκρίσιμες οι τιμές τους.¹

Τα αποτελέσματα κατά von Mises φαίνονται και γραφικά με διακριτοποίηση μέσω χρωμάτων στην εικόνα που ακολουθεί

¹ Περισσότερες πληροφορίες για το κριτήριο von Mises δίνονται στο Παράρτημα Ορισμών



Εικόνα 4.2: Κατανομή τάσεων κατά von Mises

Παρατηρείται πως οι μέγιστες τάσεις, όπως ήταν αναμενόμενο, παρουσιάζονται κάθε φορά στο σημείο κοπής. Από τα αποτελέσματα των τάσεων παρατηρείται επίσης πως το όριο διαρροής (σ_{yield}) κατά von Mises δεν ξεπερνάτε σε κανένα σημείο στη καρμανιόλα.

Τα παραπάνω δείχνουν ότι από άποψη αντοχής η καρμανιόλα είναι επαρκώς σχεδιασμένη.

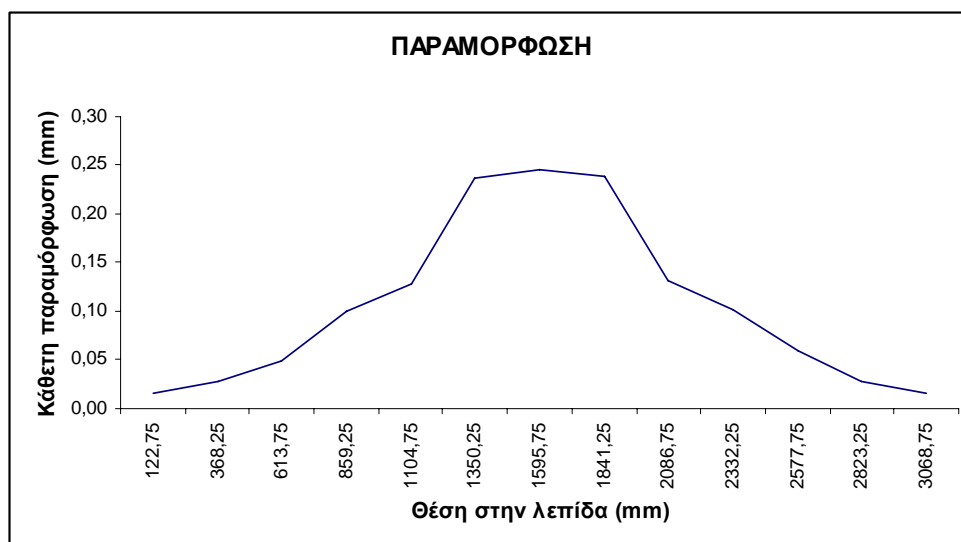
Ανάλυση των παραμορφώσεων

Από άποψη έκτασης των παραμορφώσεων όμως, για να θεωρηθεί η κοπή και κατ' επέκταση και η εργαλειομηχανή ποιοτικά σχεδιασμένη πρέπει να πληρείται ο περιορισμός $f_{\Sigma\text{συνολική}} \leq 0.12\text{mm}$ καθ' όλη τη διάρκεια της κοπής.

Η παραμόρφωση της λεπίδας κοπής της καρμανιόλας κατά μήκος αυτής παρουσιάζεται αναλυτικά στον πίνακα και στο διάγραμμα που ακολουθούν.

α.α.	Οριζόντια παραμόρφωση (mm) $f_{\acute{\alpha}\nu\omicron}$ λεπίδας	Θέση στη λεπίδα (mm)
1	0,0166	122,75
2	0,0282	368,25
3	0,0485	613,75
4	0,0993	859,25
5	0,1288	1104,75
6	0,2366	1350,25
7	0,2451	1595,75
8	0,2386	1841,25
9	0,1312	2086,75
10	0,1014	2332,25
11	0,0602	2577,75
12	0,0272	2823,25
13	0,0163	3068,75

Πίνακας 4.1: Καρμανιόλα - Οριζόντια παραμόρφωση πραγματικού μοντέλου



Διάγραμμα 4.1: Καρμανιόλα - Οριζόντια παραμόρφωση πραγματικού μοντέλου

Όπως ήταν αναμενόμενο η λεπίδα κατά την εκκίνηση της κατεργασίας δέχεται ελάχιστες παραμορφώσεις κατά την οριζόντια διεύθυνση. Οι παραμορφώσεις αυτές αυξάνονται στην συνέχεια καθώς το σημείο κοπής κατευθύνεται προς το κέντρο της καρμανιόλας και ελαττώνεται ξανά έως ότου φτάσει στο τέλος του.

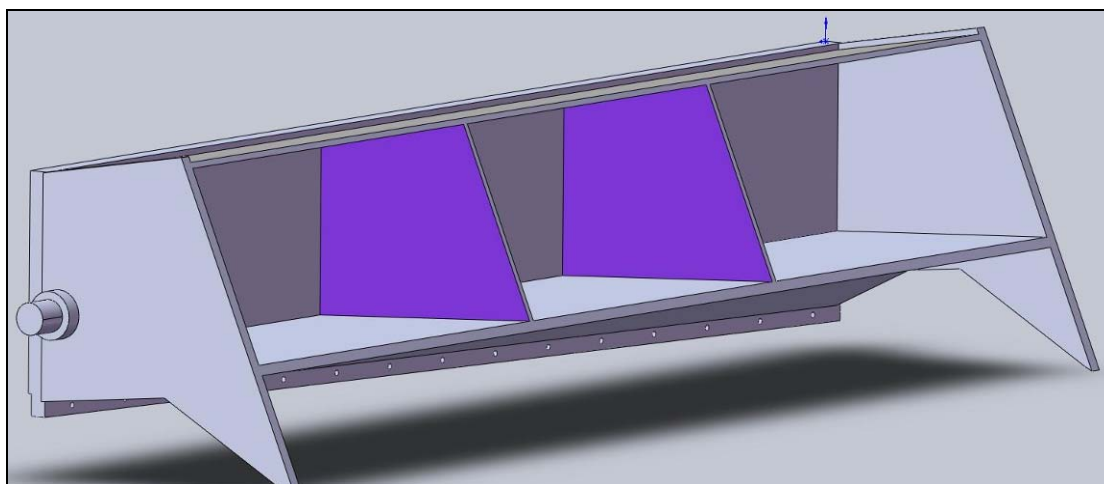
Από το διάγραμμα 4.1 προκύπτει το συμπέρασμα πως στο εύρος τιμών της λεπίδας μεταξύ 1.100 και 2.090 mm δημιουργούνται παραμορφώσεις μεγαλύτερες από 0,12 mm.

Η έκταση των παραμορφώσεων στη λεπίδα καταδεικνύουν τη δυσκολία που αντιμετωπίζει ο μηχανικός να εκπληρώσει τη συνθήκη της μέγιστης συνολικής παραμόρφωσης των λεπίδων στο σημείο κοπής, και ιδιαίτερα στην περιοχή του κέντρου της καρμανιόλας.

Για τη δραστική μείωση των παραμορφώσεων στην περιοχή αυτή εξετάζονται παρακάτω δύο διαφορετικές γεωμετρικές της καρμανιόλας:

1^η Περίπτωση: Πρόσθεση δύο κάθετων νεύρων

Κατά την πρώτη περίπτωση προστέθηκαν δύο κάθετα νεύρα 15 mm στο εσωτερικό της καρμανιόλας στην περιοχή όπου εμφανίζονται οι μεγαλύτερες παραμορφώσεις, δηλαδή κοντά στο κέντρο της καρμανιόλας. Η τοποθέτηση των νεύρων συμβάλλει στη μείωση της γενικής παραμόρφωσης που εμφανίζεται τόσο στο σημείο κοπής, όσο και στις μεγάλες επιφάνειες της καρμανιόλας.



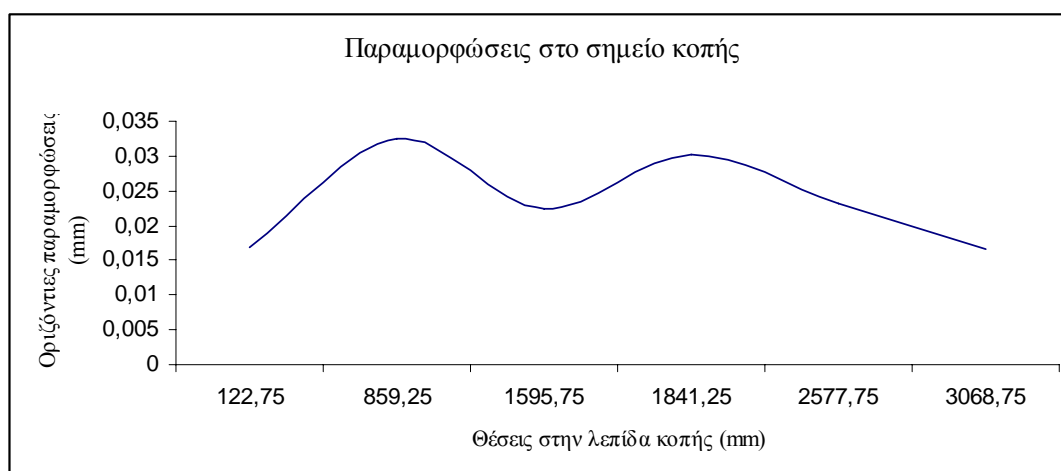
Εικόνα 4.3: Καρμανιόλα – Περίπτωση πρόσθεσης δύο κάθετων νεύρων

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η οριζόντια παραμόρφωση της καρμανιόλας στο σημείο κοπής.

α.α.	Οριζόντια παραμόρφωση (mm)	Θέση στη λεπίδα
1	0,017	122,75
2	0,032	859,25
3	0,022	1595,75
4	0,030	1841,25
5	0,023	2577,75
6	0,017	3068,75

Πίνακας 4.2: Καρμανιόλα - Οριζόντια παραμόρφωση -Περίπτωση πρόσθεσης δύο κάθετων νεύρων

Με την τοποθέτηση των νεύρων στις συγκεκριμένες θέσεις παρατηρείται μία κυμαινόμενη κατανομή στις τιμές της παραμόρφωσης στο σημείο κοπής. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην εξομάλυνση των παραμορφώσεων που προκαλούν τα νεύρα στις περιοχές την λεπίδας κοντά σε αυτά.



Διάγραμμα 4.2: Καρμανιόλα – Οριζόντια παραμόρφωση – Περίπτωση πρόσθεσης δύο κάθετων νεύρων

2^η Περίπτωση: Αύξηση των διαστάσεων της καρμανιόλας.

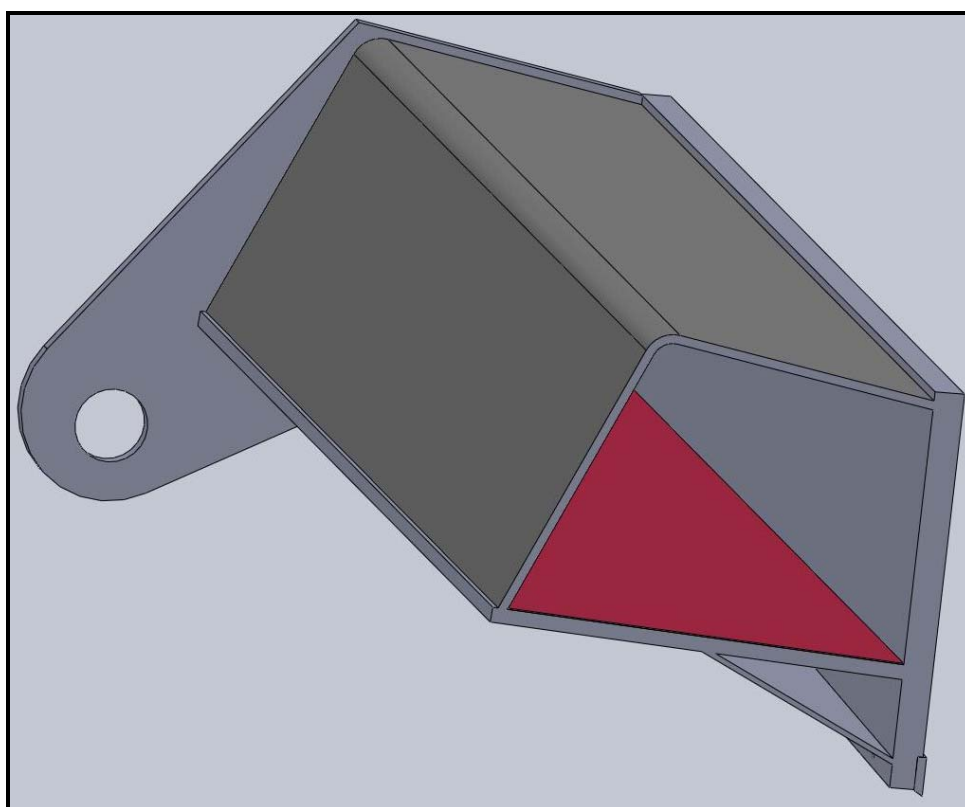
Κατά την δεύτερη περίπτωση μελετάται η αύξηση των διαστάσεων της καρμανιόλας σε σημεία που θα ήταν κομβικά για τη μείωση των παραμορφώσεων σε αυτή.

Μετά από μια σειρά πειραματικών προσπαθειών με εναλλαγές των διαστάσεων της καρμανιόλας προέκυψε το συμπέρασμα ότι το κάθε χιλιοστό που προστίθεται στην οριζόντια ενίσχυση της λαμαρίνας δίνει τα αποδοτικότερα αποτελέσματα των παραμορφώσεων σε σύγκριση με τη κάθετη λαμαρίνα.

Πρόσθετο πάχος (mm)	Μέγιστη παραμόρφωση στη λεπίδα (mm)
0	0,2629
1	0,2581
1,2	0,2074
1,8	0,1788
2	0,1468
7	0,1173
10	0,1046

Πίνακας 4.3: Καρμανιόλα - Παραμόρφωση στην λεπίδα συνάρτηση της αύξησης του πάχους.

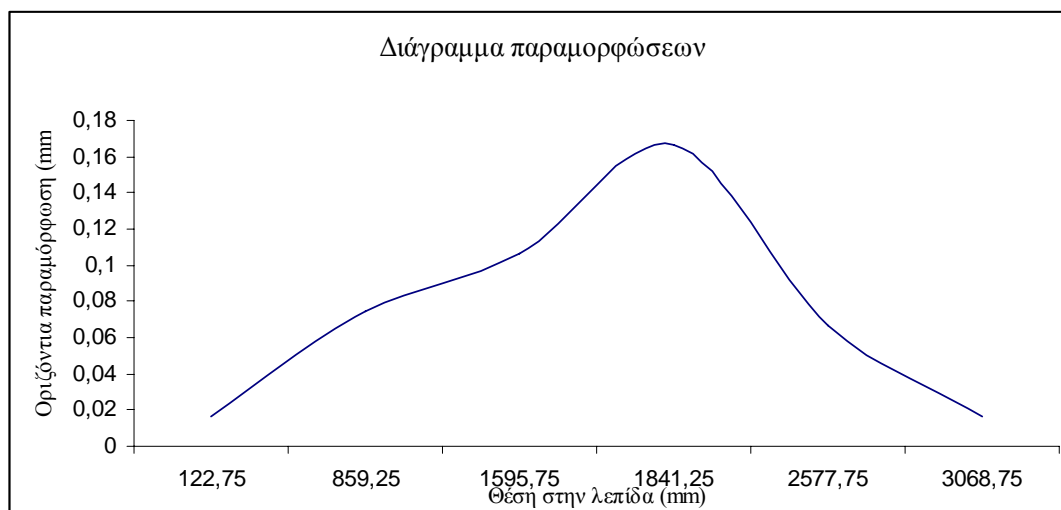
Η προσθήκη πάχους 2mm που κρίνεται και η βέλτιστη σε σχέση και με το πρόσθετο βάρος δίνει τις εξής παραμορφώσεις:



Εικόνα 4.4: Καρμανιόλα – Περίπτωση αύξησης πάχους της λαμαρίνας κατά 2 mm

α.α.	Οριζόντια παραμόρφωση (mm)	θέση στη λεπίδα (mm)
1	0,0170	122,75
2	0,0742	859,25
3	0,1068	1595,75
4	0,1663	1841,25
5	0,0667	2577,75
6	0,0167	3068,75

Πίνακας 4.4: Καρμανιόλα - Οριζόντια Παραμόρφωση – Περίπτωση αύξησης πάχους της λαμαρίνας κατά 2 mm



Διάγραμμα 4.3: Καρμανιόλα – Οριζόντια παραμόρφωση – Περίπτωση αύξησης πάχους της λαμαρίνας κατά 2 mm

Από το μέγεθος των παραμορφώσεων στην περίπτωση αυτή, παρατηρείται πως η προσθήκη μόλις 2mm επιπλέον πάχους, αποτελεί μια αξιόπιστη και συμφέρουσα επιλογή .

Συμπέρασμα των δύο παραπάνω περιπτώσεων

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, για την ελάττωση της παραμόρφωσης στο σημείο κοπής της λεπίδας της καρμανιόλας προτείνεται η προσθήκη των 2mm και όχι η τοποθέτηση νεύρων, εφόσον η μείωση των παραμορφώσεων στην περίπτωση προσθήκης επιπλέον πάχους κρίνεται επαρκής.

