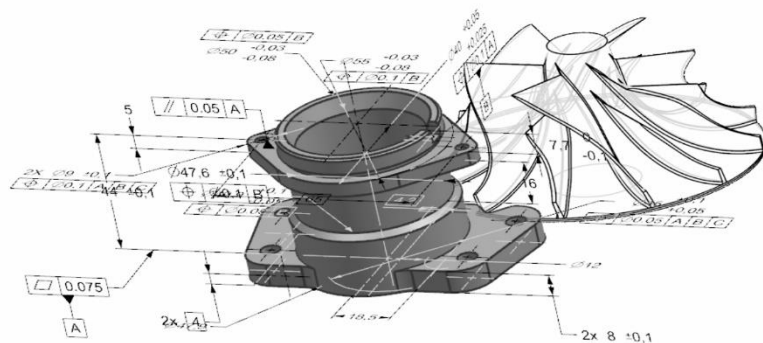


ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΑΝΟΧΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΜΟΡΦΗΣ ΚΑΙ ΘΕΣΗΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ



ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΠΙΛΑΛΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω πρώτα απ' όλα την οικογένεια μου που με στηρίζει όλα αυτά τα χρόνια, τους φίλους μου, τον καθηγητή μου κύριο Αριστομένη Αντωνιάδη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, δίνοντας μου την δυνατότητα να γίνω μέλος της ομάδας του, στο εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης (m3).

Επίσης, θα ήθελα να πω ένα ευχαριστώ σε όλο το προσωπικό του εργαστηρίου και ιδιαίτερα τους Πατεράκη Ιωάννα, Νικολιδάκη Βαγγέλη και Μαρινάκη Άγγελο για τις όμορφες στιγμές και τις βοήθειες που μου προσέφεραν, καθώς επίσης και τον καθηγητή κύριο Ιωάννη Νικολό για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου τη ψηφιοποίηση του εξαρτήματος.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	1
1. Εισαγωγή ανοχών.....	2
1.1 Συναρμογές	4
1.1 Ανοχές μορφής	8
1.2 Ανοχές θέσης.....	10
1.2.1 Ανοχή παραλληλότητας	11
1.2.2 Ανοχή καθετότητας	13
1.2.3 Ανοχή κλίσης	15
1.2.4 Ανοχή τοποθέτησης.....	18
1.2.5 Ανοχή κυκλικότητας και ομοαξονικότητας	19
1.2.6 Ανοχή συμμετρίας.....	20
1.2.7 Ανοχή κυκλικής κίνησης.....	21
1.2.8 Ανοχή κίνησης	23
2 Αντίστροφη μηχανική	25
2.1 Εισαγωγή.....	25
2.2 Τεχνικές συλλογής 3Δ δεδομένων.....	26
2.3 Σάρωση με επαφή	27
2.4 Παρουσίαση μεθόδου τρισδιάστατης αποτύπωσης.....	27
2.5 Λειτουργία ακίδας	29
2.6 Μορφή καμπυλών.....	31
2.7 Εφαρμογή αντίστροφης μηχανικής.....	32
2.7.1 Περιστροφή καμπυλών	34
2.7.2 Επέκταση επιφανειών	36
2.7.3 Δημιουργία φτερών	39
2.7.4 Στεγανοποίηση φτερών με τη βοήθεια extend sheet	41
2.7.5 Σφάλματα κατά τη διάρκεια ψηφιοποίησης.....	41
2.7.6 Μείωση φτερών	42
2.7.7 Τελικό στάδιο	44
3. Εφαρμογή ποιοτικού ελέγχου.....	46
3.1 Επιλογή γεωμετριών που θα μετρηθούν	46
3.2 Διακρίβωση συστήματος αναφοράς	47

3.3	Επιλογή τρόπου συγκράτησης αντικειμένου	48
3.4	Επιλογή ακίδας και γωνιών κεφαλής	49
3.5	Στρατηγική μέτρηση γεωμετριών	51
3.6	Προσανατολισμός του κομματιού	53
4.	Product Manufacturing Information - PMI	62
4.1	Εισαγωγή.....	62
4.2	Περιβάλλον καρτελών PMI	62
4.3	Δημιουργία Μοντέλου	65
4.4	Φτιάχνοντας το PMI	66
4.4.1	Rapid Dimension	67
4.4.2	Διαστάσεις PMI	68
4.4.3	Εισαγωγή σχολίων.....	70
4.4.4	Ανοχές PMI	71
4.5	Αποτέλεσμα PMI	72
5.	Σύνοψη	74
6.	Βιβλιογραφία.....	75

Εισαγωγή

Στη μηχανολογία χρησιμοποιείται ένα πρότυπο αποτύπωσης διαστάσεων, μορφών, θέσεων, ώστε όταν ένας μηχανικός έρθει σε θέση να κατασκευάσει ένα εξάρτημα από κάποιον σχεδιαστή να μπορεί να το διαβάσει και να εκτελέσει τις απαραίτητες ενέργειες. Γι' αυτό τον λόγο, όταν σχεδιάζεται ένα αντικείμενο πρέπει ο σχεδιαστής να έχει τις απαραίτητες γνώσεις ώστε το εξάρτημα του να είναι κατασκευαστικά ορθό. Στη μηχανολογία για να οριστεί μια απόσταση, χρησιμοποιείται η ονομαστική διάσταση η οποία απεικονίζει την τιμή της και η ανοχή που ορίζει το επιτρεπτό διάστημα στο οποίο μπορεί να κυμαίνεται η συγκεκριμένη διάσταση μετά την κατασκευή της. Όλες οι διαστάσεις πρέπει να έχουν ανοχή. Εκτός από την ανοχή μιας διάστασης, υπάρχουν οι ανοχές οι οποίες καθορίζουν την επιτρεπόμενη παραλλαγή για τη μορφή και τη θέση μεταξύ διάφορων χαρακτηριστικών. Αυτοί οι συμβολισμοί και οι κανόνες αναγράφονται στα πρότυπα American Society of Mechanical Engineers (ASME) και του International Organization for Standardization (ISO)

Οι πληροφορίες αυτές τώρα πια με την εξέλιξη των δυνατοτήτων των υπολογιστών, παρέχονται στα σχεδιαστικά προγράμματα από τον σχεδιαστή, για την υλοποίηση ψηφιακών προσομοιώσεων. Το λεγόμενο PMI (Product Manufacturing Information) διευκολύνει την ομαδοποίηση των απαιτήσεων κατασκευής ενός εξαρτήματος απευθείας με το 3D μοντέλο, καθώς και να μεταφέρονται αυτές οι πληροφορίες σε άλλα σχεδιαστικά προγράμματα. Με αυτό το εργαλείο εξοικονομούν χρόνο και οι σχεδιαστές ακόμα και οι κατασκευαστές όπου λαμβάνουν τα σχέδια, γιατί μπορεί να χρειαστούν να υλοποιήσουν διάφορες αλλαγές. Το PMI παρέχει πλήρες σετ εργαλείων τρισδιάστατων σχολιασμών για την καταγραφή πληροφοριών σχετικά με τις διαστάσεις και τις ανοχές. Στο ίδιο περιβάλλον όπου σχεδιάζεται το αντικείμενο μπορούν να τοποθετηθούν αυτές οι πληροφορίες και να τροποποιηθούν – να γίνει η παρουσίαση 2D μοντέλου drafting mode – να προβληθεί σε JT θεατές.