4.1.2 Βάση:

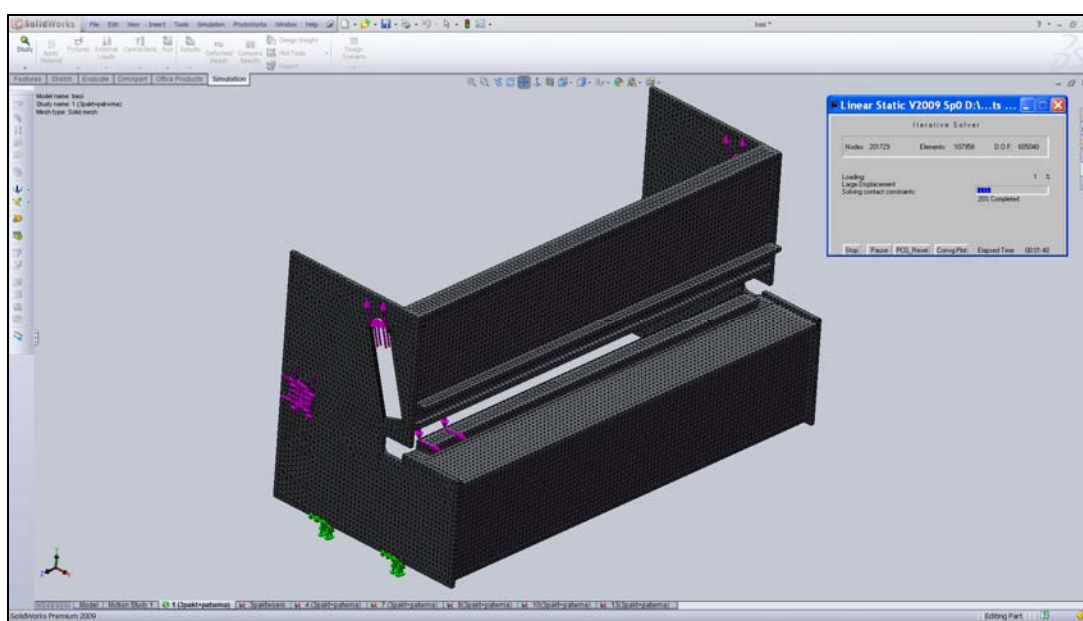
Η αύξηση της χάρης της κοπής², δηλαδή της απόστασης μεταξύ της άνω και της κάτω λεπίδας, δεν οφείλεται όμως μόνο στις παραμορφώσεις της καρμανιόλας, αλλά και στις παραμορφώσεις της βάσης.

² Δες παράρτημα

Η επίλυση της βάσης έγινε με τα αντίστοιχα βήματα επίλυσης της καρμανιόλας:

- τοποθετούνται οι δυνάμεις στις αρθρώσεις,
- τοποθετούνται οι δυνάμεις στο σημείο κοπής
- τοποθετούνται και οι περιορισμοί στην έδραση.

Την τοποθέτηση των δυνάμεων και των περιορισμών ακολουθεί η γένεση πλέγματος στη βάση μέσω του προγράμματος των πεπερασμένων στοιχείων. Το δημιουργούμενο πλέγμα αποτελείται από 107.958 στοιχεία και 201.729 κόμβους, όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 4.5: Βάση – Δημιουργία πλέγματος

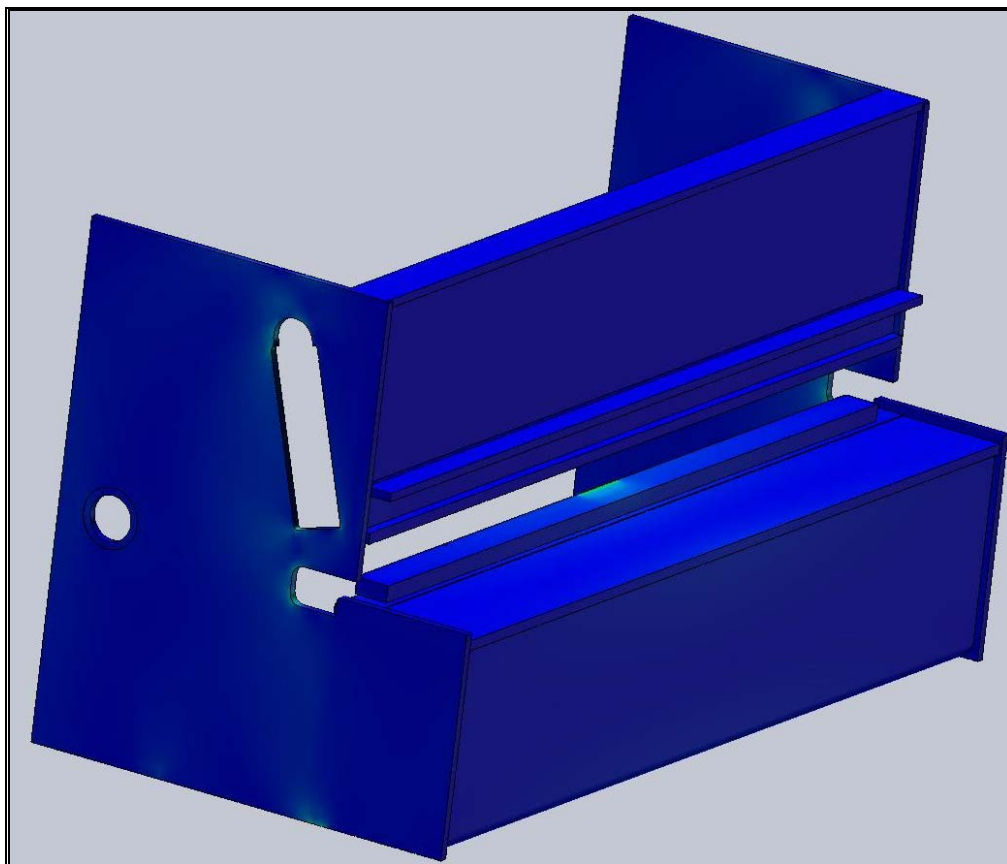
Η διαδικασία επίλυσης του μοντέλου της βάσης απαιτεί 15 με 30 λεπτά ανάλογα το μέγεθος των παραμορφώσεων στη βάση.

Όπως και στην περίπτωση της καρμανιόλας, τα αποτελέσματα τα οποία εξάγονται από την διαδικασία επίλυσης είναι δύο ειδών κ αφορούν:

- α) τάσεις
- β) παραμορφώσεις..

Ανάλυση των τάσεων:

Για τον έλεγχο της κατασκευαστικής επάρκειας της βάσης μελετούνται οι τάσεις που ασκούνται στο σώμα της μέσω του κριτηρίου von Mises. Η παρακάτω εικόνα αναλύει τη βάση σε περιοχές που ανάλογα με τη απόχρωσή της κάθε περιοχής εκφράζεται και η ένταση των τάσεων.

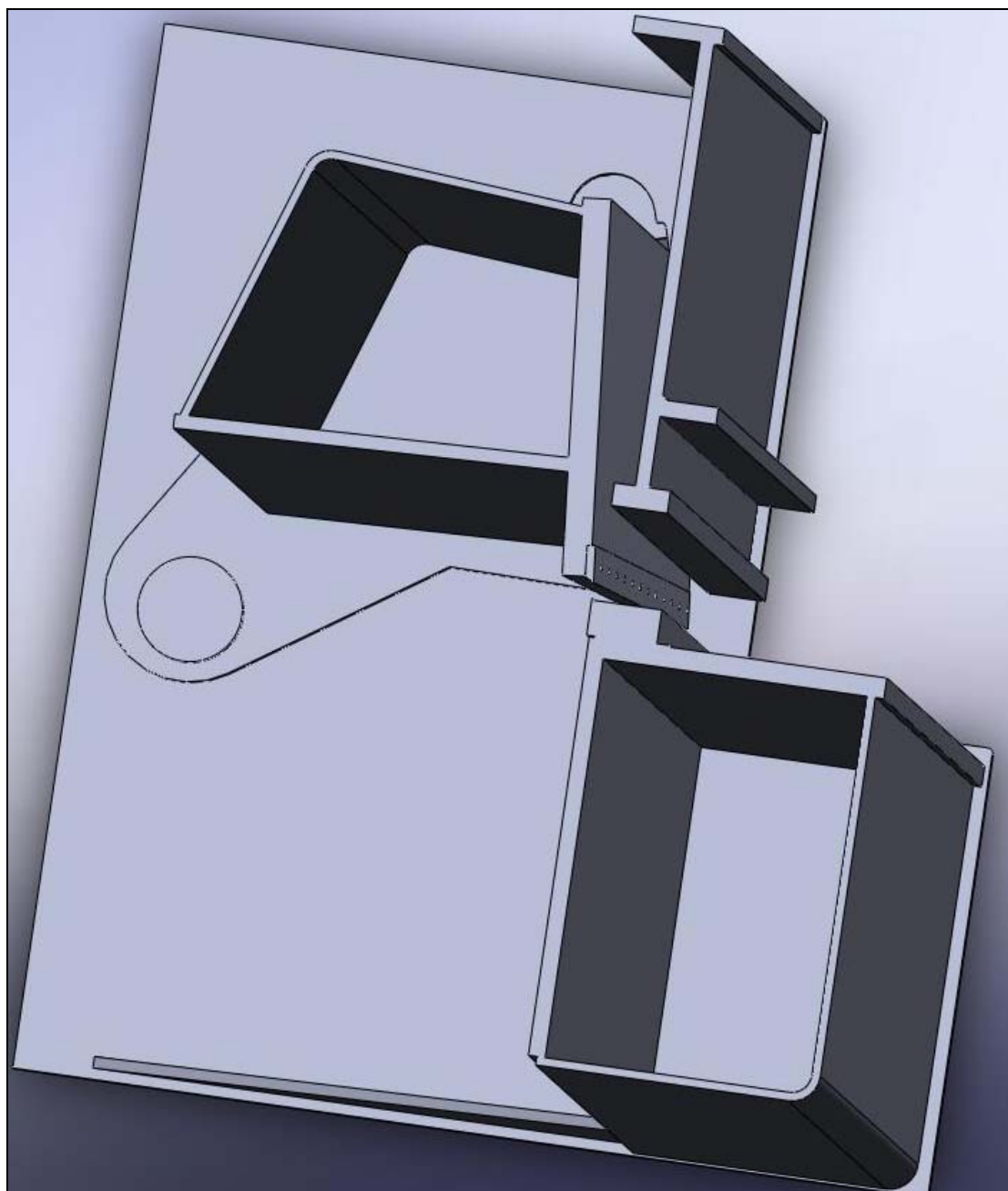


Εικόνα 4.6: Βάση - Κατανομή τάσεων κατά von Mises

Η βάση καλύπτει απόλυτα τις απαιτήσεις της εργαλειομηχανής σε αντοχή και δεν επιτρέπει κανένα σημείο να αναπτύξει τάση διαρροής.

Ανάλυση των παραμορφώσεων:

Ο όγκος της βάσης είναι πανομοιότυπος με τον όγκο της καρμανιόλας εφόσον, συνθέτονται και οι δύο από σωλήνες ορθογώνιας διατομής (εικόνα 4.7). Η μόνη διαφορά μεταξύ τους είναι ότι η βάση είναι πιο στιβαρή λόγω του πρόσθετου υλικού με το οποίο είναι κατασκευασμένη και της σταθερής έδρασής της. Το συνολικό βάρος των επτά τόνων προσφέρει στην εργαλειομηχανή σταθερότητα σε συνδυασμό με τις τρεις σημειακές πακτώσεις που αναφέρθηκαν και παραπάνω ελαχιστοποιούν τις μετατοπίσεις.

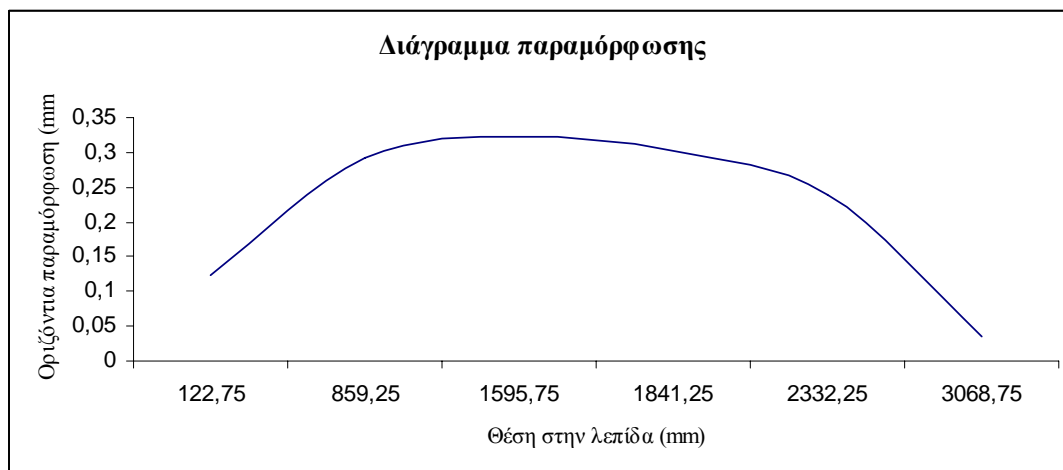


Εικόνα 4.7: Τομή εργαλειομηχανής - Οι πανομοιότυποι όγκοι της καρμανιόλας και της βάσης

Οι παραμορφώσεις στη θέση της λεπίδας για τη βάση παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα.

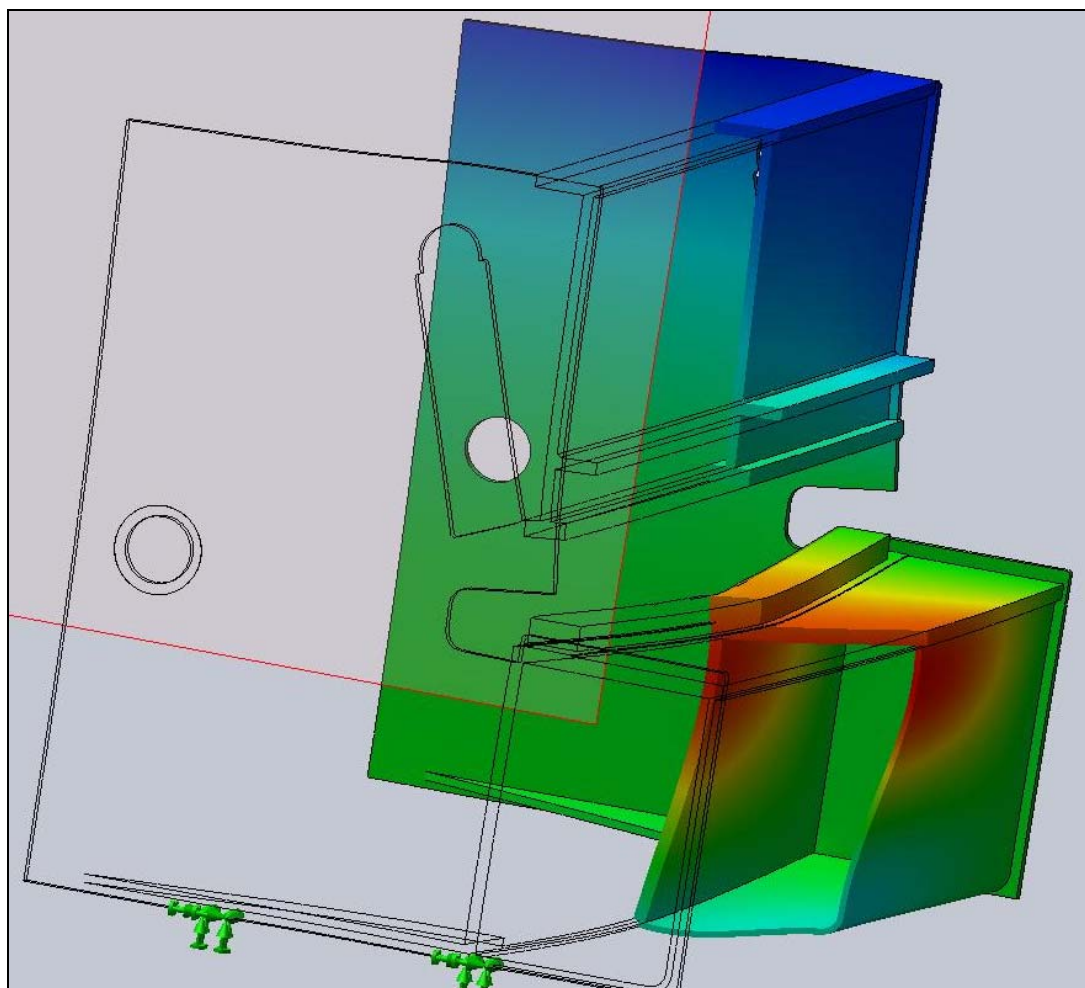
a.a	Οριζόντια Παραμόρφωση (mm)	Θέση στην λεπίδα (mm)
1	0,1225	122,75
2	0,2914	859,25
3	0,3221	1595,75
4	0,3026	1841,25
5	0,2396	2332,25
6	0,0360	3068,75

Πίνακας 4.5: Βάση - Οριζόντια παραμόρφωση πραγματικού μοντέλου



Διάγραμμα 4.4: Βάση - Οριζόντια παραμόρφωση πραγματικού μοντέλου

Από τις πληροφορίες που δίνονται από το διάγραμμα παρατηρείται η αύξηση της οριζόντιας παραμόρφωσης στην κάτω λεπίδα και κατά συνέπεια αύξηση και της χάρης της κοπής. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται εντονότερα στη μέση της διαδρομής της κοπής (όπως έχει προαναφερθεί και στην αρχή του κεφαλαίου). Το αίτιο της δημιουργίας αυξημένης παραμόρφωσης στην περιοχή μεταξύ των θέσεων 1.100 και 2.100mm της λεπίδας εντοπίσθηκε, μετά από παρατήρηση του τρόπου παραμόρφωσης της βάσης, στη η δημιουργία «μάγουλων» στο χώρο του «τραπεζιού», όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.8

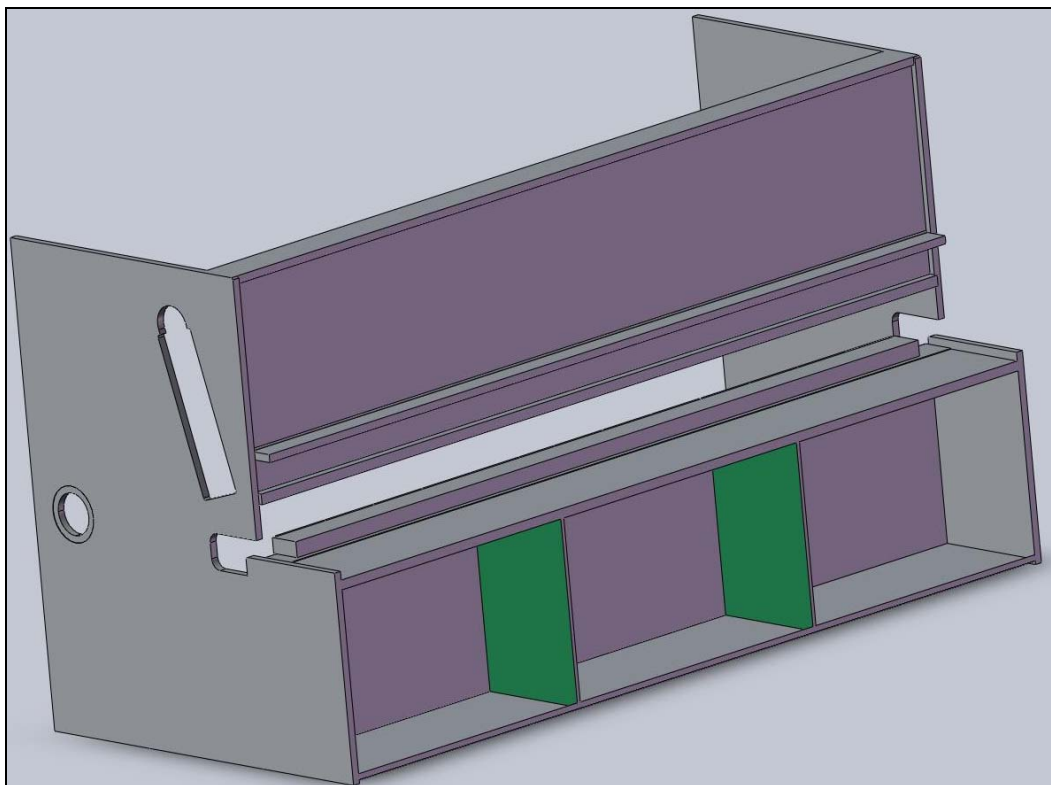


Εικόνα 4.8: Απεικόνιση των παραμορφώσεων στη βάση κατά την κατεργασία και δημιουργία μάγουλων (σε τομή)

Οι προτεινόμενες γεωμετρίες για τη μείωση των παραμορφώσεων στη βάση θα είναι παρόμοιες με της καρμανιόλας. Αυτό είναι λογικό να συμβαίνει από τη στιγμή που βάση και καρμανιόλα αποτελούνται από αντίστοιχες γεωμετρίες και καταπονούνται από ίσες δυνάμεις κοπής.

1^η Πρόταση: Τοποθέτηση δύο νεύρων

Στην πρώτη πρόταση τοποθετούνται δύο νεύρα 15mm κατανεμημένα προς το κέντρο της βάσης. Το πρόσθετο βάρος των δύο νεύρων είναι 74 κιλά.

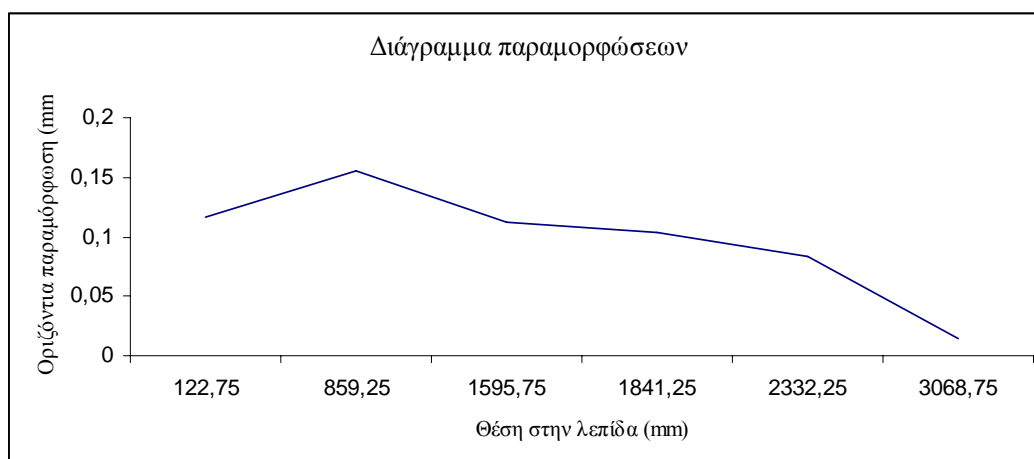


Εικόνα 4.9: Βάση – Πρόταση προσθήκης δύο νεύρων.

Τα αποτελέσματα των παραμορφώσεων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα και το αντίστοιχο διάγραμμα.

α.α.	Οριζόντια παραμόρφωση	Θέση στην λεπίδα
1	0,1165	122,75
2	0,1552	859,25
3	0,1123	1595,75
4	0,1029	1841,25
5	0,0841	2332,25
6	0,0147	3068,75

Πίνακας 4.6: Βάση - Οριζόντια παραμόρφωση - Πρόταση προσθήκης δύο νεύρων.



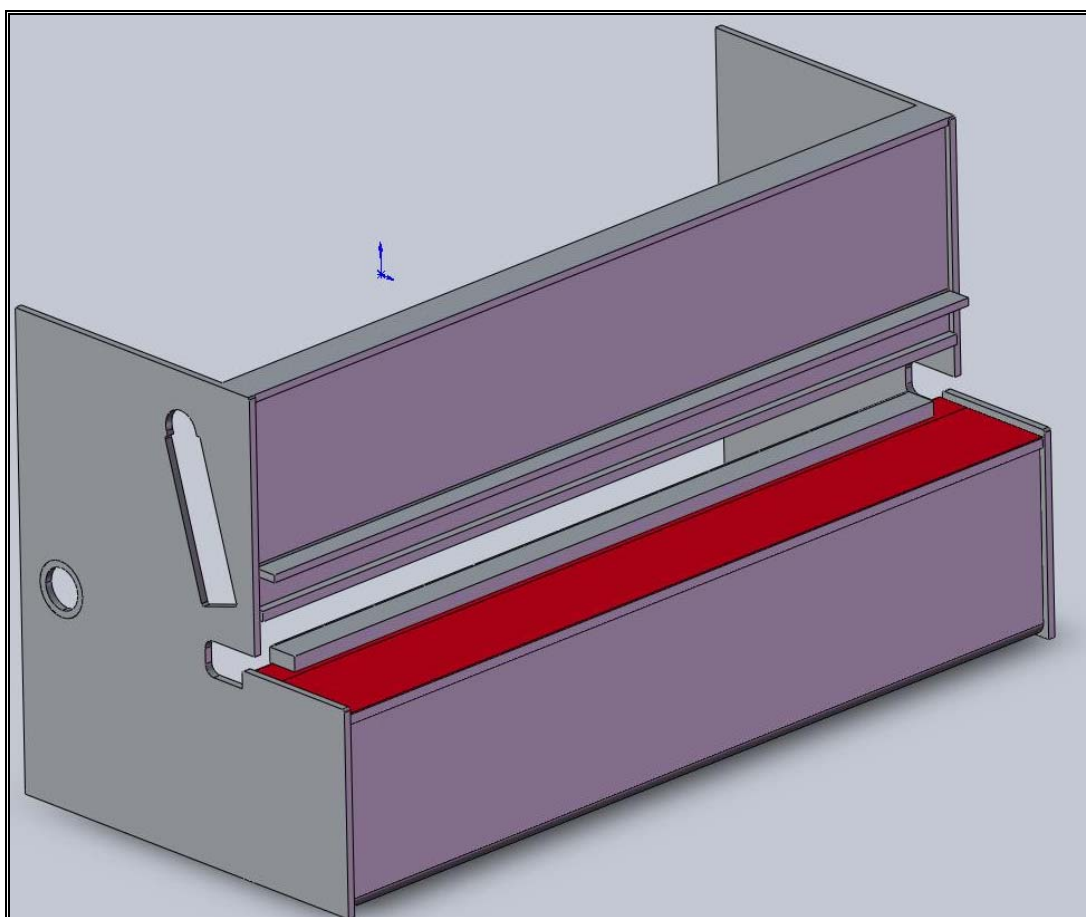
Διάγραμμα 4.5: Βάση - Οριζόντια παραμόρφωση - Πρόταση προσθήκης δύο νεύρων.

Η προσθήκη των δύο νεύρων μείωσε κατά πολύ την παραμόρφωση και οδήγούσε σε αύξηση της χάρης της κοπής. Μεταξύ των μέγιστων παραμορφώσεων της πραγματικής κατάστασης (0,32mm) και της εξεταζόμενης γεωμετρίας (0,11mm) παρουσιάζεται μείωση κατά 200%.

Ο συνδυασμός του βαθμού της μείωσης των παραμορφώσεων στο σημείο κοπής και το ελάχιστο προστιθέμενο βάρος των 74 κιλών στην βάση, καταδεικνύει την σημαντικότητα τοποθέτησης των νεύρων στην βάση.

2^η Πρόταση: Αύξηση πάχους του οριζόντιου ελάσματος.

Η δεύτερη εναλλακτική πρόταση αφορά την αύξηση του πάχους του οριζόντιου ελάσματος που συγκρατεί και τη βάση της λεπίδας.

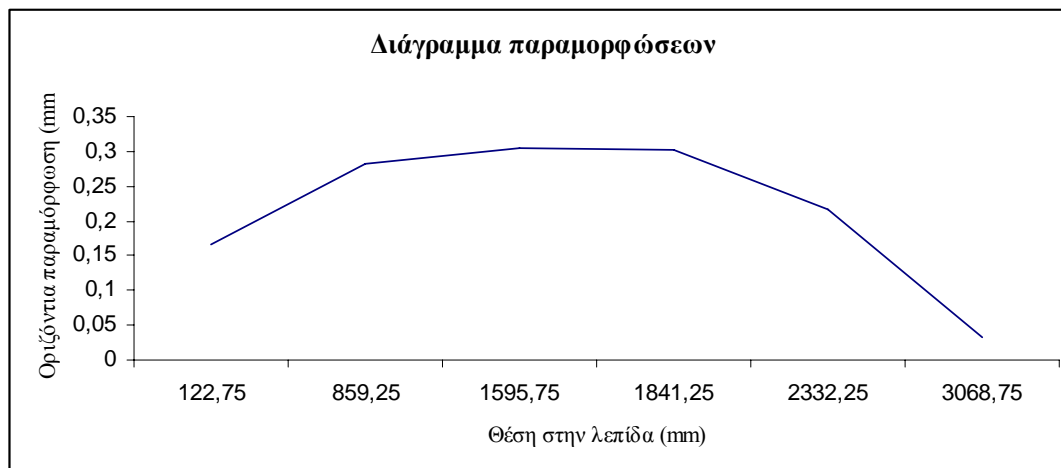


Εικόνα 4.10: Βάση – Πρόταση αύξησης βάρους οριζόντιου ελάσματος

Η πρόταση αυτή είναι η οικονομικότερη στη χρήση υλικού αφού προσθέτει 50 κιλά υλικού. Τα αποτελέσματα της δεύτερης μεθόδου φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.

a.a.	Οριζόντια παραμόρφωση (mm)	Θέση στη λεπίδα (mm)
1	0,165	122,75
4	0,2814	859,25
7	0,3043	1595,75
8	0,3014	1841,25
10	0,2164	2332,25
13	0,03376	3068,75

Πίνακας 4.7: Βάση – Οριζόντια παραμόρφωση - Πρόταση αύξησης βάρους οριζόντιου ελάσματος



Διάγραμμα 4.6: Βάση – Οριζόντια παραμόρφωση - Πρόταση αύξησης βάρους οριζόντιου ελάσματος

Η μείωση των παραμορφώσεων δεν είναι η αναμενόμενη μετά και την πρόσθεση των επιπλέον 5 mm. Η ελάττωση είναι της τάξεως του 5%, μηδαμινό ποσοστό ώστε να προστεθούν 50 κιλά υλικού.

Με γνώμονα το πρόσθετο κόστος, το ποσοστό μείωσης της παραμόρφωσης στο σημείο κοπής και το βαθμό κατασκευαστικής υλοποίησης της κάθε περίπτωσης προτείνεται ως καλύτερη γεωμετρία για τη βάση αυτή κατά την οποία προστίθονται δύο κάθετα νεύρα. Τα δύο νεύρα στο σωληνοειδές μέρος της βάσης προσφέρουν στη συνολική στιβαρότητα της κατασκευής και στη μείωση των παραμορφώσεων της κατασκευής.

4.2 Παραμόρφωση Λόγω Στρέψης

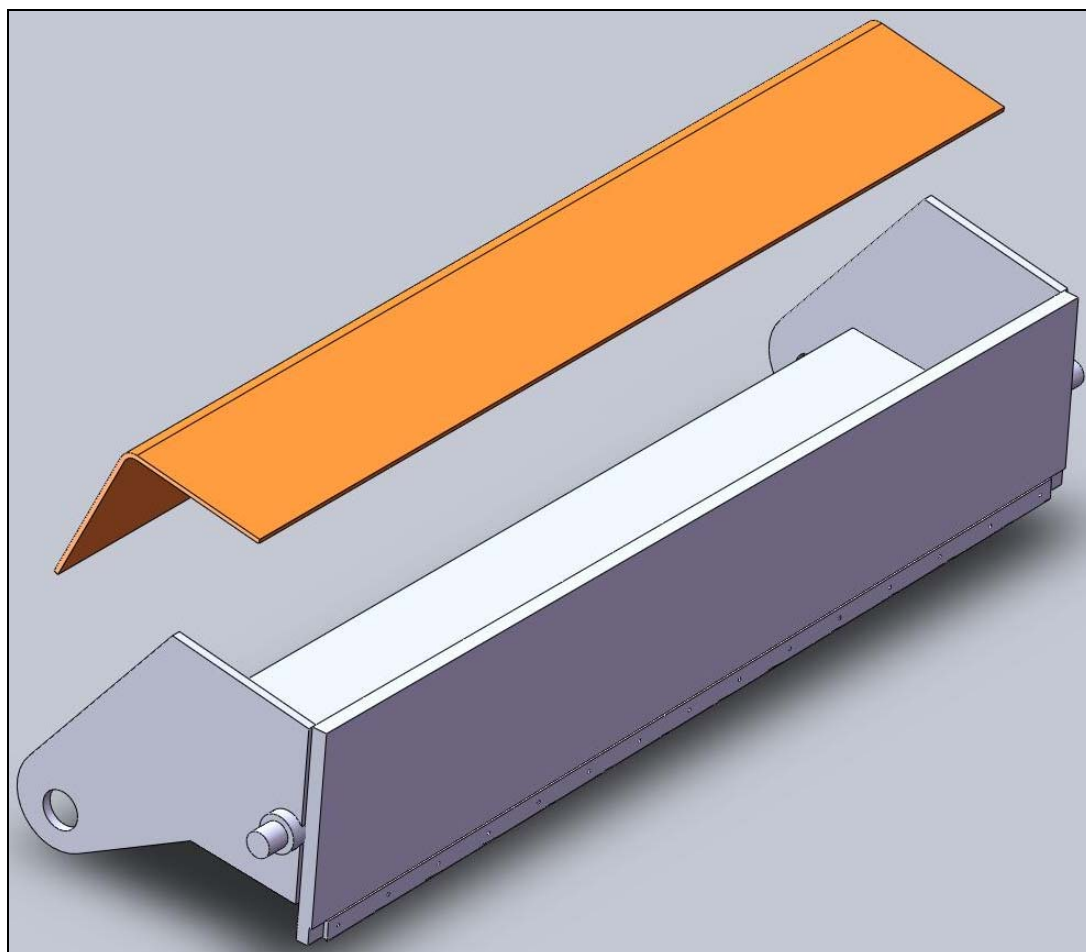
Το επόμενο πρόβλημα που αντιμετωπίζεται είναι περισσότερο απαιτητικό και πολύπλοκο.

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, η εμφάνιση της στρέψης κατά την κατεργασία δεν είναι επιθυμητή. Η ύπαρξή της όμως αναγκάζει το σχεδιαστή μηχανικό να βρει τρόπο να περιορίσει τις επιπτώσεις της.

Το στοιχείο της εργαλειομηχανής που επηρεάζεται κυρίως από τη στρέψη είναι η καρμανιόλα. Η σταθερή παροχή του υδραυλικού συστήματος προς τα δύο

έμβολα είναι η αιτία της δημιουργίας της στρέψης που σε συνδυασμό με το μήκος και την έδρασή της καρμανιόλας επιφέρουν μεγάλες παραμορφώσεις σε αυτήν.

Η υπάρχουσα πρόσθετη κατασκευή για τον περιορισμό των συνεπειών της στρέψης στην καρμανιόλα είναι ένα έλασμα σε σχήμα 'Γ' (εικόνα 4.11).

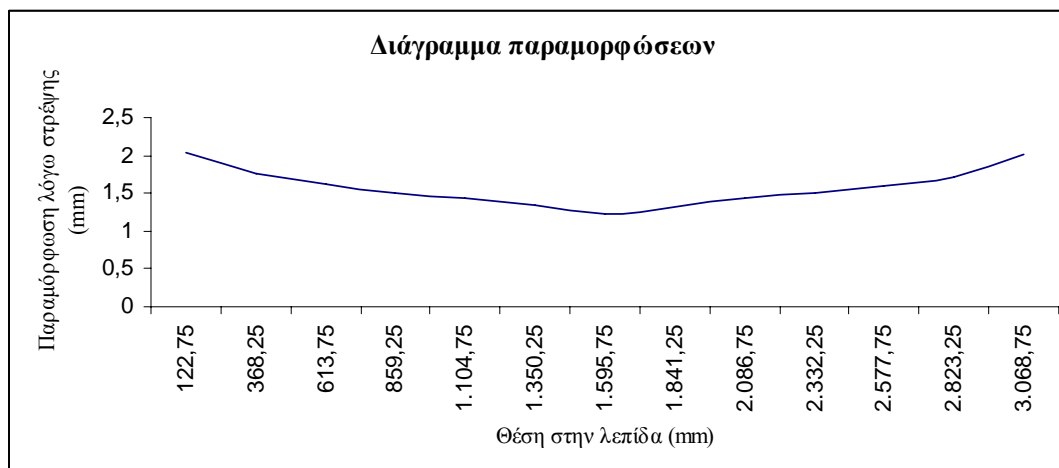


Εικόνα 4.11: Έλασμα καρμανιόλας σε σχήμα 'Γ'

Οι παραμορφώσεις που επιβάλλονται στην καρμανιόλα παρουσιάζονται παρακάτω.