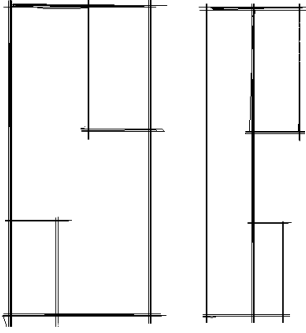
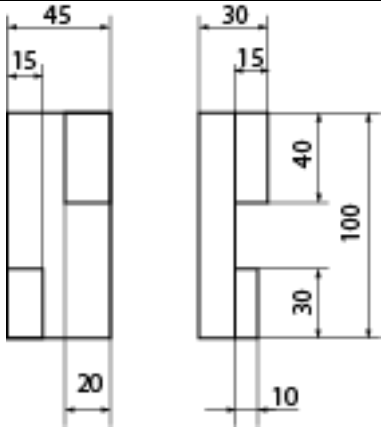
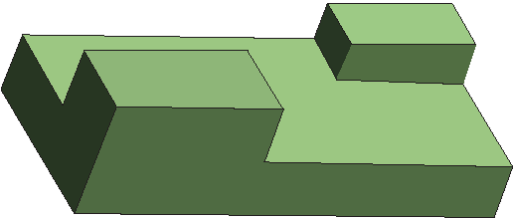
Στην εργασία αυτή έγινε επίσης μια εφαρμογή της θεωρίας ανοχών με τη βοήθεια μιας μηχανής μετρητικών διαστάσεων (CMM). Έγινε ο έλεγχος ποιότητας ενός τεμαχίου, κατασκευασμένο εκτός του εργαστηρίου m3, στο οποίο υπήρχε το μηχανολογικό σχέδιο του εξαρτήματος με τις απαραίτητες πληροφορίες. Έγινε το μοντέλο του αντικειμένου στο πρόγραμμα Siemens NX και έπειτα έγινε η εφαρμογή PMI πάνω σε αυτό. Για την υλοποίηση επιθεώρησης του τεμαχίου ακολουθήθηκαν κάποιες στρατηγικές μέτρησης για το καλύτερο αποτέλεσμα. Στόχος ήταν να καταγραφούν τρόποι συγκράτησης του αντικειμένου, ευθυγράμμιση αντικειμένου, σωστή επιλογή κεφαλής μέτρησης και στρατηγικές για την μέτρηση γεωμετριών.

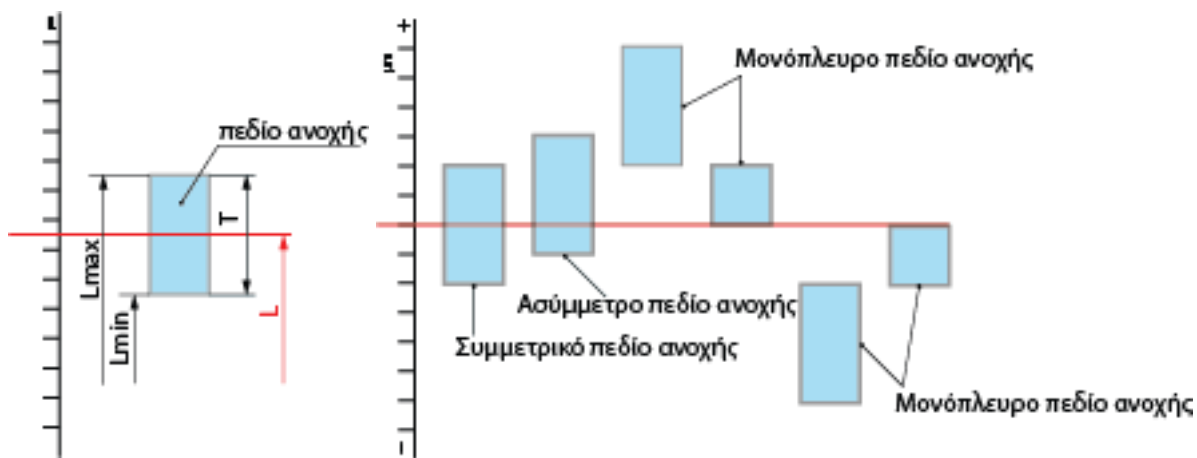
Παράλληλα, έγινε μια αναφορά γύρω από την αντίστροφη μηχανική, με εφαρμογή ψηφιοποίησης μιας πτερωτής από ένα τούρμπο αυτοκινήτου. Το εξάρτημα ήταν διαθέσιμο και με την βοήθεια της ίδιας μηχανής μέτρησης συντεταγμένων (CMM) καταγράφηκαν σημεία πάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου και ενώθηκαν με καμπύλες και δημιουργήθηκαν οι επιφάνειες για την παραγωγή του στερεού μοντέλου του τεμαχίου. Καταγράφηκε ο τρόπος μέτρησης σημείων, εξηγήθηκαν εντολές που εφαρμόστηκαν στο πρόγραμμα Siemens NX για την ένωση των σημείων, καμπυλών, επιφανειών και η σύρραψη τους σε υδατοστεγές μοντέλο, εξηγήθηκαν σφάλματα μετρήσεων και τρόπος αντιστάθμισής τους.

1. Εισαγωγή ανοχών

Τα αντικείμενα τα οποία έχουν δημιουργηθεί από τον άνθρωπο ακολουθούν κάποιους κανόνες κατασκευής οι οποίοι έχουν οριστεί και εφαρμόζονται εδώ και πολλά χρόνια, για τη διευκόλυνση των κατασκευαστών και για να υπάρχει μια ομαλή ανάπτυξη της μηχανολογίας. Η διαδικασία κατασκευής ενός αντικειμένου αρχικά περνάει το στάδιο της ιδέας η οποία έχει φανταστεί ο δημιουργός, έπειτα μετά από την πλήρη κατανόηση της μεταφέρεται πάνω σε κάποιο χαρτί ώστε να έχει μια καθαρή όψη της ιδέας. Από τότε γίνονται οι απαραίτητες διορθώσεις και φτάνει το σχέδιο προς τη διαδικασία κατασκευής του, πρέπει να οριστούν οι διαστάσεις του ώστε να οριστεί ο όγκος του. Πολλά εξαρτήματα εξαρτώνται από άλλα και όλα μαζί κάνουν ή είναι χρήσιμα για μια λειτουργία. Για αυτόν τον λόγο, η σωστή διαστασιολόγηση των αντικειμένων είναι αναγκαία για τη σωστή λειτουργία του αποτελέσματος αλλά και κατά τη διαδικασία κατασκευής.

Αρκετά χρόνια πριν οι κατασκευαστές δημιούργησαν μοντέλα τα οποία τα είχαν καταγράψει και ακολουθούσαν την τεχνική πληροφορία που περιείχαν. Ο όγκος του αντικειμένου για να αποτυπωθεί πάνω σε χαρτί με ευκολία, χωρίζεται σε όψεις οι οποίες έχουν δισδιάστατη μορφή και είναι εύκολες στην κατανόηση τους. Πάνω σε αυτές τις όψεις καταγράφονται οι διαστάσεις του αντικειμένου και οποιαδήποτε άλλη πληροφορία σχετικά με τη διαδικασία κατασκευής του όπως ανοχές. Οι μορφές που μπορεί να πάρει ένα μηχανολογικό σχέδιο είναι οι εξής:

	<p>Σκαρίφημα</p> <p>Είναι η πρώτη απεικόνιση της ιδέας του κατασκευαστή, συνήθως γίνεται με το χέρι σε κάποιο χαρτί με πρόχειρο τρόπο για να διευκολυνθεί στη συνέχεια με τις αναγκαίες αλλαγές που χρειάζεται.</p>
	<p>Κανονικό σχέδιο</p> <p>Στα κανονικά σχέδια είναι απαραίτητη η τήρηση των κανονισμών σχεδιασμού, καθώς είναι λεπτομερή και πλήρη μηχανολογικά σχέδια εξαρτημάτων ή ένα σύνθετο συναρμολογημένο προϊόν που αποτελείται από διάφορα εξαρτήματα. Η δημιουργία τους τώρα πια γίνεται με τη χρήση Η/Υ με τη βοήθεια σχεδιαστικών προγραμμάτων.</p>
	<p>Τρισδιάστατο σχέδιο</p> <p>Με τη χρήση Η/Υ μπορεί πλέον να δημιουργηθούν τρισδιάστατα αντικείμενα με ορισμένες διαστάσεις, να ενωθούν μεταξύ τους και να αποτελέσουν ένα σύνολο συναρμολογημένων διατάξεων.</p>

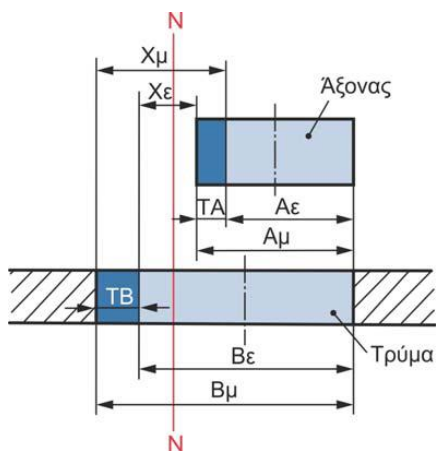


Σχήμα 1.3: Παραδείγματα πεδίων ανοχών

1.1 Συναρμογές

Πολλά αντικείμενα αποτελούνται από άλλα επιμέρους εξαρτήματα. Η σωστή ένωση αυτών απαιτεί την απαραίτητη διαστασιολόγηση τους και τη σωστή τοποθέτηση ανοχών από τον σχεδιαστή μηχανικό ώστε ο μηχανικός που θα κατασκευάσει το εξάρτημα να γνωρίζει τα όρια των διαστάσεων. Η ένωση που αποτελείται από δυο αντικείμενα που θηλυκώνουν μεταξύ τους ονομάζεται συναρμογή, το ένα εξάρτημα χαρακτηρίζεται αρσενικό (στα κυλινδρικά εξαρτήματα ονομάζεται άξονας) και το άλλο θηλυκό (για κυλινδρικά εξαρτήματα ονομάζεται τρύμα).

Βασική ονοματολογία ανάμεσα σε άξονα και τρύμα



N: ονομαστική διάσταση (mm)

A_μ και A_ε: είναι οι οριακές διαστάσεις που αντιπροσωπεύουν τη μέγιστη και ελάχιστη διάσταση του άξονα οπότε και η τελική του τιμή μετά την κατασκευή πρέπει να είναι ενδιάμεσα αυτών των τιμών.

B_μ και B_ε: είναι οι οριακές διαστάσεις που αντιπροσωπεύουν τη μέγιστη και ελάχιστη διάσταση του τρύματος οπότε και η τελική του τιμή μετά την κατασκευή πρέπει να είναι ενδιάμεσα αυτών των τιμών.

Χάρη: Είναι η διαφορά στις διαστάσεις εξαρτημάτων που πρόκειται να συναρμολογηθούν. Στο παράδειγμα άξονας-τρύμα, χάρη είναι η διαφορά της πραγματικής διάστασης του άξονα από την πραγματική διάσταση του τρύματος, όταν η διάσταση του τρύματος είναι μεγαλύτερη από του άξονα.

X_μ: είναι η μέγιστη χάρη συναρμογής, ορίζεται με τη διαφορά της ελάχιστης οριακής διάστασης του άξονα από τη μέγιστη οριακή τιμή του τρύματος $X_{\mu} = B_{\mu} - A_{\epsilon}$

X_ε: είναι η ελάχιστη χάρη συναρμογής, ορίζεται με τη διαφορά της μέγιστης οριακής διάστασης του άξονα από την ελάχιστη οριακή τιμή του τρύματος $X_{\epsilon} = B_{\epsilon} - A_{\mu}$

XM: είναι η μέση χάρη, η τιμή της ορίζεται όταν οι πραγματικές διαστάσεις του άξονα-τρύματος είναι στη μέση του πεδίου ανοχής $XM = \frac{X_{\varepsilon} + X_{\mu}}{2}$

Σύσφιξη: Ορίζεται με τη διαφορά της πραγματικής διάστασης του άξονα και της πραγματικής τιμής του τρύματος, όταν η διάσταση του τρύματος είναι μικρότερη από του άξονα.

Μέγιστη σύσφιξη Σ_{μ} : Είναι η διαφορά ανάμεσα στη μέγιστη διάσταση του άξονα και την ελάχιστη διάσταση του τρύματος $\Sigma_{\mu} = A_{\mu} - B_{\varepsilon}$

Ελάχιστη σύσφιξη Σ_{ε} : Είναι η διαφορά ανάμεσα στην ελάχιστη διάσταση του άξονα και τη μέγιστη διάσταση του τρύματος $\Sigma_{\varepsilon} = A_{\varepsilon} - B_{\mu}$

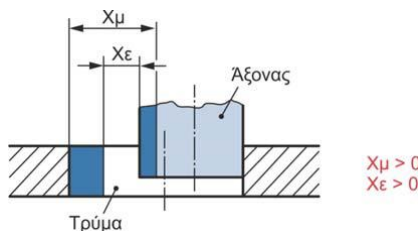
Μέση σύσφιξη: Μέση τιμή ελάχιστης και μέγιστης σύσφιξης $\Sigma M = \frac{\Sigma_{\mu} + \Sigma_{\varepsilon}}{2}$

TA: Είναι η ανοχή άξονα, ορίζεται από το μέγιστο δυνατό σφάλμα μετά την κατασκευή του αντικειμένου ως προς τον άξονα $TA = A_{\mu} - A_{\varepsilon}$

TB: Ανοχή τρύματος, είναι το μέγιστο δυνατό σφάλμα μετά την κατασκευή του αντικειμένου ως προς τον άξονα. $TB = B_{\mu} - B_{\varepsilon}$

Σχήμα 1.4: Βασική ονοματολογία συναρμογών (Αντωνιάδης, 2015)

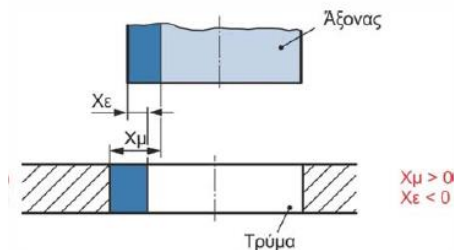
Παράδειγμα συναρμογών ανάμεσα σε άξονα και τρύμα



Ο άξονας μπορεί να περιστρέφεται και να κινείται ελεύθερα μέσα στο τρύμα Σχήμα 1.5. Στην ελεύθερη συναρμογή η χάρη πρέπει να είναι μεγαλύτερη το μηδενός.

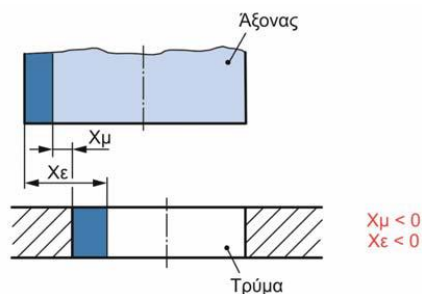
Σχήμα 1.5: Ελεύθερη συναρμογή (Αντωνιάδης, 2015)

Όταν η ελάχιστη χάρη (X_{ε}) είναι ίση με το 0 ή αρκετά μικρή και η μέση χάρη X_M είναι θετική, τότε υπάρχει συναρμογή ολίσθησης, όπου ο άξονας ολισθαίνει ανάμεσα στο τρύμα και δεν μπορεί να περιστρέφεται.