α.α.	Παραμόρφωση λόγω στρέψης (mm)	Θέση στη λεπίδα (mm)
1	2,043	122,75
2	1,765	368,25
3	1,614	613,75
4	1,504	859,25
5	1,432	1104,75
6	1,333	1350,25
7	1,219	1595,75
8	1,329	1841,25
9	1,433	2086,75
10	1,509	2332,25
11	1,602	2577,75
12	1,712	2823,25
13	2,011	3068,75

Πίνακας 4.8: Καρμανιόλα - Παραμόρφωση λόγω στρέψης – Πραγματική γεωμετρία



Διάγραμμα 4.7: Καρμανιόλα - Παραμόρφωση λόγω στρέψης – Πραγματική γεωμετρία

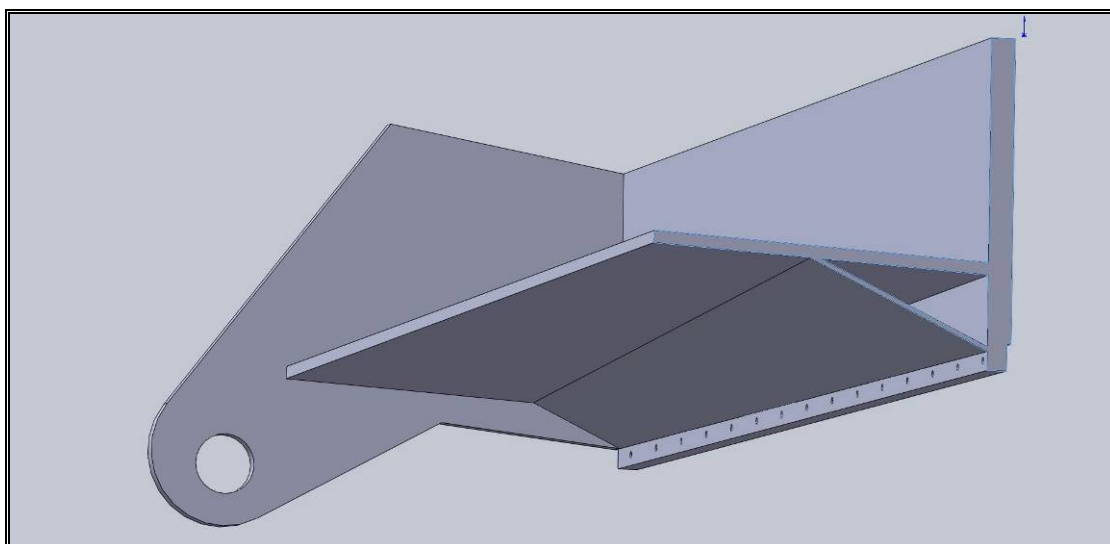
Το κομμάτι αυτό περά του προσθετού βάρους (358 κιλά) κάνει την καρμανιόλα πιο πολύπλοκη κατά την κατασκευή και δυσκολεύει την προσέγγιση σε εσωτερικά σημεία της.

Όλα τα παραπάνω οδηγούν τον μηχανικό να σκεφτεί και να εξετάσει περιπτώσεις διαφορετικής γεωμετρικής προσέγγισης προσπαθώντας να απαλείψει όσο το δυνατόν περισσότερο τις παραμορφώσεις με τη λιγότερη χρήση υλικού και με γεωμετρία τέτοια ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη ευκολία πρόσβασης στο χώρο της καρμανιόλας.

Παρακάτω εμφανίζονται επτά εναλλακτικές προτάσεις που η γεωμετρία τους δίνει έμφαση είτε στη μείωση των παραμορφώσεων είτε στην εύκολη πρόσβαση στο χώρο της καρμανιόλας.

Η ανάδειξη των καλύτερων εναλλακτικών προτάσεων πιθανών να οδηγήσει σε μία συνδυασμένη τελική πρόταση που θα καλύπτει τις ανάγκες του μηχανικού.

Αρχικά επιλύεται η καρμανιόλα χωρίς το έλασμα σε σχήμα 'Γ' και η υπάρχουσα γεωμετρική λύση ώστε να δημιουργηθούν αρχικές τιμές βάσης για σύγκριση με τις προτεινόμενες εναλλακτικές προτάσεις.

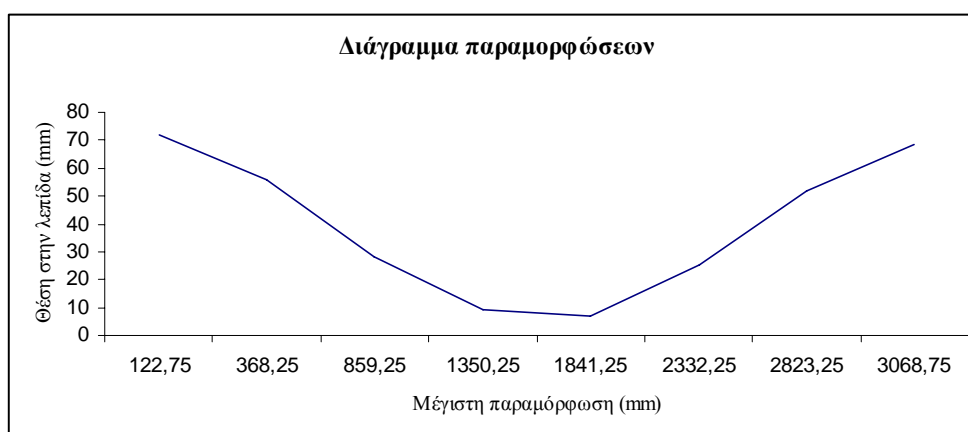


Εικόνα 4.12: Η καρμανιόλα χωρίς το έλασμα σχήματος ‘Γ’

Η καρμανιόλα χωρίς το έλασμα δεν παρέχει καμία αντίσταση κατά τις παραμόρφωσης λόγω στρέψης. Αυτό γίνεται εμφανές και από το μέγεθος των παραμορφώσεων που παρουσιάζονται παρακάτω.

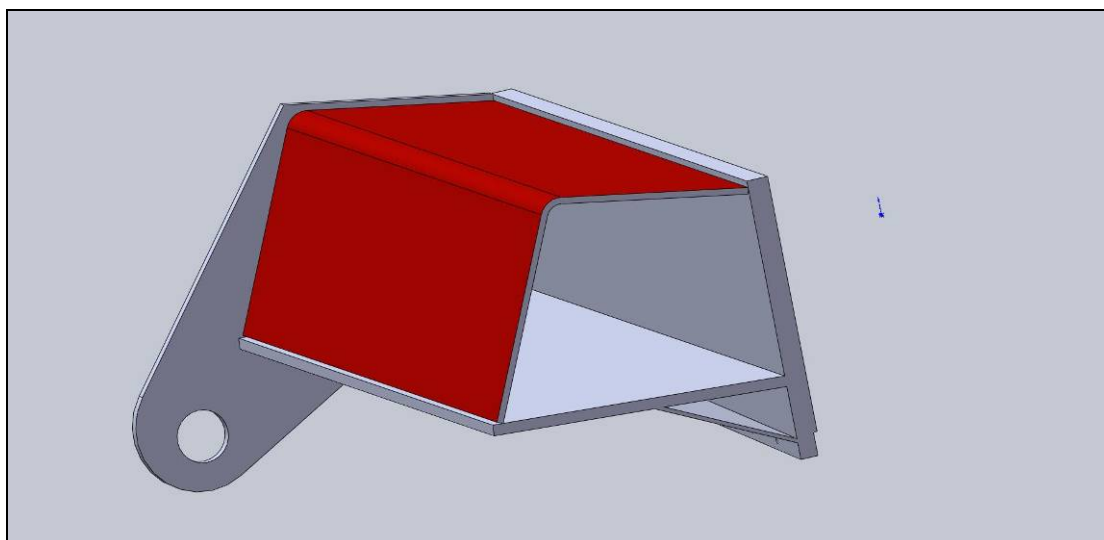
α.α.	Μεγίστη παραμόρφωση (mm)	Θέση στην λεπίδα
1	71,87	122,75
2	55,78	368,25
4	28,25	859,25
6	8,932	1350,25
8	7,072	1841,25
10	25,55	2332,25
12	51,93	2823,25
13	68,32	3068,75

Πίνακας 4.9: Καρμανιόλα - Παραμόρφωση χωρίς το ενισχυτικό έλασμα ‘Γ’



Διάγραμμα 4.8: Καρμανιόλα - Παραμόρφωση χωρίς το ενισχυτικό έλασμα ‘Γ’

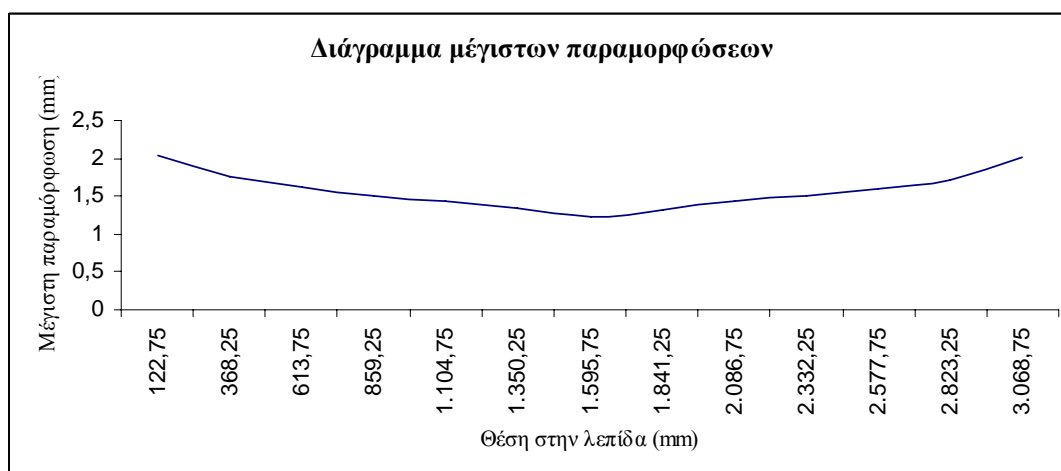
Η υπάρχουσα γεωμετρία της καρμανιόλας όπως θα φανεί και από τις τιμές της παραμόρφωσης παρακάτω προσφέρει μεγάλη μείωση των μετατοπίσεων.



Εικόνα 4.13: Υπάρχουσα γεωμετρία της καρμανιόλας σε τομή

α.α.	Μέγιστη παραμόρφωση (mm)	Θέση στη λεπίδα (mm)
1	2,043	122,75
2	1,765	368,25
3	1,614	613,75
4	1,508	859,25
5	1,432	1104,75
6	1,333	1350,25
7	1,219	1595,75
8	1,329	1841,25
9	1,433	2086,75
10	1,509	2332,25
11	1,602	2577,75
12	1,712	2823,25
13	2,011	3068,75

Πίνακας 4.10: Καρμανιόλα - Παραμόρφωση της πραγματικής γεωμετρίας



Διάγραμμα 4.9: Καρμανιόλα - Παραμόρφωση της πραγματικής γεωμετρίας

1^η Περίπτωση: Επίτευξη μικρών παραμορφώσεων αντικαθιστώντας το έλασμα σχήματος 'Γ' με επιπλέον πάχος στα τοιχώματα:

Η πρώτη εναλλακτική πρόταση βασίζεται στην ανάγκη να απαλλαχτεί η καρμανιόλα από το έλασμα, κρατώντας όμως τις παραμορφώσεις στις ίδιες τιμές.

Η βασική ιδέα της επίλυσης είναι να προστεθεί υλικό και στα δύο ελάσματα (οριζόντιο και κάθετο). Η επιλογή όμως της ποσότητας του υλικού που θα προστεθεί σε κάθε ένα από τα δύο ελάσματα έγινε παραμετρικά με κριτήριο την ελάχιστη χρήση υλικού και την μέγιστη τιμή παραμόρφωσης να μην υπερβαίνει τα 2,5mm.

α.α.	Οριζόντια αύξηση πάχους (mm)	Κάθετη αύξηση πάχους (mm)	Μέγιστη παραμόρφωση (mm)	Συνολική πρόσθεση μάζας (Kg)
1	0	0	72,22	0
2	0	40	32,02	429,652
3	0	50	26,2	537,065
4	0	100	11,12	1074,13
5	0	200	3,811	2148,26
6	0	250	2,727	2685,325
7	0	280	2,321	3007,564
8	50	0	25,34	815,7
9	100	0	9,387	1631,4
10	150	0	4,432	2447,1
11	200	0	2,546	3262,8
12	250	0	1,688	4078,5
13	300	0	1,247	4894,2

Πίνακας 4.11: Βαθμός συμβολής του κάθετου και οριζόντιου επιπρόσθετου πάχους

α.α.	Οριζόντια αύξηση πάχους (mm)	Κάθετη αύξηση πάχους (mm)	Μέγιστη παραμόρφωση (mm)	Συνολική πρόσθεση μάζας (Kg)
1	25	40	25,21	837,502
2	80	120	5,885	2594,076
3	100	100	5,769	2705,53
4	100	150	4,086	3242,595
5	120	80	5,24	2816,984
6	150	100	3,514	3521,23
7	150	200	2,329	4595,36
8	150	220	2,149	4810,186
9	160	200	2,204	4758,5
10	170	200	2,086	4921,64
11	172	200	2,063	4954,268
12	174	200	2,041	4986,896
13	200	250	1,553	5948,125

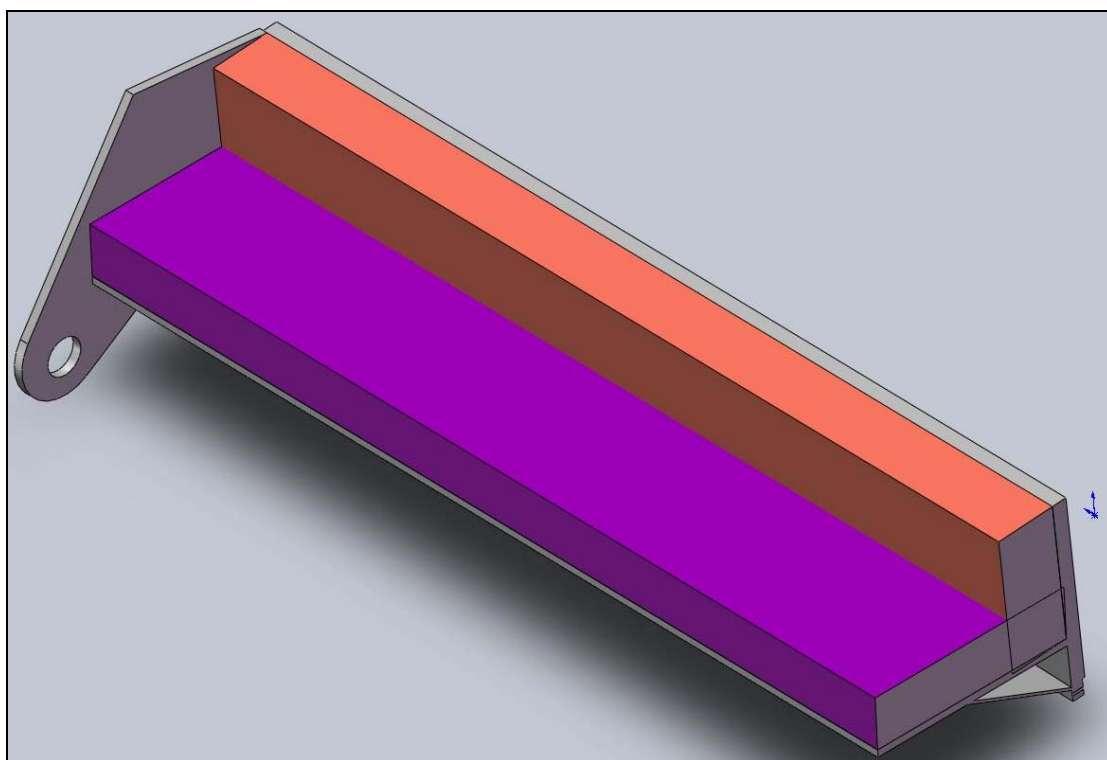
Πίνακας 4.12: Βέλτιστος συνδυασμός πάχους - βάρους.

Μετά από υπολογισμούς παρατηρήθηκε ότι κάθε προστιθέμενο χιλιοστό στο πάχος του κάθετου ελάσματος αυξάνει το βάρος της καρμανιόλας κατά 10,6 κιλά παράλληλα όμως μειώνει την παραμόρφωση κατά 0,249mm. Ενώ κάθε επιπλέον χιλιοστό στο πάχος του οριζόντιου ελάσματος προσθέτει 16,3κιλά και συνεισφέρει κατά 0,236mm στη μείωση της παραμόρφωσης.

Από τα παραπάνω μπορεί να γίνει εύκολα κατανοητό ότι η συνεισφορά του κάθετου ελάσματος είναι μεγαλύτερη στη μείωση της παραμόρφωσης ενώ παράλληλα «κοστίζει» λιγότερο σε ποσότητα υλικού.

Αυτό οδήγησε στον τελικό συνδυασμό κατά τον οποίο υπήρξε αύξηση κατά 200mm και 174mm του κάθετου και του οριζόντιου ελάσματος αντίστοιχα.

Η τελική παραμόρφωση λόγω στρέψης παρέμεινε στα ίδια επίπεδα 2,043mm όμως το τίμημα ήταν μια αύξηση του βάρους της εργαλειομηχανής κατά 5 τόνους (4954κιλα) περίπου.



Εικόνα 4.14: Καρμανιόλα - Γεωμετρία 1^{ης} πρότασης

Για λόγους κόστους και μη συμφέρουσας κατασκευής ενός συστήματος που θα συγκρατεί την 6 τόνων καρμανιόλα, η λύση αυτή απορρίπτεται.

2η Περίπτωση: Μείωση των παραμορφώσεων με εφαρμογή ελάσματος περιφερειακά

Η δεύτερη προτεινόμενη λύση βασίζεται στη θεωρία της στρέψης [3]. Η εξωτερική ροπή στρέψης υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$M_x = G \cdot \theta \cdot I_o$$

όπου

M_x : η εξωτερική ροπή στρέψης,

G : μέτρο διάτμησης του υλικού,

θ : συστροφή και παριστάνει τη γωνία στροφής ανά μονάδα μήκους

I_0 : η πολική ροπή αδράνειας.

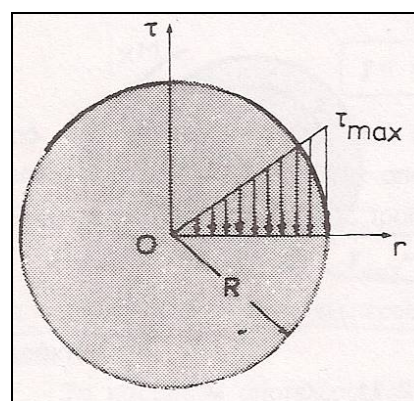
Η εξωτερική ροπή στρέψης προκύπτει από το γινόμενο του μέτρου διάτμησης (G), που είναι σταθερά και χαρακτηρίζει το υλικό, της συστροφής (θ) και της πολικής ροπής αδράνειας (I_0).

Στο μόνο μέγεθος στο οποίο μπορούμε να παρέμβουμε άμεσα είναι η πολική ροπή αδράνειας. Η αύξηση της πολικής ροπής αδράνειας του σώματος είναι ανάλογη με την αύξηση της εξωτερικής ροπής στρέψης (M_x).