Στην περίπτωση της αμφίβολης σύσφιξης, όταν το σώματα έχουν θετική μέση χάρη (X_M) τότε κινούνται ελεύθερα και υπάρχει ελεύθερη συναρμογή, στην περίπτωση της αρνητικής τιμής τότε είναι σφικτά και παρουσιάζεται σφικτή συναρμογή Σχήμα 1.6.

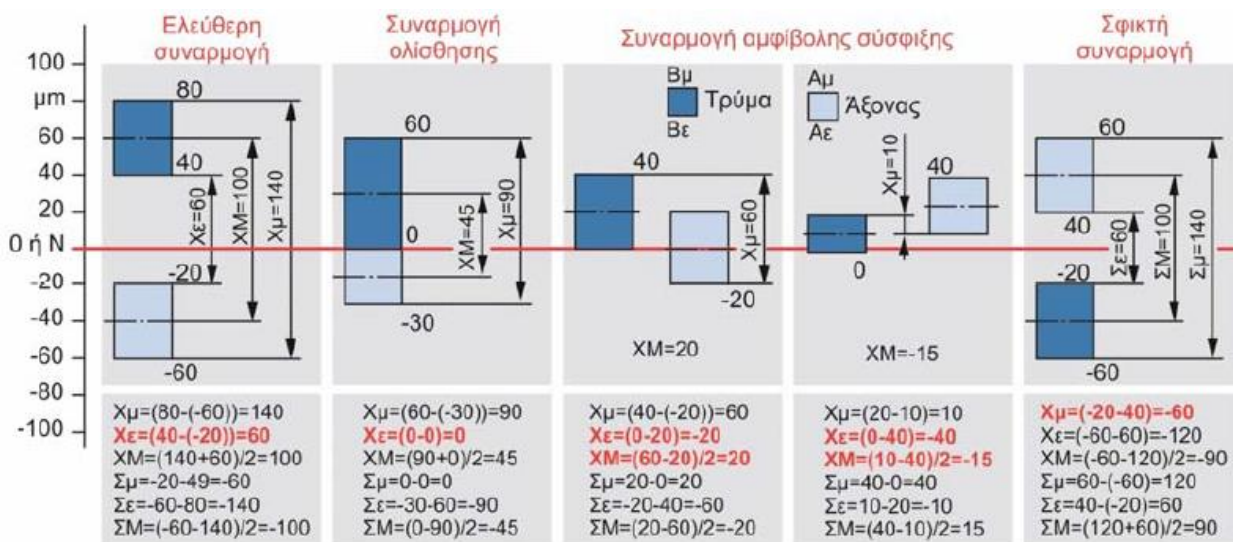
Σχήμα 1.6: Συναρμογή αμφίβολης σύσφιξης (Αντωνιάδης, 2015)



Ο άξονας με το τρύμα είναι σφιγμένα μεταξύ τους Σχήματος 1.7, η μέγιστη χάρη (X_{μ}) είναι αρνητική και ελάχιστη σύσφιξη (Σ_{ϵ}) θετική

Σχήμα 1.7: Σφικτή συναρμογή (Αντωνιάδης, 2015)

Στο Σχήμα 1.8 παρουσιάζονται παραδείγματα για τις 4 συναρμογές μαζί με τις τιμές τους

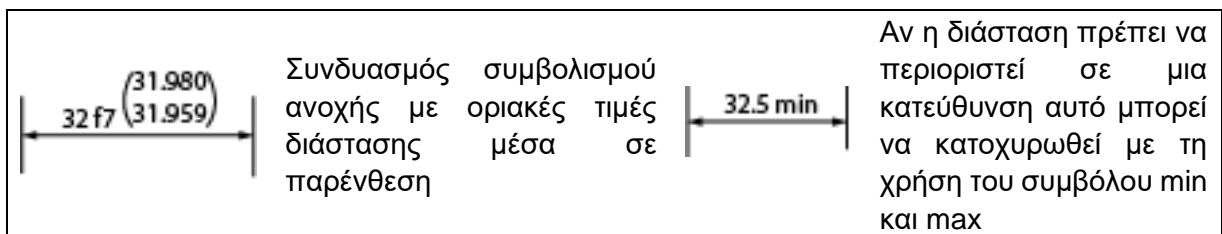


Σχήμα 1.8: Παραδείγματα συναρμογών (Αντωνιάδης, 2015)

Ανοχές διαστάσεων σε μηχανολογικό σχέδιο

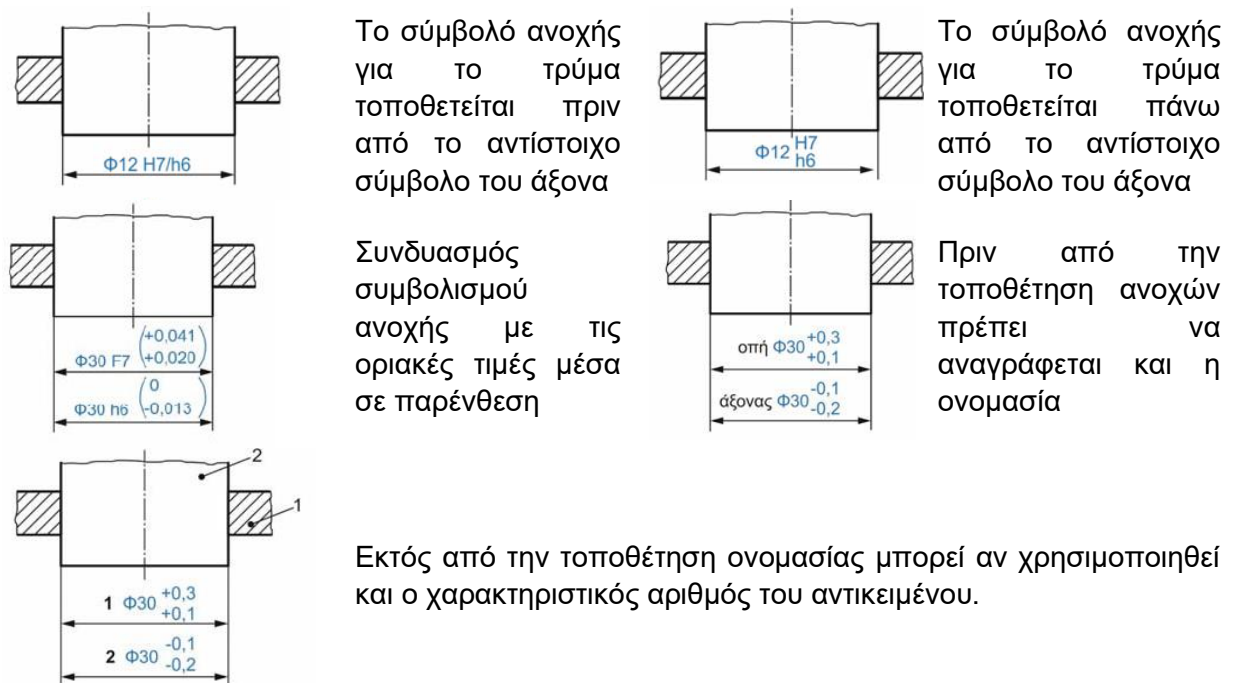
Στα επόμενα παραδείγματα Σχήμα 1.9 παρουσιάζονται οι βασικοί κανόνες τοποθέτησης ανοχών διαστάσεων στα μηχανολογικά σχέδια.