Η πολική ροπή αδράνειας υπολογίζεται από τους παρακάτω τύπους:

- για κυκλική διατομή

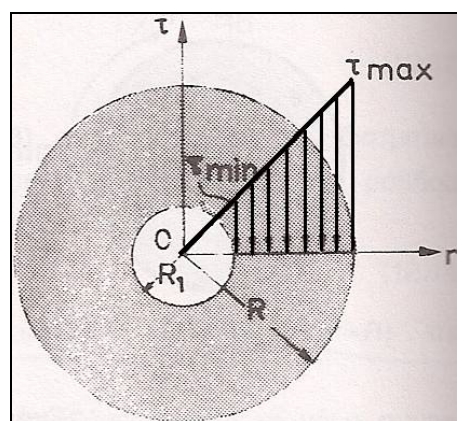
$$I_0 = \frac{\pi \cdot R^2}{2}$$



Σχέδιο 4.1: Κυκλική διατομή

- για δακτυλιοειδή διατομή

$$I_0 = \frac{\pi}{2} \cdot (R^4 - R_1^4)$$

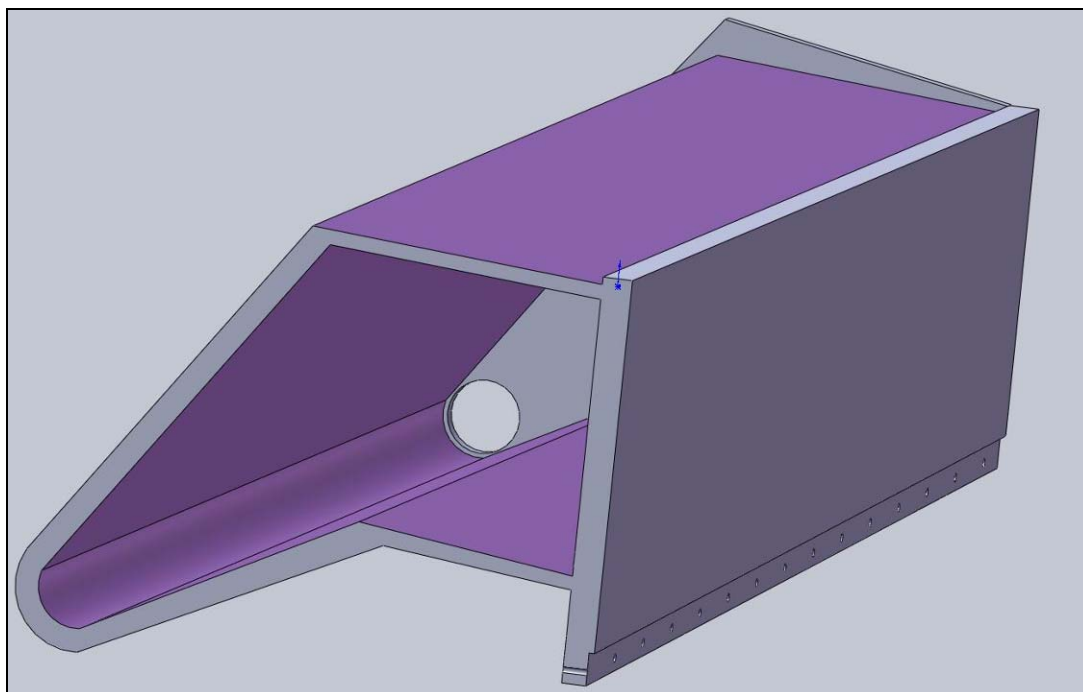


Σχέδιο 4.2: Δακτυλιοειδής διατομή

Από τις δύο παραπάνω σχέσεις γίνεται φανερό ότι η ακτίνα της διατομής παίζει ενεργό ρόλο στην αύξηση της εξωτερικής ροπής στρέψης.

Στηριζόμενοι στα παραπάνω συμπεράσματα η γεωμετρία που μπορούσε να καλύψει τη μεγαλύτερη ακτίνα ώστε να επιτευχτεί η μέγιστη δυνατή αντοχή σε στρεπτική ροπή παρουσιάζεται στην εικόνα 4.15. Το γεωμετρικό αποτέλεσμα της

απόπειρας αυτής ήταν η δημιουργία ενός κελύφους με πάχος 15mm που καταλάμβανε όλη την περιφέρεια της καρμανιόλας.



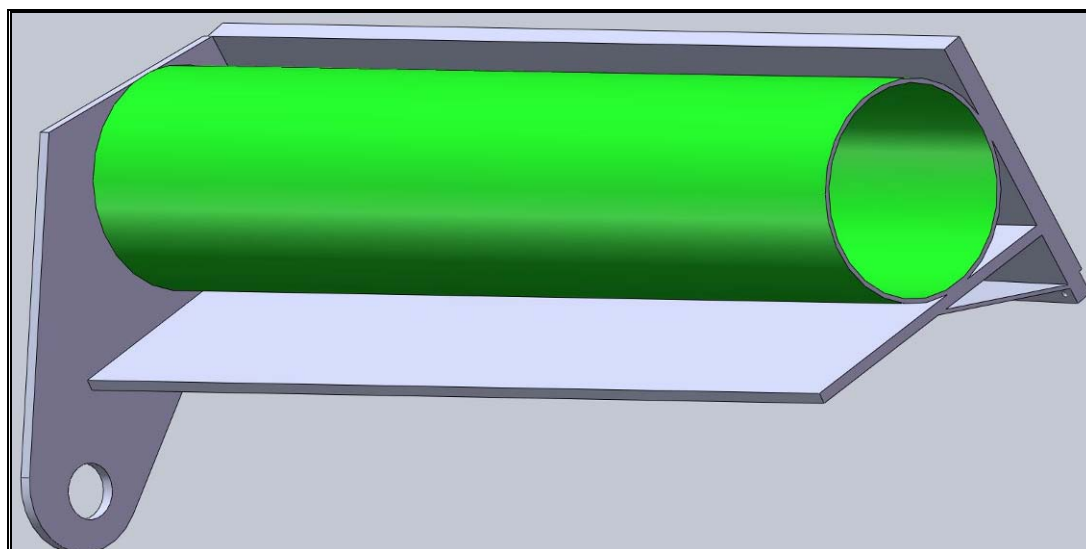
Εικόνα 4.15: Καρμανιόλα - Γεωμετρία 2^{ης} πρότασης

Τα αποτελέσματα έρχονται να επιβεβαιώσουν τη θεωρία. Η μέγιστη παραμόρφωση είναι 0,945mm δηλαδή μείωση της τάξης του 53,75% από την υπάρχουσα γεωμετρία (2,043mm).

Το πρόσθετο βάρος των 1.079 κιλών και η απαιτητική του γεωμετρία που εκτοπίζει κάθε παρέμβαση στο εσωτερικό της καρμανιόλας κάνει την κατασκευή μη υλοποιήσιμη.

3^η Πρόταση: Μείωση των παραμορφώσεων με την προσθήκη σωλήνα

Ως εναλλακτική εφαρμογή της παραπάνω θεωρίας προστέθηκε στην καρμανιόλα μια δακτυλιοειδής διατομή – σωλήνας. Η ακτίνα που επιλέχθηκε είναι η μέγιστη που μπορεί να φέρει η καρμανιόλα συγκολλημένη εξ ολοκλήρου στην περιφέρειά της. Το πάχος του τοιχώματος του σωλήνα είναι 21mm ($R_o - R_i = 243 - 222\text{mm}$). Η γεωμετρία παρουσιάζεται σε τομή στην εικόνα 4.16.

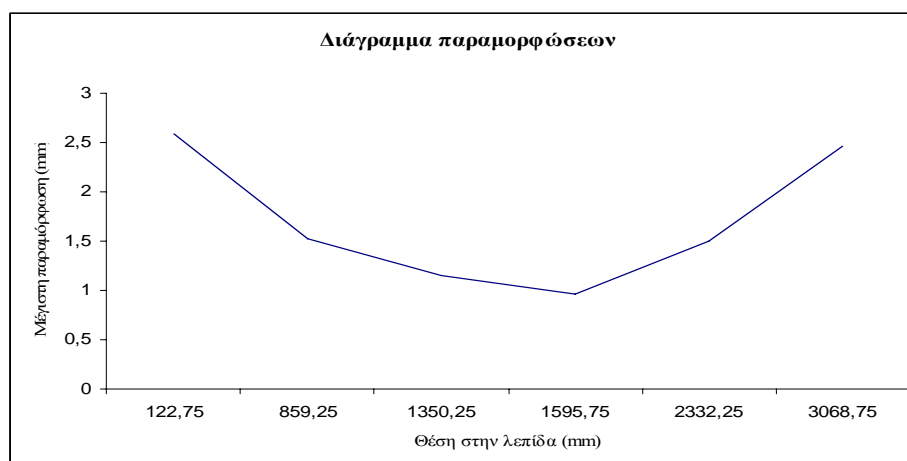


Εικόνα 4.16: Καρμανιόλα - Γεωμετρία 3^{ης} πρότασης

Τα αποτελέσματα των μέγιστων παραμορφώσεων καθώς εξελίσσεται η διαδικασία της κοπής παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα.

α.α.	Μέγιστη παραμόρφωση (mm)	Θέση στη λεπίδα (mm)
1	2,591	122,75
2	1,528	859,25
3	1,144	1350,25
4	0,9616	1595,75
5	1,494	2332,25
6	2,458	3068,75

Πίνακας 4.13: Μέγιστη παραμόρφωση λόγω στρέψης



Διάγραμμα 4.10: Μέγιστη παραμόρφωση λόγω στρέψης.

Τα αποτελέσματα των παραμορφώσεων είναι ικανοποιητικά και παρόμοια με της υπάρχουσας γεωμετρίας. Το μόνο μειονέκτημα είναι το προσθετό βάρος των 362 κιλών που απαιτείται.

Μια υποπερίπτωση που μελετήθηκε για λόγους πληρότητας είναι η υπόθεση «Τι παραμορφώσεις θα εμφανίζονταν εάν ο σωλήνας είχε βάρος ίσο με το βάρος της υπάρχουσας κατασκευής».

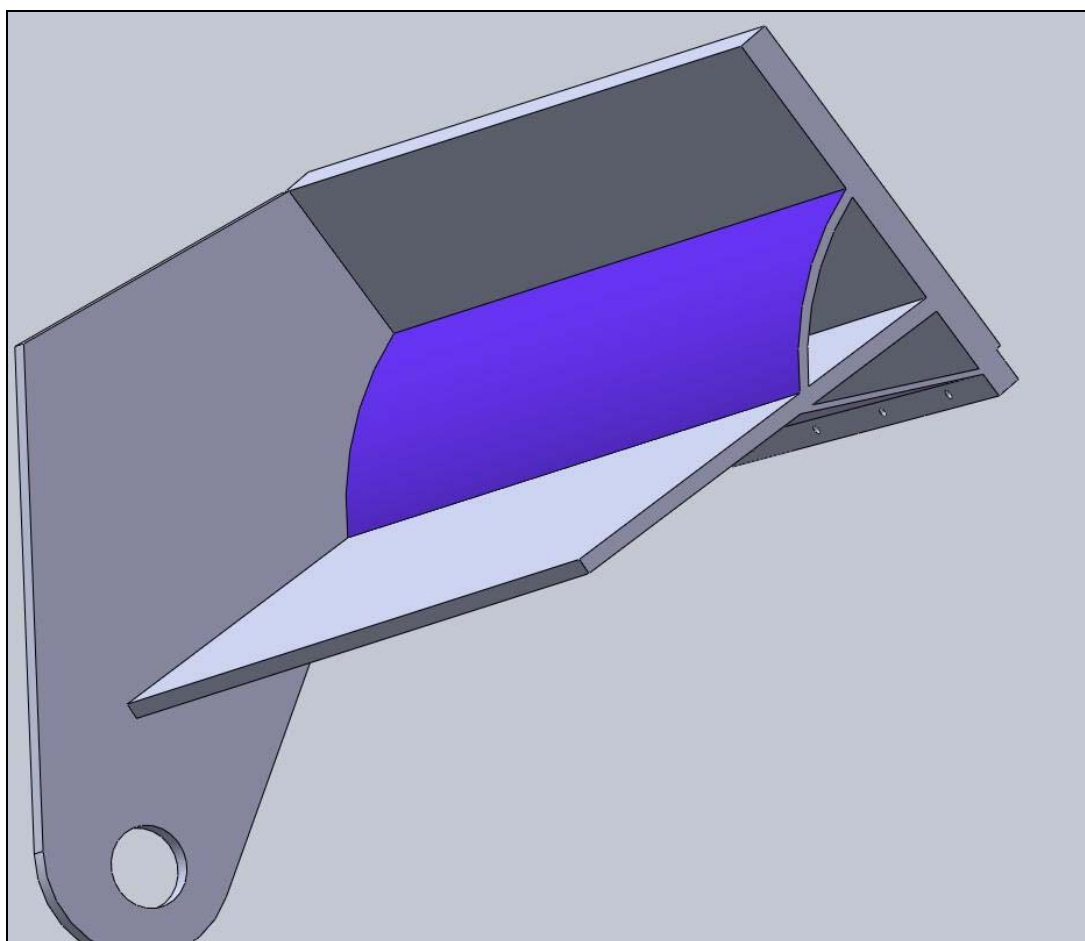
Η προϋπόθεση του βάρους καλύπτεται όταν το πάχος του σωλήνα είναι 10mm ($R_o - R_i = 243 - 233\text{mm}$).

Το κόστος σε βάρος τώρα είναι το ίδιο, όμως οι παραμορφώσεις διπλασιάστηκαν, αυξήθηκαν δηλαδή σχεδόν κατά 100%.

4^η Περίπτωση: Μείωση των παραμορφώσεων με την προσθήκη τοξοτού ελάσματος:

Εξελίσσοντας την περίπτωση του σωλήνα και την προσπάθεια για τη μέγιστη επιφάνεια που καταλαμβάνει η ακτίνα του, επινοήθηκε η επόμενη πρόταση.

Σχεδιάζεται τόξο με πάχος 15mm που ενώνεται με το υπόλοιπο σώματα της καρμανιόλας όπως φαίνεται και σε τομή στην εικόνα που ακολουθεί.



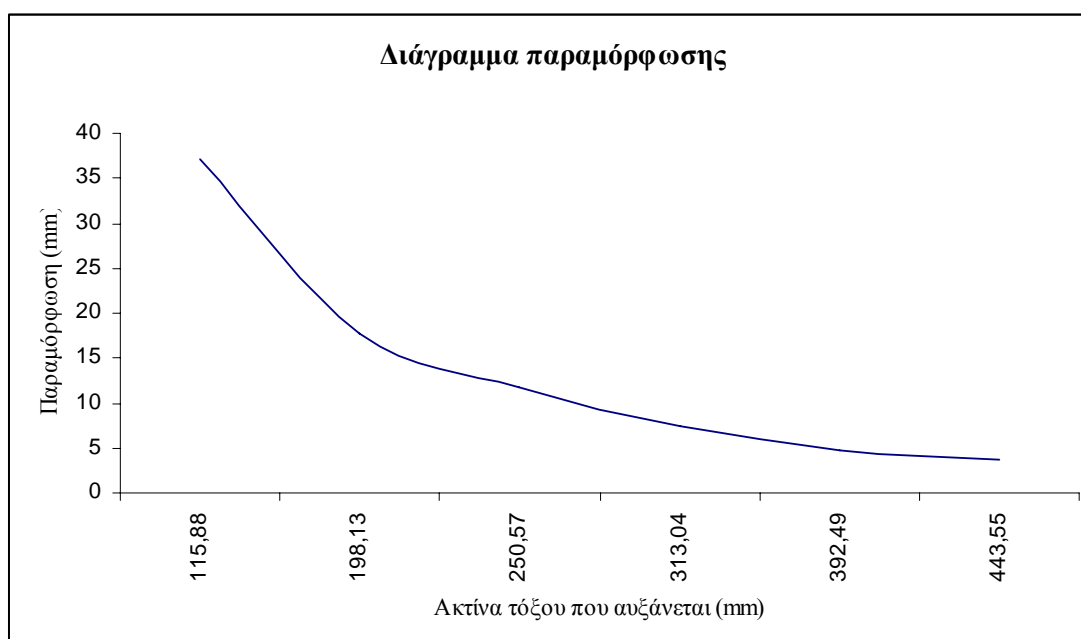
Εικόνα 4.17: Καρμανιόλα - Γεωμετρία με μικρή ακτίνα τόξου.

Η κύρια αρχή της ιδέας είναι η μεταβλητή ακτίνα του τόξου με σταθερό πάχος έως ότου βρεθεί ικανοποιητική τιμή για την παραμόρφωση λόγω στρέψης.

α.α.	Ακτίνα τόξου (mm)	Μέγιστη παραμόρφωση (mm)
1	115,88	37,1
2	198,13	17,83
3	250,57	11,66
4	313,04	7,502
5	392,49	4,66
6	443,55	3,61

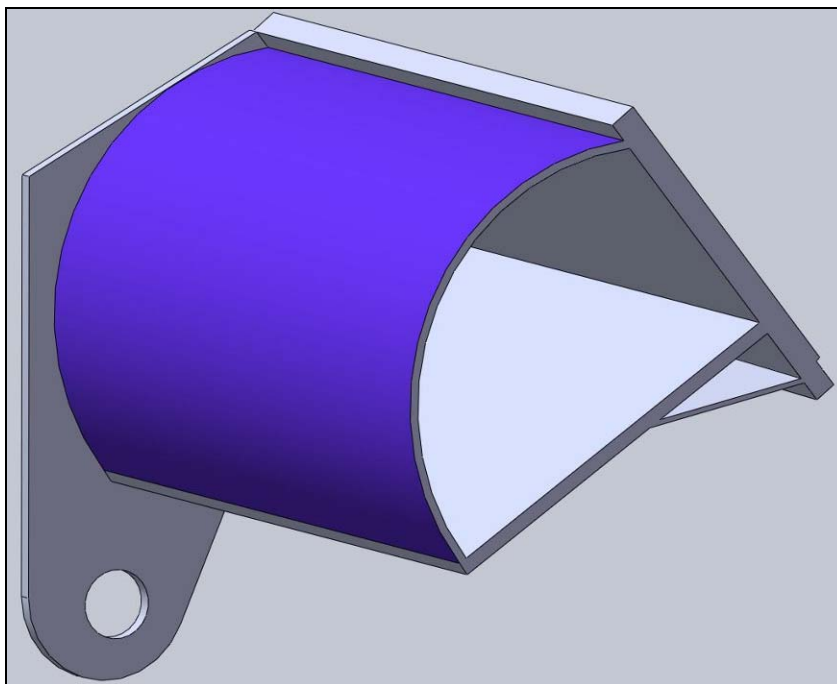
Πίνακας 4.14: Παραμόρφωση λόγω στρέψης συναρτήσει της ακτίνας του τόξου.

Από τη μορφή του γραφήματος γίνεται κατανοητή η συμβολή της ακτίνας του τόξου στη μείωση της παραμόρφωσης.



Διάγραμμα 4.11: Παραμόρφωση λόγω στρέψης συναρτήσει της ακτίνας του τόξου.

Η μεγαλύτερη ακτίνα που δοκιμάστηκε με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων είναι η $R = 446\text{mm}$ (εικόνα 4.1.8.) όπου ήταν και μέγιστη που δέχονται τα όρια της γεωμετρίας της καρμανιόλας. Το αποτέλεσμα ήταν μια αύξηση των παραμορφώσεων κατά 80% (ελάχιστη περίπτωση μέγιστης παραμόρφωσης στην καρμανιόλα ήταν 3,610mm για ακτίνα 446mm). Το βάρος παρέμεινε στα 1800 κιλά περίπου.



Εικόνα 4.18: Καρμανιόλα - Γεωμετρία 4^{ης} πρότασης

Το συμπέρασμα που λαμβάνεται από τη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ότι το τόξο είναι μια επιτυχημένη σκέψη θέτει όμως ως κύριο περιορισμό στον όγκο που καταλαμβάνει και την μηδενική προσπέλαση που προσφέρει στο εσωτερικό της καρμανιόλας.

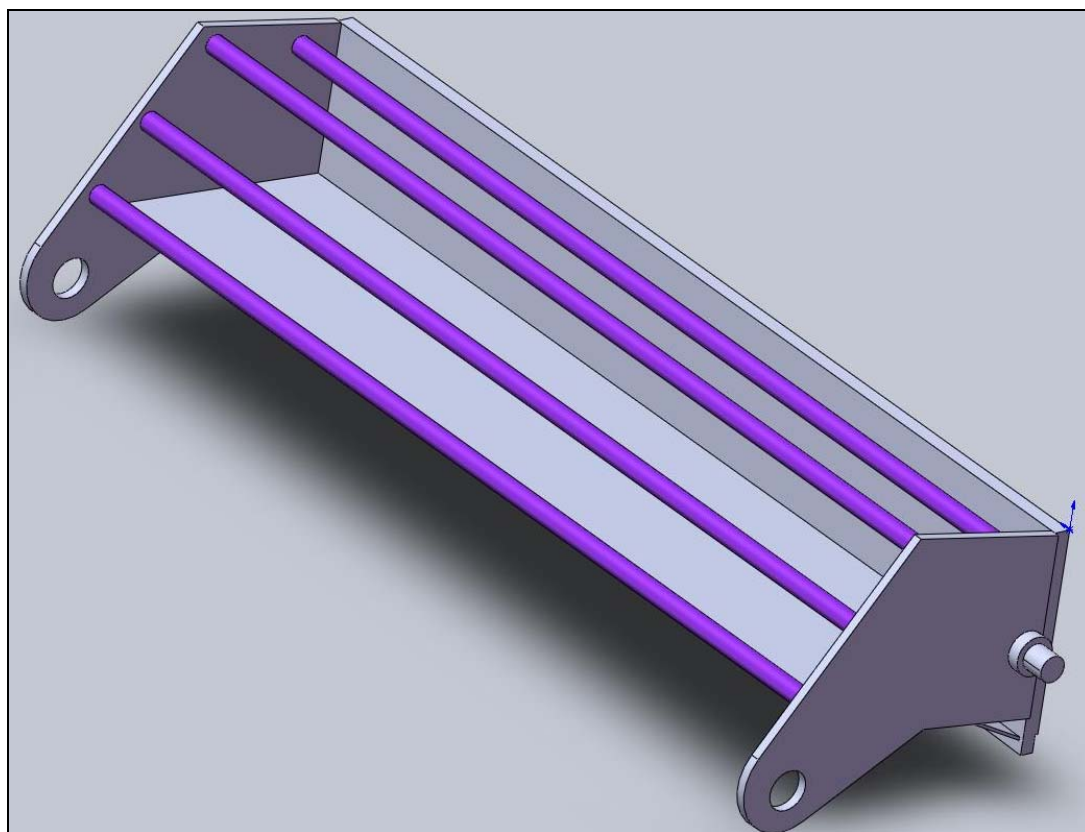
Μια δεύτερη σειρά πειραματικών προσπαθειών που επικεντρώνονται όμως στην διευκόλυνση του τεχνίτη να έχει πρόσβαση σε όλους του χώρους της καρμανιόλας παρουσιάζεται παρακάτω.

Η κεντρική ιδέα είναι η αντικατάσταση του ελάσματος σχήματος ‘Γ’ με δοκούς διαφορετικής διατομής που θα δοκιμαστούν σε διάφορους συνδυασμούς ώστε να εξαχθούν πληροφορίες για την ικανότητά τους να μειώσουν τις παραμορφώσεις που οφείλονται στη στρέψη.

5^η Πρόταση: Μείωση των παραμορφώσεων με τη βοήθεια δοκών κυκλικής διατομής

Ως πρώτη προσπάθεια με δοκούς επιλέχθηκε να τοποθετηθούν τέσσερις δοκοί.

Οι δοκοί έχουν κυκλική διατομή διαμέτρου 60mm και μεταξύ τους απόσταση 300mm. Η γεωμετρία και η χωροθέτηση των δοκών παρουσιάζεται στην εικόνα 4.19.



Εικόνα 4.19: Καρμανιόλα - Γεωμετρία 5^{ης} πρότασης

Τα πλεονεκτήματα της παραπάνω γεωμετρίας είναι η μείωση του συνολικού βάρους της καρμανιόλας κατά 93 κιλά και η πρόσβαση που παρέχεται στο εσωτερικό της.

Αντίθετα οι παραμορφώσεις λόγω στρέψης φτάνουν στα 64,76mm. Αρκετά μεγάλες ώστε η ποιότητα κοπής να είναι κάκιστη και ακόμα να υπάρχουν και επαφές μεταξύ των κομματιών την εργαλειομηχανής.

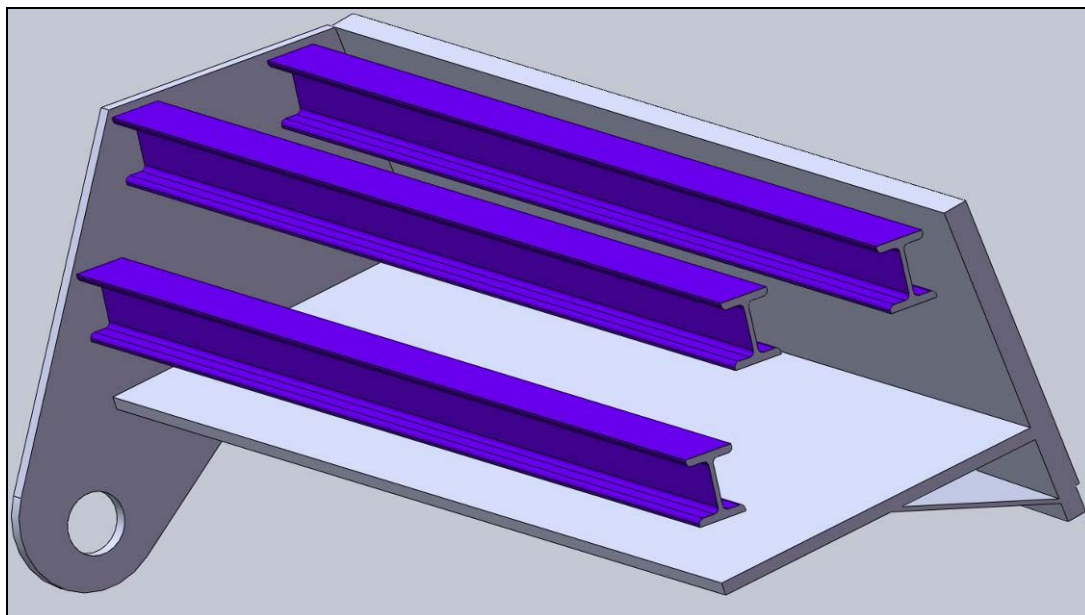
6^η Πρόταση: Μείωση των παραμορφώσεων με τη βοήθεια δοκών διατομής σχήματος 'H'

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα των δοκών με κυκλική διατομή, αποφασίσθηκε να χρησιμοποιηθούν δοκοί με διατομή σχήματος 'H'³.

Λόγω του βάρους της κάθε μίας δοκούς (περίπου 95 κιλά) επιλέχθηκαν να τοποθετηθούν τρεις δικοί σε απόσταση 300mm μεταξύ τους ώστε να έχει η καρμανιόλα συνολικό βάρος περίπου ίσο με της υπάρχουσας.

Αναλυτικότερα η γεωμετρία της καρμανιόλας παρουσιάζεται στην παρακάτω όψη σε τομή στο παρακάτω σχήμα.

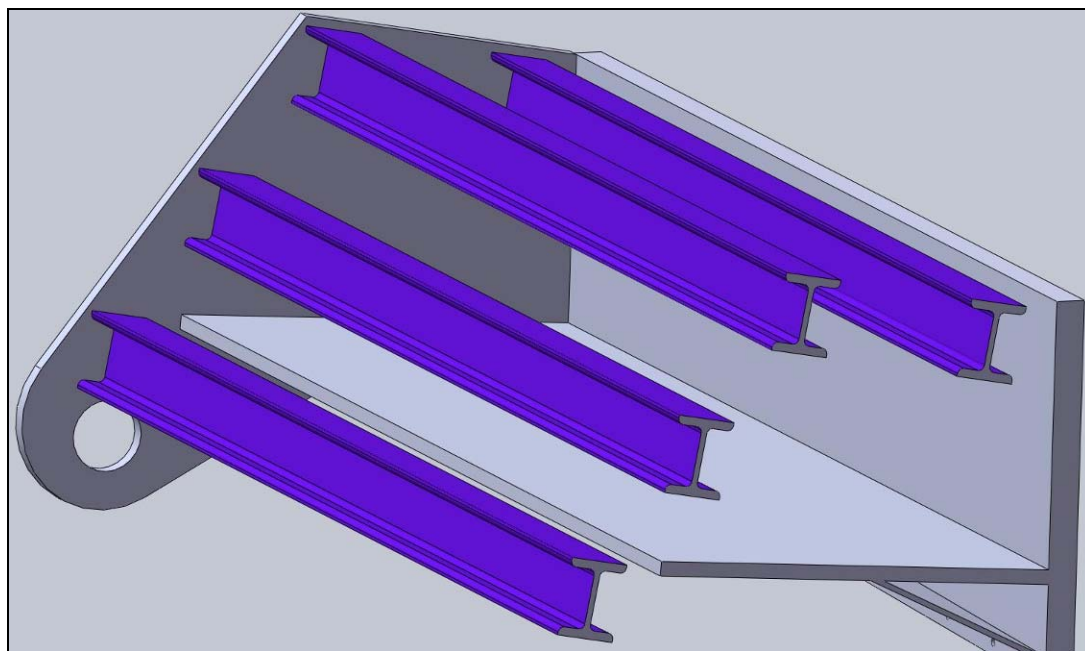
³ Παράρτημα σχεδίων



Εικόνα 4.20: Γεωμετρία καρμανιόλας με την προσθήκη τριών δοκών σχήματος 'H'

Εάν και το βάρος όπως ειπώθηκε και παραπάνω παρέμεινε στα ίδια επίπεδα με της υπάρχουσας κατασκευής, οι παραμορφώσεις λόγω στρέψης παρουσίασαν μέγιστη τιμή στα 61,35 mm. Η έκταση της παραμόρφωσης δεν επιτρέπει στην κατασκευή με τις τρεις δοκούς να υλοποιηθεί αφού τα 6 εκατοστά μετατόπισης είναι απαγορευτικά.

Για λόγους πληρότητας σχεδιάστηκε και μια δεύτερη περίπτωση με χρήση δοκών διατομής 'H'. Η σχεδίαση αυτή περιλαμβάνει τέσσερις δοκούς σε απόσταση 300mm (εικόνα 4.21). Το βάρος στην περίπτωση αυτή υπερβαίνει της υπάρχουσας (πραγματικής) κατά 21 κιλά, κάτι που μπορεί να γίνει δεκτό εφόσον και τα αποτελέσματα των παραμορφώσεων είναι ικανοποιητικά.



Εικόνα 4.21: Γεωμετρία καρμανιόλας με την προσθήκη τεσσάρων δοκών σχήματος ‘H’

Οι τιμές των παραμορφώσεων δεν διαφέρουν από την περίπτωση των τριών δοκών. Ειδικότερα, η μέγιστη παραμόρφωση είναι 60,51mm δημιουργώντας έτσι παρόμοια προβλήματα με τις δύο παραπάνω περιπτώσεις.

5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι απαιτήσεις της σύγχρονης αγοράς οδηγούν στη συνεχιζόμενη βελτίωση της ποιότητας προϊόντων μέσω του ανταγωνισμού. Οι εταιρίες που δε μπορούν να προσαρμοστούν στους ρυθμούς αυτούς συρρικνώνονται και παρακμάζουν.

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας ήταν:

- Η μελέτη της εργαλειομηχανής σε δομικό επίπεδο υπολογίζοντας τις παραμορφώσεις της κατασκευής και εξετάζοντας κατά πόσο καλύπτουν τα θεωρητικά κριτήρια.
- Η προσπάθεια βελτίωσης της ποιότητας κοπής προτείνοντας εναλλακτικές γεωμετρίες της καρμανιόλας και της βάσης. Οι προτάσεις αυτές αξιολογούνται βάση των αποτελεσμάτων που εξάγονται από την εφαρμογή της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων και τελικά αναδεικνύονται οι καλύτερες προτάσεις με γνώμονα την προσφορά στις παραμορφώσεις και το προστιθέμενο βάρος.

Η ανάγκη για σχεδίαση και επεξεργασία όσων το δυνατόν περισσότερων εναλλακτικών μοντέλων γρήγορα, αξιόπιστα και με σχεδόν μηδενικό κόστος καθιστά επιτακτική τη χρήση της σύγχρονης τεχνολογίας. Με την χρήση της σημερινής τεχνολογίας ικανοποιούνται οι παραπάνω ανάγκες μέσω των μηχανολογικών πακέτων σχεδίασης και επίλυσης με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.

Βασικό συστατικό για την εύρεση της πετυχημένης γεωμετρίας είναι επίσης και η εφαρμογή της αντίστοιχης μηχανολογικής θεωρίας του προβλήματος που μελετάται. Η πιστή εφαρμογή της θεωρίας στην περίπτωση του παρόντος προβλήματος είχε ως αφετηρία μη υλοποιήσιμες κατασκευές. Ο συνδυασμός όμως της θεωρίας, με τις ανάγκες μας και με την παρατήρηση οδήγησαν στη «χρυσή τομή».

Ξεκινώντας την ανάλυση της εργαλειομηχανής με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων είναι απαραίτητη η δημιουργία αναλυτικού τρισδιάστατου μοντέλου της εργαλειομηχανής. Τα ήδη σχεδιασμένα κομμάτια της εργαλειομηχανής διευκόλυναν την διαδικασία δημιουργίας του μοντέλου.

Αρχικά, δίνεται συνοχή στα επιμέρους κομμάτια για τη δημιουργία μιας λειτουργικής εργαλειομηχανής.

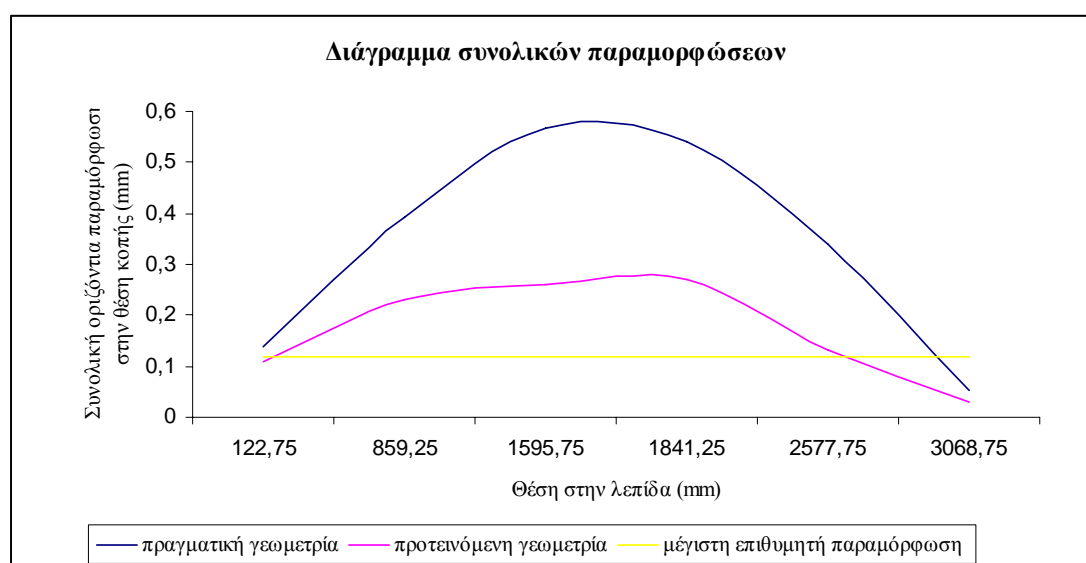
Το πρώτο πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε ήταν η ύπαρξη οριζόντιας παραμόρφωσης στην άνω και κάτω λεπίδα κοπής. Η παραμόρφωση των λεπίδων

οδηγεί στην αύξηση της χάρης της κοπής με συνέπεια τη μείωση της ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος.

Η λύση που προτείνεται για τη μείωση της οριζόντιας παραμόρφωσης στην *καρμανιόλα* είναι η πρόσθεση 2mm πάχους στην οριζόντια στήριξη της λεπίδας. Όπως παρουσιάστηκε και στην παράγραφο 4.1.1 η οριζόντια παραμόρφωση μειώθηκε ως και 0,08mm με αύξηση του βάρους της καρμανιόλας κατά 32,60 κιλά

Αντίστοιχα στη *βάση* προτείνεται η τοποθέτηση των δύο κάθετων νεύρων που εξασφαλίζουν μείωση των παραμορφώσεων στο σημείο κοπής και γενική στιβαρότητα στο σωληνωτό της βάσης. Από την παράγραφο 4.1.2 και το πίνακα 4.6 συγκεκριμένα, γίνεται φανερή η συμβολή των νεύρων στη μείωση των οριζόντιων παραμορφώσεων σε σύγκριση με τις παραμορφώσεις της πραγματικής γεωμετρίας. Η μείωση φτάνει έως και τα 0,21mm, αναλογιζόμενοι και την προσθήκη μόλις 74 κιλών στη βάση. Η πρόταση αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί απόλυτα ικανοποιητική.