	Βασική διάσταση και δίπλα ο συμβολισμός ανοχής		Στην περίπτωση μηδενικού ορίου, τοποθετείται η τιμή 0 στην αντίστοιχη θέση. Περίπτωση συμμετρικής ανοχής γύρω από τη βασική διάσταση, συμβολίζεται με ± και έπειτα η τιμή του ορίου. Αντί βασικής διάστασης μπορεί να τοποθετηθεί το πάνω και κάτω όριο της διάστασης.
	Βασική διάσταση και δίπλα οι οριακές τιμές της ανοχής		
	Συνδυασμός συμβολισμού ανοχής και οριακών τιμών μέσα σε παρένθεση		

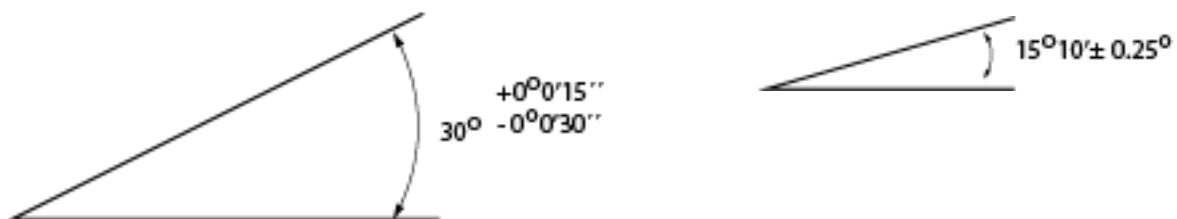


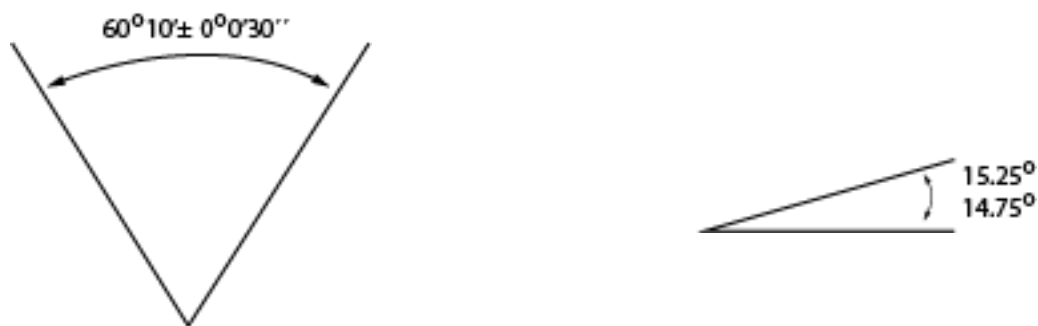
Σχήμα 1.9: Τοποθέτηση γεωμετρικών διαστάσεων και ανοχών σε μηχανολογικό σχέδιο

Επόμενη κατηγορία του Σχήματος 1.10 είναι η τοποθέτηση ανοχών σε συναρμολογημένα εξαρτήματα:



Σχήμα 1.10: Τοποθέτηση ανοχών σε μηχανολογικά σχέδια με οριακές τιμές





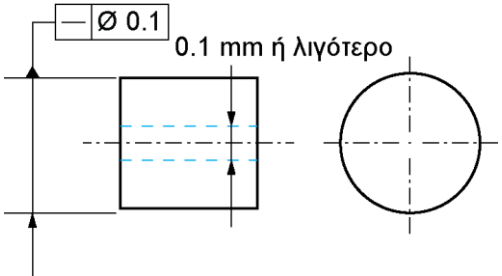
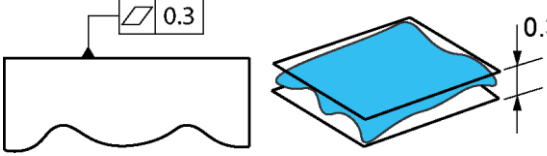
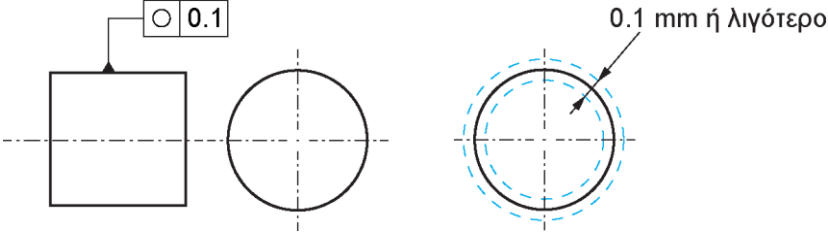
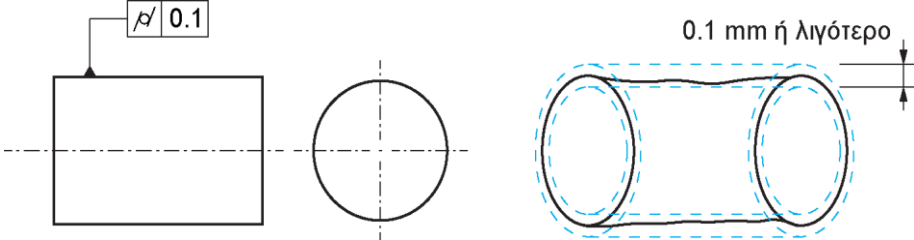
Σχήμα 1.11: Εφαρμογή κανόνα τοποθέτησης ανοχών σε γωνίες


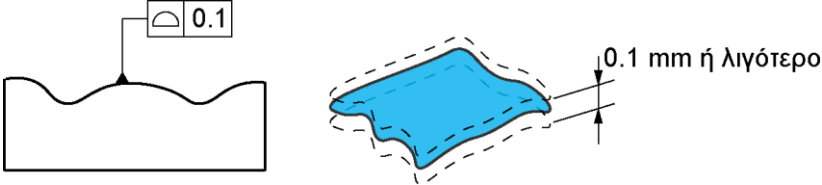
1.1 Ανοχές μορφής

Μελετήθηκε ότι μια διάσταση έχει κάποιες αποκλίσεις από την πραγματική τιμή της, έτσι λοιπών χρησιμοποιείται και ο όρος ανοχές μορφής, ο οποίος καθορίζει την ακρίβεια κατασκευής μιας συγκεκριμένης γεωμετρικής μορφής, ορίζοντας οριακή τιμή ελέγχου σύμφωνα με την οποία το εξάρτημα το οποίο περιλαμβάνει αυτή τη γεωμετρική μορφή γίνεται αποδεκτό ή όχι. Συνεπώς καθορίζουν τις επιτρεπόμενες αποκλίσεις μιας επιφάνειας από την τέλεια πραγματική της. Στο Σχήμα 1.12 παρουσιάζονται τα διαφορετικά είδη ανοχών μορφής με τον τρόπο που συμβολίζονται.