Αθροίζοντας και συγκρίνοντας τα συνολικά αποτελέσματα της οριζόντιας παραμόρφωσης για το πραγματικό μοντέλο και το προτεινόμενο έχουμε:



Διάγραμμα 5.1: Διάγραμμα συνολικών παραμορφώσεων

Το κριτήριο που απαιτεί η συνολική οριζόντια παραμόρφωση να μη ξεπερνά την τιμή 0,12mm δεν επιτεύχθηκε στο μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής και μετά τις παρεμβάσεις στη γεωμετρία της εργαλειομηχανής. Ωστόσο η συνολική οριζόντια παραμόρφωση μειώθηκε σε ποσοστό έως και 54,4% στη θέση της μέσης της κατεργασίας. Η αύξηση του συνολικού βάρους κατά 106,6 κιλά αντιπροσωπεύει αύξηση μόλις κατά 2% στην εργαλειομηχανή των 5,5 τόνων.

Το πρόβλημα που ακολούθησε ήταν η ύπαρξη της στρέψης στην καρμανιόλα. Για την αντιμετώπιση της στρέψης απαιτήθηκε ο πειραματισμός με

ποικιλία εναλλακτικών γεωμετριών. Η θεωρία σε συνδυασμό με την παρατήρηση που εξετάστηκε σε κάθε περίπτωση ανέδειξαν τις επικρατέστερες προτάσεις.

Οι δύο αυτές προτάσεις είναι :

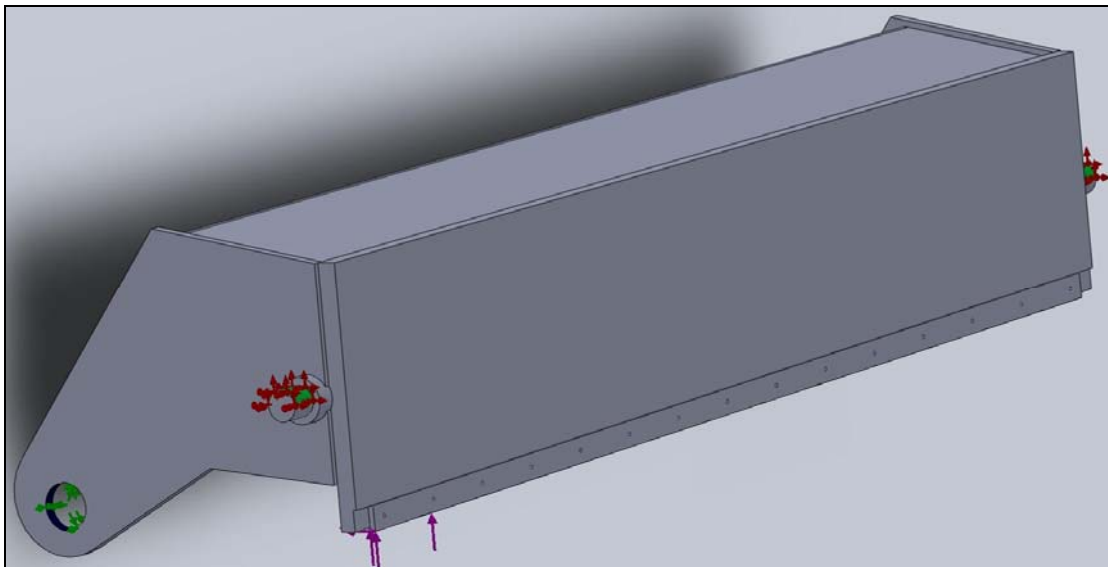
- Το τοξοτό έλασμα με τη μέγιστη ακτίνα.
- Η γεωμετρία με τη μέγιστη πολική ροπή αδρανείας.

Το πρόβλημα πλέον έγκειται στο να συνδυαστούν οι δύο αυτές γεωμετρίες σε μία που θα συνδυάζει το μικρό πρόσθετο βάρος του τόξου με την στρεπτική ικανότητα της γεωμετρίας που έχει τη μέγιστη πολική ροπή αδρανείας. Η κατάληξη του συνδυασμού αυτού ήταν να δημιουργηθεί η εκ νέου κατασκευή της ήδη υπάρχουσας γεωμετρίας.

Απαλλάσσοντας την εργαλειομηχανή από το αίτιο που προκαλεί την στρέψη, δηλαδή την αδυναμία του υδραυλικού συστήματος να μεταβάλλει την πίεση στα δύο έμβολα ανάλογα με τις απαιτήσεις της κατεργασίας καθώς αυτή εξελίσσεται, έχει θετικό αντίκτυπο αρχικά στις παραμορφώσεις και κατ' επέκταση στο βάρος της εργαλειομηχανής.

Μια άμεση λύση με αρκετά καλή ακρίβεια και με ανάλογα αποτελέσματα είναι η ύπαρξη τρισδιάστατου μοντέλου της καρμανιόλας που θα είχε:

- πάκτωση στη θέση των εμβόλων
- άρθρωση που θα επέτρεπε την περιστροφή της καρμανιόλας και
- δυνάμεις κοπής ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του ελάσματος προς κατεργασία.



Εικόνα 5.1: Απεικόνιση δυνάμεων και περιορισμών

Η επίλυση του παραπάνω μοντέλου, για διάφορα σημεία κοπής, θα έδινε μια σειρά από αντιδράσεις στις πακτώσεις των εμβόλων που θα προσομοίαζαν τις απαιτήσεις του κάθε εμβόλου σε πίεση για κάθε σημείο της διαδρομής της κατεργασίας.

Μία δεύτερη λύση για μεγαλύτερη ακρίβεια είναι χρησιμοποιώντας ένα σύστημα αυτόματου ελέγχου που θα παίρνει τα δεδομένα της κοπής θα τα επεξεργάζεται και θα ρυθμίζει την πίεση στα έμβολα σε πραγματικό χρόνο. Η μέθοδος αυτή είναι ακριβείας και αυτοματοποιημένη αλλά το κόστος μιας τέτοιας σύνθεσης είναι μεγάλο.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία:

1. Ελευθερίου Δ. Παπαδανιήλ, Μιχαήλ Μ. Σφαντζικόπουλου, «Μηχανουργική Τεχνολογία, εργαστήριο II». Εκδόσεις ίδρυμα Ευγενίδου, 1994.
2. Χ. Προβατίδης, Ι. Αντωνιάδης, «Υπολογιστικές μέθοδοι στις Κατασκευές», Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2004.
3. Γ.Ι. Τσαμασφύρος, «Μηχανική Παραμορφώσιμων Σωμάτων Ι», Εκδόσεις Συμμετρία, 1990.
4. Χριστόφορος Προβατίδης, «Ανάλυση Μηχανολογικών Κατασκευών – II (Πρόχειρες σημειώσεις)», Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2004
5. Αθανάσιος Γ. Μάμαλης, «Τεχνολογία των Κατεργασιών των Υλικών: Μεταλλικά Τεχνικά Υλικά», Εκδόσεις Φοίβος, 1997.
6. Ανδρέας Ε. Κανάραχος, «Πεπερασμένα Στοιχεία και Ανάλυση Κατασκευών στην Μηχανολογία», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 1995.
7. Ανδρέας Κανάραχος, Χριστόφορος Προβατίδης, «Πεπερασμένα Στοιχεία στη Μηχανολογία», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2000
8. Κουκούλης Ιωάννης, «Ανάπτυξη Τριδιάστατου Μοντέλου Πεπερασμένων Στοιχείων του Πρώτου Οσφρικού Σπονδύλου- ΟΙ» , Διπλωματική εργασία, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Επιβλέπων Καθηγητής Χριστόφορος Προβατίδης, 2002.

Διεθνής Βιβλιογραφία:

9. F. Aggogeri, A. Merlo, M. Mazzola, «*Multifunctional structure solutions for Ultra High Precision (UHP) machine tools*», International Journal of Machine Tools and Manufacture, In Press, Corrected Proof, Available online 19 November 2009
10. M. Zatarain, E. Lejardi, F. Egana, R. Bueno, «*Modular Synthesis of Machine Tools*», CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 47, Issue 1, 1998, Pages 333-336.
11. G. Bianchi, F. Paolucci, P. Van den Braembussche, H. Van Brussel, F. Jovane, «*Towards Virtual Engineering in Machine Tool Design*», CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 45, Issue 1, 1996, Pages 381-384.
12. G. Corriveau, R. Guilbault, A. Tahan, «*Genetic algorithms and finite element coupling for mechanical optimization*», Advances in Engineering Software, Volume 41, Issue 3, Advances in optimum engineering design, March 2010, Pages 422-426.

Ηλεκτρονικές διευθύνσεις:

13. Γκιζέλης, «*Metal Working Machinery*», <http://www.gizelis.gr/index.php>
14. Επιστημονική βιβλιοθήκη «*Science Direct*», www.sciencedirect.com
15. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, *Web Server Μαθημάτων Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών*, <http://courseware.mech.ntua.gr/>
16. Εκπαιδευτικό Υλικό για το μάθημα «Κατεργασίες Ι», <http://courseware.mech.ntua.gr/ml26065/>
17. efun-da, <http://www.efunda.com/home.cfm>

7 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

7.1 Παράρτημα Ορισμών

Von Mises

Ένα κριτήριο διαρροής είναι μια υπόθεση που σχετίζει τη σύνθετη καταπόνηση με τα δεδομένα της μονοαξονικής καταπόνησης [3]. Το κριτήριο αυτό, στη συνέχεια, ελέγχεται με τη βοήθεια πειραμάτων και γίνεται αποδεκτό ή απορρίπτεται ανάλογα με το αν συμφωνεί ή όχι με τα πειραματικά δεδομένα. Η δημιουργία ενός οικουμενικού κριτηρίου, που να προβλέπει με μεγάλη ακρίβεια σε όλα τα υλικά την κατάσταση διαρροής, προσκρούει στις διαφορετικές ιδιότητες των υλικών. Ένα κριτήριο που δίνει πολύ καλά αποτελέσματα για ένα υλικό, μπορεί να αποτυγχάνει σε ένα άλλο.

Ένα κριτήριο που προσεγγίζει με επιτυχία τα όλκιμα υλικά είναι το κριτήριο διαρροής

Το κριτήριο διαρροής von Mises εκφράζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\sigma_{von\ Mises} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}}$$

Όπου

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$: είναι η ορθή τάση στον αντίστοιχο άξονα.

Χάρη

Ο σημαντικότερος παράγοντας από αυτούς που καθορίζουν τον τρόπο αστοχίας του υλικού του ελάσματος κατά την κοπή είναι η χάρη μεταξύ των δύο λεπίδων κοπής.

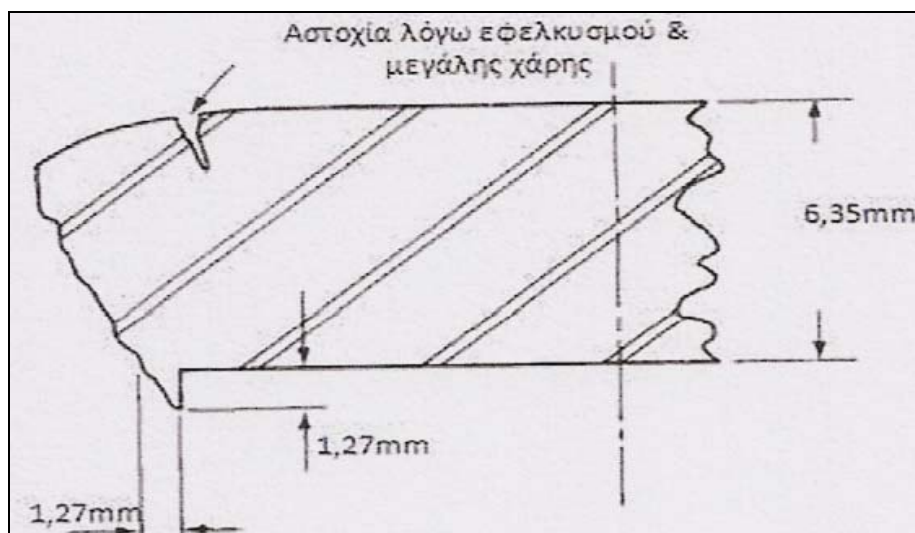
Όταν οι χρησιμοποιούμενες κοπτικές ακμές είναι αιχμηρές με χάρη μικρότερη από το πάχος του ελάσματος, προκύπτουν πιο καθαρές ακμές στο κατεργαζόμενο έλασμα.

Με χρήση μικρής χάρης, μεταξύ 3% και 5%, εμφανίζεται το φαινόμενο της δευτερογενούς διάτμησης. Αυτό προκαλείται όταν η θραύση που δημιουργείται λόγω της πίεσης της άνω λεπίδας δεν συναντά εκείνη που δημιουργείται στο έλασμα λόγω της πίεσης που ασκεί η κάτω λεπίδα.

Με χρήση χάρης μικρότερης του 3% ο αριθμός των φαινομένων της δευτερογενούς πολλαπλασιάζεται. Ο όρος δευτερογενής διάτμηση περιγράφει το γεγονός ότι επιπλέον υλικό πρέπει να υποστεί διάτμηση προκειμένου να συνδέσει τις δύο αρχικές θραύσεις.

Με χρήση μεγάλης χάρης, μεταξύ 10% και 50% του πάχους του ελάσματος, προκύπτει έντονη καμπύλωση (roll-over) στην επιφάνεια κοπής. Σε πολλές περιπτώσεις η παραμόρφωση αυτή προκαλεί απόσχιση του υλικού (tearing) στην καμπύλη επιφάνεια αυτού. Η τάση του υλικού στην περίπτωση αυτή ξεπερνά το τοπικό όριο θραύσης σε εφελκυσμό. Επίσης η χρήση μεγάλης χάρης σε όγκιμο υλικό, προκαλεί μεγάλο προέκταμα (εικόνα Π.1).

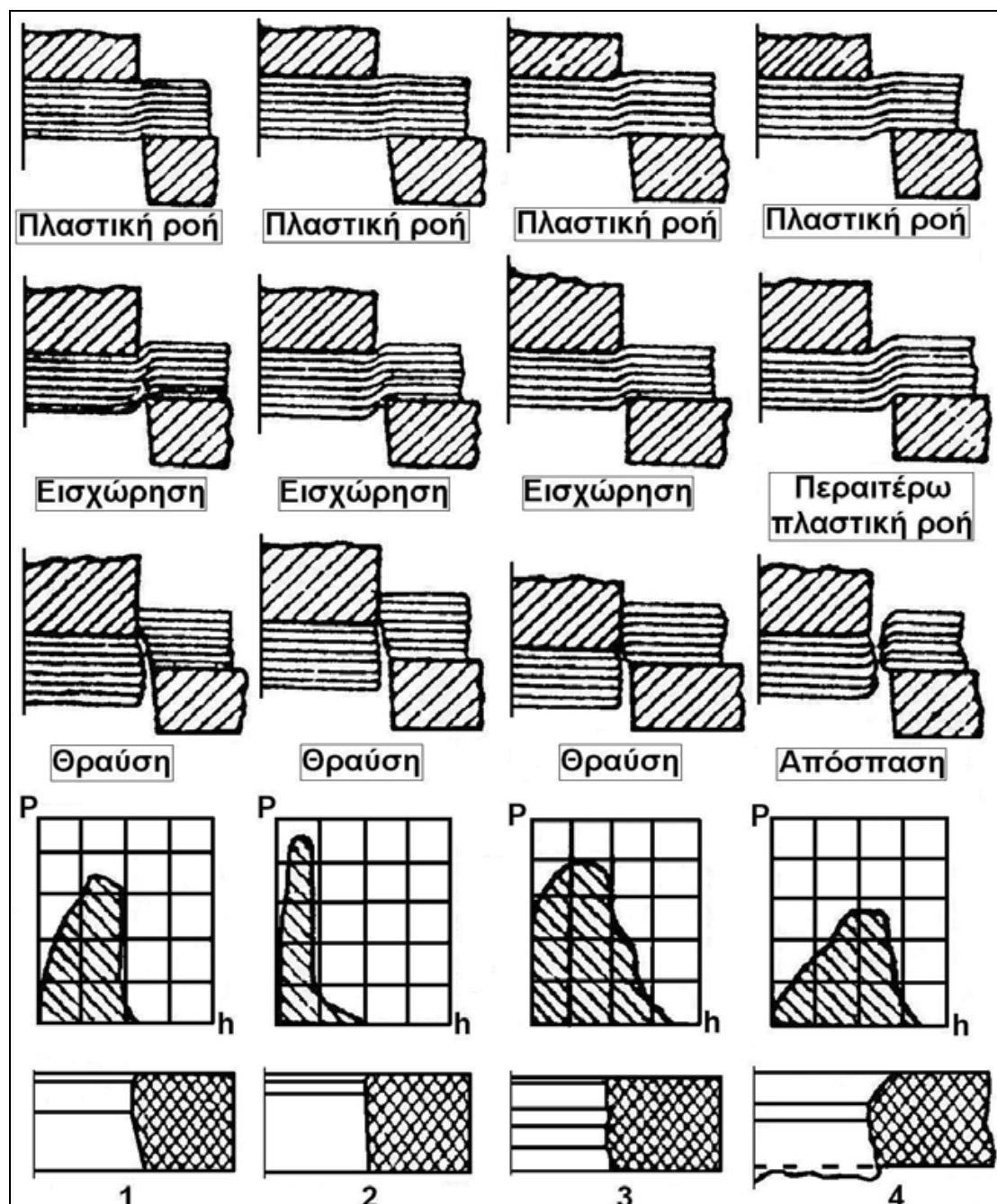
Η επιλογή κατάλληλης χάρης εξαρτάται από το επιθυμητό αποτέλεσμα αναφορικά με την επιφάνεια κοπής. χρήση χάρης μικρότερης του 10% χρησιμοποιείται για την επίτευξη δευτερογενούς διάτμηση, αφού το φαινόμενο αυτό το φαινόμενο αυτό αφήνει πιο πλήρη επιφάνεια κοπής στο έλασμα. Η μικρή χάρη, βέβαια, προκαλεί μεγαλύτερη φθορά στις κοπτικές ακμές.



Εικόνα Π. 1: Παραγόμενο προέκτασμα (burr) με χρήση χάρης 36%

Στη συγκεκριμένη εργαλειομηχανή η κατασκευάστρια εταιρεία επιδιώκει η κατεργασία του ψαλιδισμού να έχει χάρη το ένα δέκατο (1/10) του πάχους του ελάσματος που κατεργάζεται και η επιπλέον οριζόντια παραμόρφωση των λεπίδων να μην ξεπερνούν το 20% της χάρης.

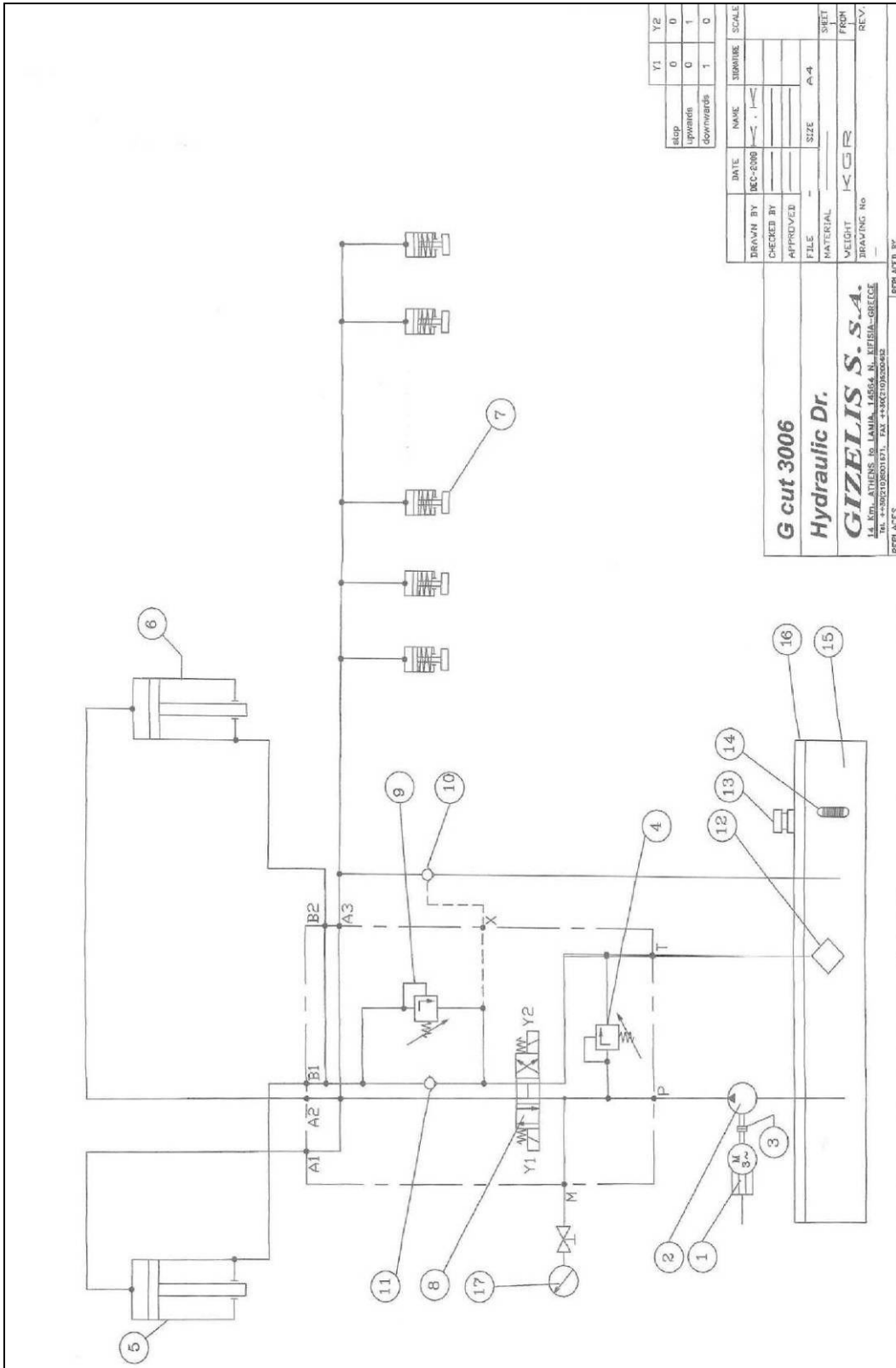
Παρακάτω παρουσιάζεται η πορεία της κατεργασίας της κοπής με εικόνες συναρτήσει της σκληρότητας του υλικού και της χάρης [16].



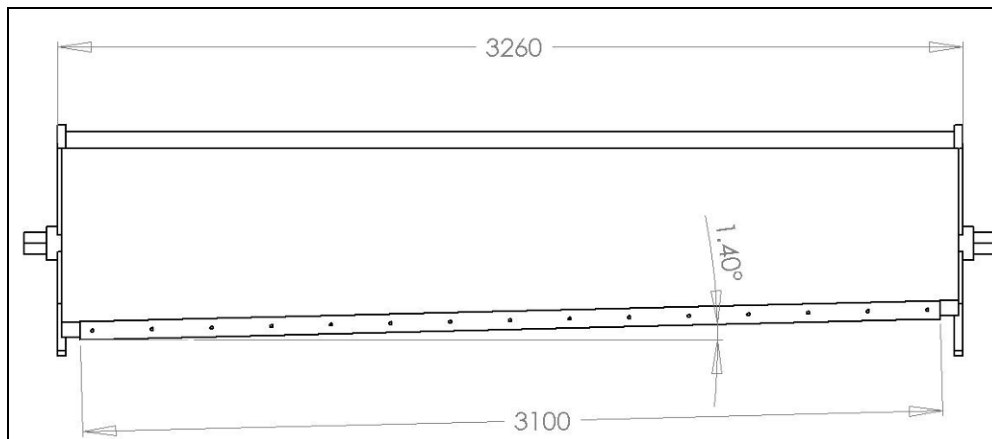
Εικόνα Π. 2: Επίδραση της χάρης στη δύναμη, το έργο και την επιφάνεια αποχωρισμού κατά την κοπή.

- 1:Μαλακά υλικά – Σωστή χάρη
- 2:Σκληρά υλικά – Σωστή χάρη
- 3:Ανεπαρκής χάρη
- 4:Υπερβολική χάρη (Απόσπαση, όχι θραύση)

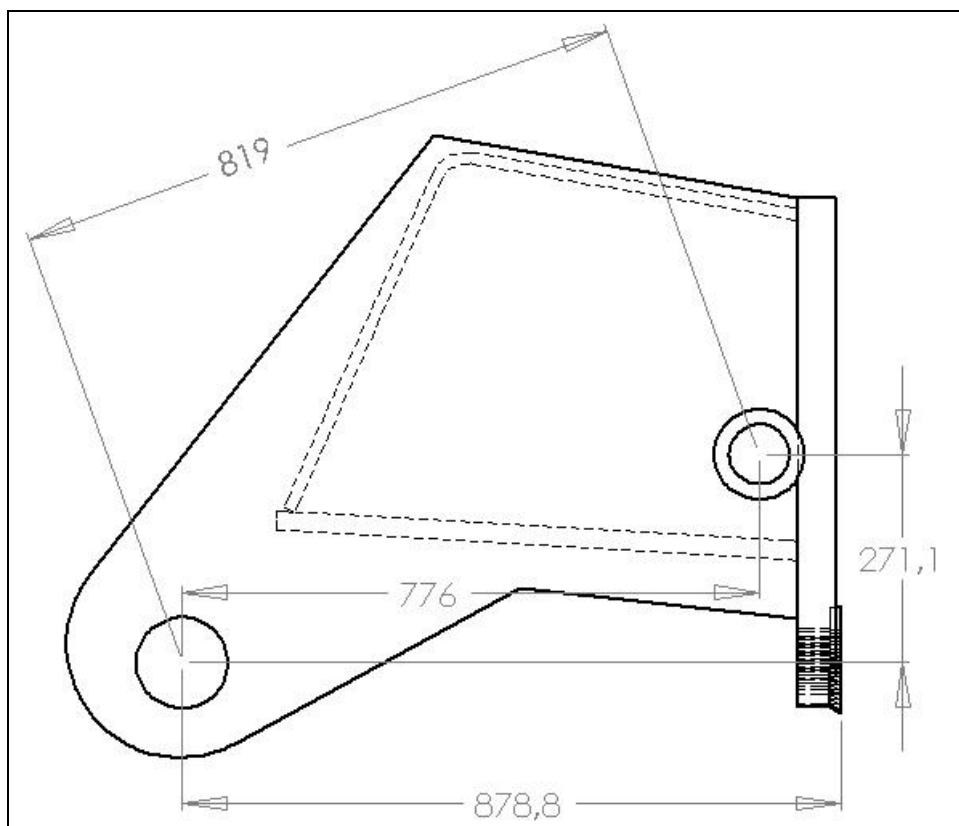
7.2 Παράρτημα Σχεδίων



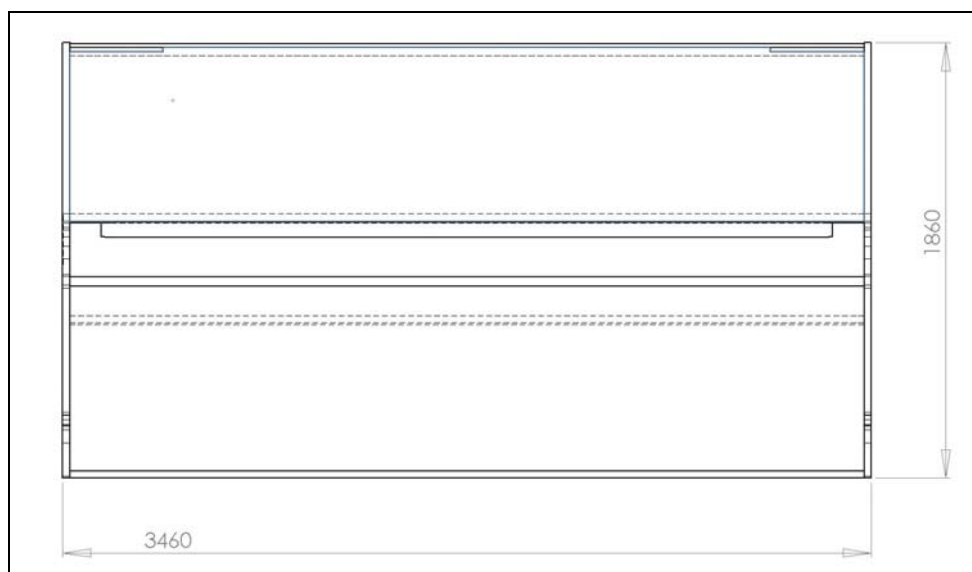
Σχέδιο Π. 1: Υδραυλικό σύστημα της εργολεϊτομηχανής



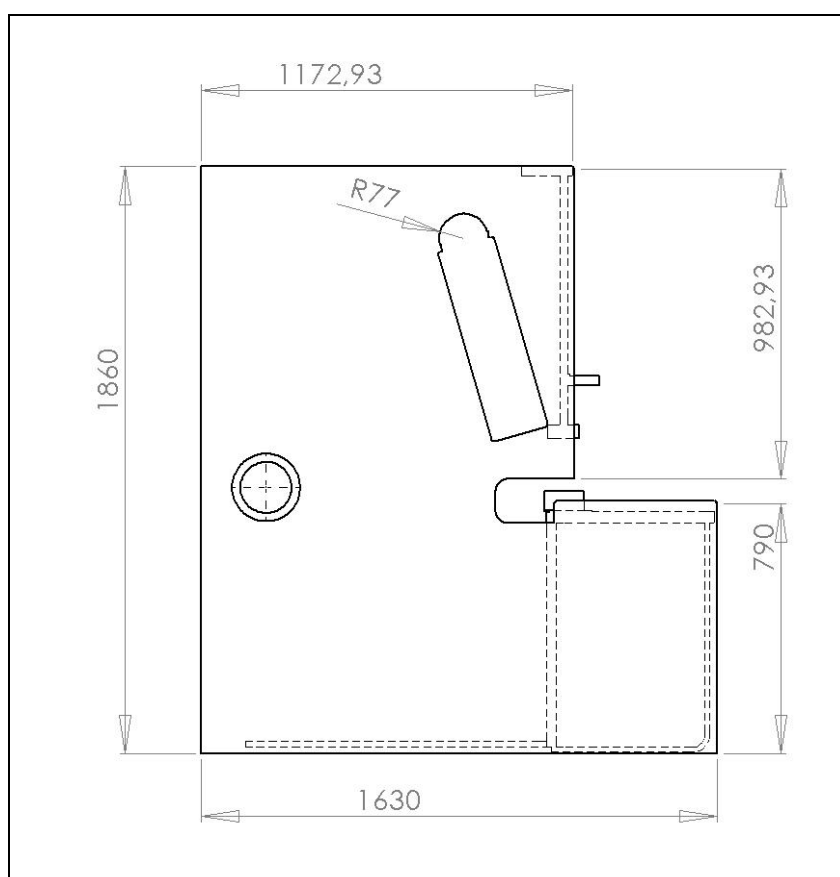
Σχέδιο Π. 2: Διαστασιολόγηση καρμανιόλας (1)



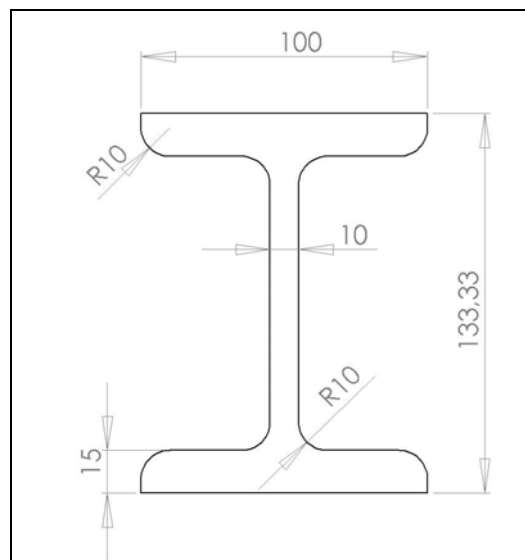
Σχέδιο Π. 3: Διαστασιολόγηση καρμανιόλας (2)



Σχέδιο Π. 4: Διαστασιολόγηση βάσης (1)

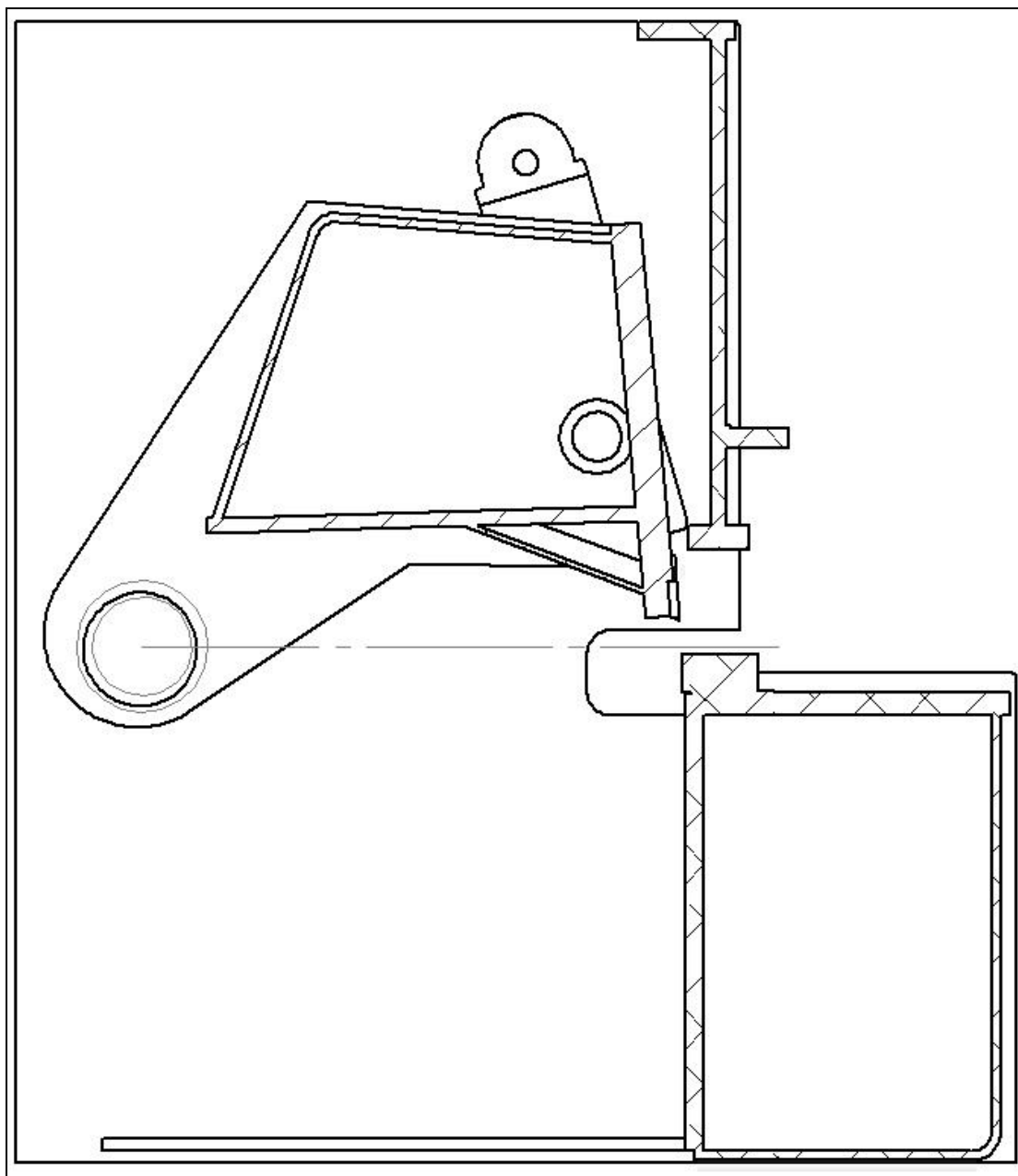


Σχέδιο Π. 5: Διαστασιολόγηση βάσης (2)



Σχέδιο Π. 6: Διαστασιολόγηση δοκού σχήματος 'H'

7.3 Παράρτημα Εικόνων



Εικόνα Π. 3: Πλάγια όψη της εργαλειομηχανής σε τομή.