Ανοχή μορφής	Συμβολισμός	Περιγραφή
Ευθυγραμμότητα	—	Μια επιφάνεια είναι ευθεία όταν όλα τα στοιχεία της είναι ευθείες γραμμές, όχι επίπεδα, και αντιπροσωπεύουν μια καμπύλη στην κεντρική γραμμή ή γενέτειρα μιας επιφάνειας
Επιπεδότητα	▭	Μια επιφάνεια είναι επίπεδη όταν όλα τα στοιχεία της είναι στο ίδιο επίπεδο. Η επιπεδότητα ορίζεται την ανοχή ανάμεσα σε δυο παράλληλες επιφάνειες
Κυκλικότητα	○	Η ανοχή κυκλικότητας καθορίζει πόσο τέλεια είναι μια κυκλικά γραμμή, κυκλική διατομή ενός άξονα ή κύκλος ενός τόξου
Κυλινδρικότητα	∅	Η κυλινδρικότητα καθορίζει πόσο ευθύς και κυκλικός είναι ένα κύλινδρος. Η τιμή αντιπροσωπεύει οποιαδήποτε παραμόρφωση στον κύλινδρο
Μορφή γραμμής	⤿	Ορίζεται πόσο σωστά είναι κατασκευασμένη η γραμμή σε μια επιφάνεια με την αντίστοιχη καθορισμένη γεωμετρικά ιδανική γραμμή
Μορφή επιφάνειας	⤿	Ορίζεται πόσο σωστά είναι κατασκευασμένη μια επιφάνεια με την αντίστοιχη καθορισμένη γεωμετρικά ιδανική επιφάνεια

Σχήμα 1.12: Είδη ανοχών μορφής

Ευθυγραμμότητα	<p>Ορίζεται στην απόσταση δύο παράλληλων επιπέδων ανάμεσα στα οποία πρέπει να υπάρχουν όλα τα σημεία μιας γραμμής. Χρησιμοποιείται όταν δίνεται η ανοχή σε μια κατεύθυνση</p> <p>Ορίζεται στη διατομή ενός ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου μέσα στο οποίο πρέπει να υπάρχουν όλα τα σημεία μιας γραμμής. Σε αυτή την περίπτωση χρειάζεται όταν δίνεται η ανοχή σε δυο κατευθύνσεις</p> <p>Ορίζεται στη διάμετρο ενός κυλίνδρου μέσα στον οποίο πρέπει να βρίσκονται όλα τα σημεία μιας γραμμής. Η τιμή της ανοχής αναγράφεται μαζί με το χαρακτηριστικό γράμμα Φ που υποδηλώνει τη διάμετρο του κύκλου</p> 
Επιπεδότητα	<p>Η επιπεδότητα αναφέρεται στην απόσταση ανάμεσα από δυο επίπεδα παράλληλα μεταξύ τους όπου ενδιάμεσα να βρίσκονται όλα τα σημεία της επιφάνειας.</p> 
Κυκλικότητα	<p>Είναι η απόσταση ανάμεσα από δυο κυκλικές επιφάνειες, ίδιας επιφάνειας και κέντρου όπου τα σημεία πρέπει να βρίσκονται ενδιάμεσα τους πάνω σε μια γραμμή.</p> 
Κυλινδρικότητα	<p>Είναι η απόσταση δυο ομοαξονικών κυλίνδρων όπου τα σημεία πρέπει να βρίσκονται στην εξωτερική επιφάνεια ενός κυλίνδρου</p> 

Μορφή γραμμής	<p>Μορφή γραμμής δείχνει εάν η καμπυλότητα ενός σχεδιασμένου αντικειμένου έχει κατασκευαστεί σωστά. Η ιδανικά γεωμετρική γραμμή περιγράφεται με τη χρήση των θεωρητικών διαστάσεων</p> 
Μορφή επιφάνειας	<p>Είναι η απόσταση δυο επιφανειών όπου ενδιάμεσα πρέπει να βρίσκονται όλα τα σημεία μιας επιφάνειας. Η ιδανικά γεωμετρική επιφάνεια περιγράφεται με τη χρήση των θεωρητικών διαστάσεων</p> 

Σχήμα 1.13: Ορισμοί ανοχών μορφής

1.2 Ανοχές θέσης

Η ανοχή θέσης καθορίζει την πραγματική θέση της κατασκευής σε σχέση με μια αναφερόμενη. Αφορά πάντα δυο γεωμετρικά στοιχεία όπως, γραμμές, άξονες συμμετρίας ή επιφάνειες. Τα γεωμετρικά αυτά χαρακτηριστικά δεν πρέπει να αποκλίνουν από την ιδανικά γεωμετρική τους θέση, έτσι το ένα από τα δυο είναι το σημείο αναφοράς και ως προς αυτό σχετίζεται η ανοχή θέσης. Στο Σχήμα 1.14 παρουσιάζονται τα είδη των ανοχών θέσης με το σύμβολο που τα χαρακτηρίζει και τη γενική τους περιγραφή.

Ανοχή μορφής	Συμβολισμός	Περιγραφή
Παραλληλότητα	//	Καθορίζει πόσο παράλληλη είναι μια γραμμή, ένας άξονας, γενέτειρα μιας επιφάνειας ή μια επιφάνεια ως προς μια γραμμή ή μια επιφάνεια αναφοράς
Καθετότητα	⊥	Καθορίζει πόσο κάθετη είναι μια γραμμή, ένας άξονας, γενέτειρα μιας επιφάνειας ή μια επιφάνεια ως προς μια γραμμή ή μια επιφάνεια αναφοράς
Κλίση	∠	Καθορίζει την κλίση που έχει μια γραμμή, ένας άξονας, γενέτειρα μιας επιφάνειας ή μια επιφάνεια ως προς μια γραμμή ή μια επιφάνεια αναφοράς
Τοποθέτηση	⊕	Καθορίζει την ακρίβεια της θέσης μιας γραμμής, ενός άξονα ή επίπεδη επιφάνεια ως προς μια γραμμή ή μια επιφάνεια αναφοράς
Ομοκεντρικότητα και Ομοαξονικότητα	⊙	Καθορίζει την ακρίβεια της ομοκεντρίας δυο κυλίνδρων και την ομοαξονικότητα τους ως σημείο αναφοράς ένα σημείο ή έναν άξονα αναφοράς αντίστοιχα

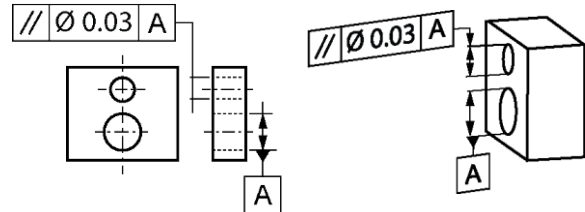
Συμμετρία	\equiv	Καθορίζει τη συμμετρικότητα ενός άξονα ή ενός επιπέδου συμμετρίας ως προς ένα άλλο επίπεδο αναφοράς
Κυκλική κίνηση	\uparrow	Καθορίζει την επιτρεπτή τιμή μιας περιστρεφόμενης επιφάνειας ως προς έναν άξονα αναφοράς
Γενική κίνηση	\nearrow	Καθορίζει την επιτρεπτή τιμή μιας περιστρεφόμενης επιφάνειας ως προς έναν άξονα αναφοράς

Σχήμα 1.14: Είδη ανοχών θέσης

1.2.1 Ανοχή παραλληλότητας

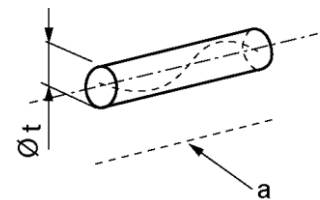
Ανοχή παραλληλότητας μιας γραμμής ως προς μια γραμμή αναφοράς

Ο άξονας του κύκλου πρέπει να βρίσκεται εντός της κυλινδρικής ζώνης διαμέτρου 0.03mm, παράλληλη προς τον άξονα A. Σχήμα 1.15



Σχήμα 1.15: Παράδειγμα ανοχή παραλληλότητας μιας γραμμής ως προς μια γραμμή αναφοράς

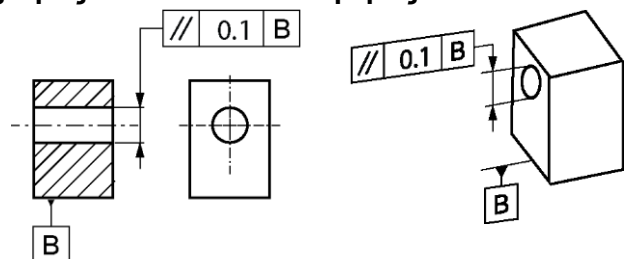
Η ζώνη ανοχής είναι περιορισμένη από τον κύλινδρο με διάμετρο t , παράλληλη στον άξονα αναφοράς a . Σχήμα 1.16



Σχήμα 1.16: Ζώνη ανοχής

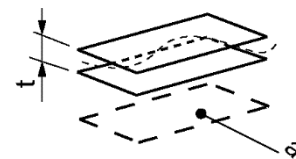
Ανοχή παραλληλότητας μιας γραμμής ως προς ένα επίπεδο αναφοράς

Ο άξονας του κύκλου πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα στα δυο επίπεδα με μεταξύ τους απόσταση να μην υπερβαίνει το 0,1mm, όπου είναι παράλληλα με το επίπεδο B. Σχήμα 1.17



Σχήμα 1.17: Παράδειγμα ανοχή παραλληλότητας μιας γραμμής ως προς ένα επίπεδο αναφοράς

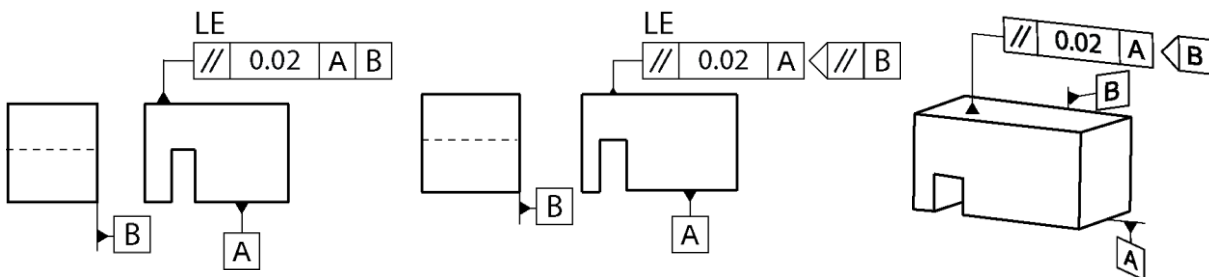
Η ζώνη ανοχής είναι ανάμεσα στα δυο επίπεδα με τιμή t και παράλληλα στο επίπεδο αναφοράς a . Σχήμα 1.18



Σχήμα 1.18: Ζώνη ανοχής

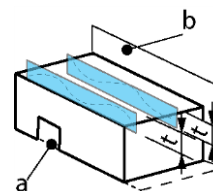
Ανοχή παραλληλότητας επιφάνειας ως προς επίπεδο αναφοράς

Κάθε γραμμή της επιφάνειας πρέπει να είναι παράλληλη προς το επίπεδο B και πρέπει να περιέχονται όλα τα σημεία μεταξύ δυο παράλληλων γραμμών με τιμή 0.02, οι οποίες είναι παράλληλες με το επίπεδο αναφοράς A. Σχήμα 1.19



Σχήμα 1.19: Παράδειγμα ανοχή παραλληλότητας επιφάνειας ως προς επίπεδο αναφοράς

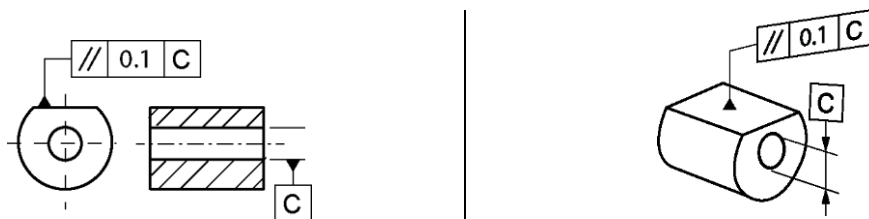
Η ζώνη ανοχής είναι ανάμεσα στις δυο παράλληλες γραμμές με απόσταση t μεταξύ τους και προσανατολίζονται παράλληλα με το επίπεδο αναφοράς A, με τις γραμμές που βρίσκονται σε επίπεδο παράλληλο προς το επίπεδο αναφοράς B. Σχήμα 1.20



Σχήμα 1.20: Ζώνη ανοχής

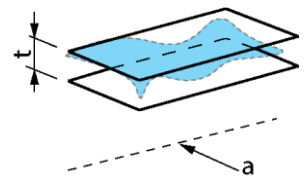
Ανοχή παραλληλότητας επιφάνειας ως προς γραμμή αναφοράς

Η επιφάνεια πρέπει να βρίσκεται μεταξύ δυο παράλληλων επιπέδων με απόσταση 0.01mm, τα οποία είναι παράλληλα με τον άξονα αναφοράς C. Σχήμα 1.21



Σχήμα 1.21: Παράδειγμα ανοχή παραλληλότητας επιφάνειας ως προς γραμμή αναφοράς

Η ζώνη ανοχής είναι περιορισμένη σε δυο παράλληλα επίπεδα με απόσταση t μεταξύ τους και παράλληλα στη γραμμή αναφοράς a . Σχήμα 1.22

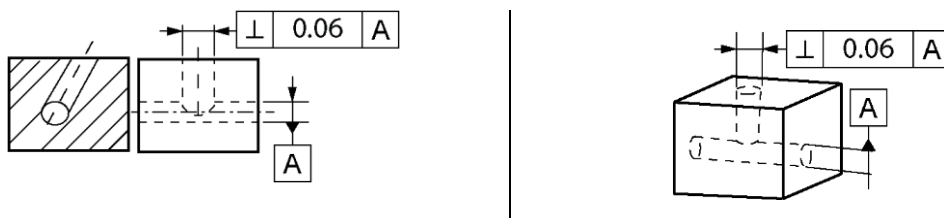


Σχήμα 1.22: Ζώνη ανοχής

1.2.2 Ανοχή καθετότητας

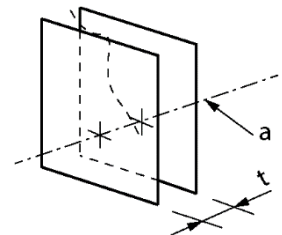
Ανοχή καθετότητας μιας γραμμής ως προς μια γραμμή αναφοράς

Ο άξονας της κυλινδρικής διατομής πρέπει να είναι μεταξύ δυο παράλληλων επιπέδων με απόσταση 0.06mm μεταξύ τους, τα οποία είναι κάθετα στον άξονα αναφοράς A . Σχήμα 1.23



Σχήμα 1.23: Παράδειγμα ανοχή καθετότητας μιας γραμμής ως προς μια γραμμή αναφοράς

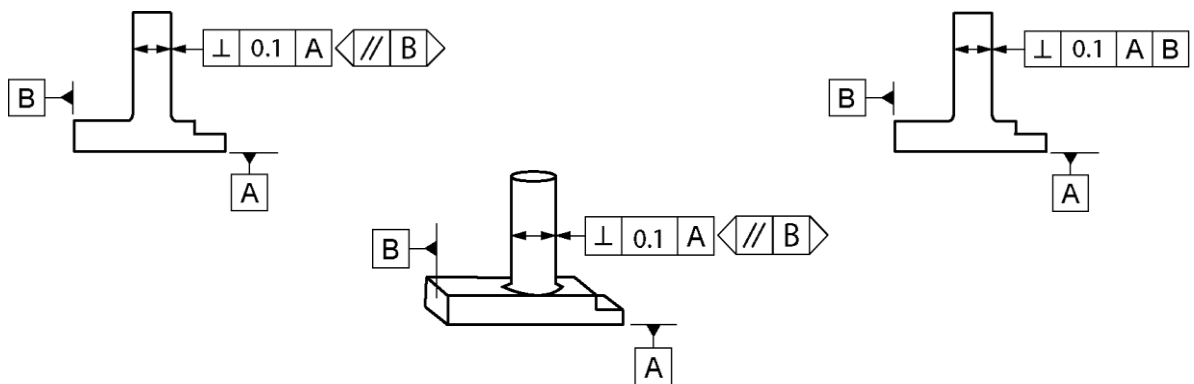
Η ζώνη ανοχής είναι περιορισμένη σε δυο παράλληλα επίπεδα με απόσταση t και κάθετα στο επίπεδο αναφοράς a . Σχήμα 1.24



Σχήμα 1.24: Ζώνη ανοχής

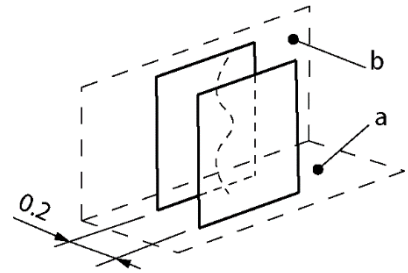
Ανοχή καθετότητας γραμμής ως προς ένα σύστημα αναφοράς

Ο άξονας μια κυλινδρικής διατομής πρέπει να είναι μεταξύ δυο παράλληλων επιπέδων με απόσταση 0.1mm, τα οποία είναι κάθετα στο επίπεδο αναφοράς A και στον προσανατολισμό που καθορίζεται σε σχέση με το επίπεδο αναφοράς B . Σχήμα 1.25



Σχήμα 1.25: Παράδειγμα ανοχή καθετότητας γραμμής ως προς ένα σύστημα αναφοράς

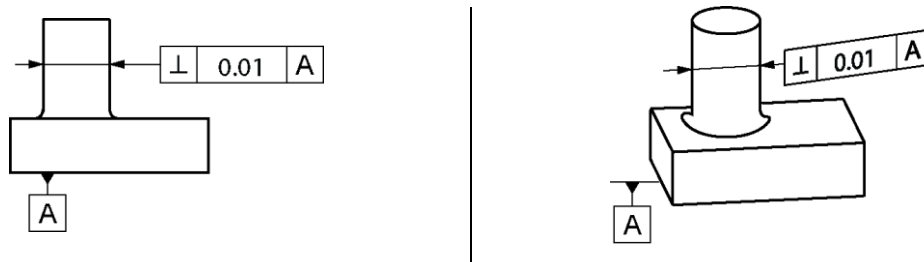
Η ζώνη ανοχής είναι περιορισμένη σε δυο παράλληλα επίπεδα με απόσταση t μεταξύ τους. Τα επίπεδα είναι κάθετα στο επίπεδο αναφοράς a και παράλληλα στο επίπεδο b . Σχήμα 1.26



Σχήμα 1.26: Ζώνη ανοχής

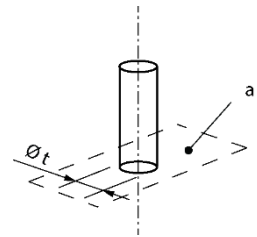
Ανοχή καθετότητας μιας γραμμής ως προς ένα επίπεδο αναφοράς

Ο άξονας της κυλινδρικής διατομής πρέπει να βρίσκεται ενδιάμεσα μια κυλινδρικής ζώνης με διάμετρο 0.01mm, κάθετος στο επίπεδο A. Σχήμα 1.27



Σχήμα 1.27: Παράδειγμα ανοχή καθετότητας μιας γραμμής ως προς ένα επίπεδο αναφοράς

ζώνη ανοχής είναι περιορισμένη σε έναν κύλινδρο με διάμετρο t κάθετο στο επίπεδο αναφοράς a αν προηγείται η τιμή της ανοχής από το σύμβολο ϕ . Σχήμα 1.28



Σχήμα 1.28: Ζώνη ανοχής

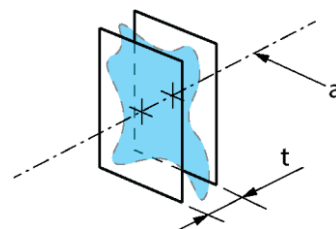
Ανοχή καθετότητας μιας επιφάνειας ως προς μια γραμμή αναφοράς

Η επιφάνεια πρέπει να περιέχεται ενδιάμεσα δυο παράλληλων επιπέδων με απόσταση 0.08mm μεταξύ τους τα οποία είναι κάθετα στον άξονα αναφοράς A. Σχήμα 1.29



Σχήμα 1.29: Παράδειγμα Ανοχή καθετότητας μιας επιφάνειας ως προς μια γραμμή αναφοράς

ανοχή ζώνης είναι περιορισμένη ανάμεσα σε δυο επίπεδα με απόσταση t κάθετη στη γραμμή αναφοράς a . Σχήμα 1.30

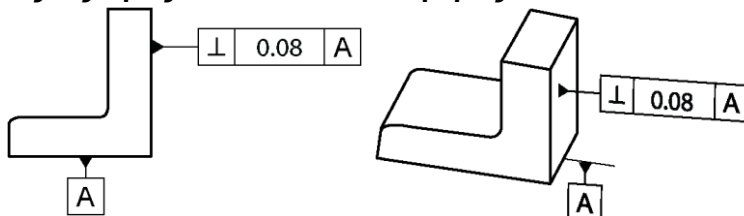


Σχήμα 1.30: Ζώνη ανοχής

Ανοχή καθετότητας μιας επιφάνειας ως προς ένα επίπεδο αναφοράς

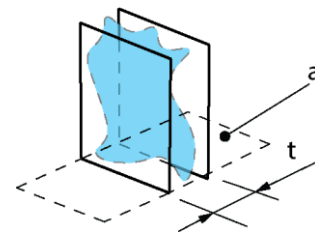
Η επιφάνεια πρέπει να βρίσκεται ενδιάμεσα δυο παράλληλων επιπέδων με μεταξύ τους απόσταση 0.08mm, τα οποία είναι κάθετα στο επίπεδο αναφοράς A.

Σχήμα 1.31



Σχήμα 1.31: Παράδειγμα ανοχή καθετότητας μιας επιφάνειας ως προς ένα επίπεδο αναφοράς

Η ζώνη ανοχής είναι περιορισμένη ανάμεσα σε δυο παράλληλα επίπεδα με απόσταση t και κάθετα στο επίπεδο αναφοράς a . Σχήμα 1.32

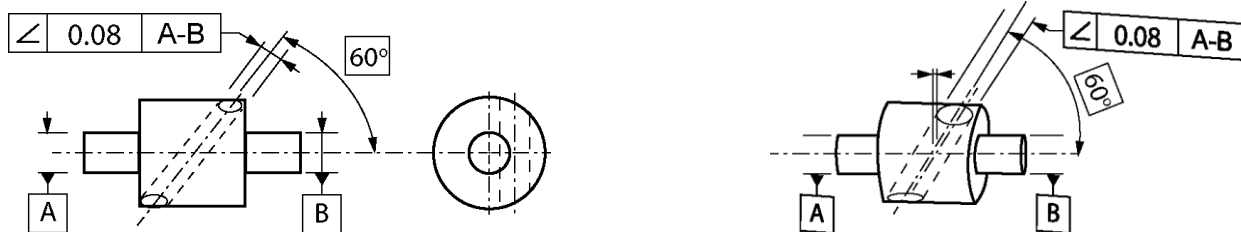


Σχήμα 1.32: Ζώνη ανοχής

1.2.3 Ανοχή κλίσης

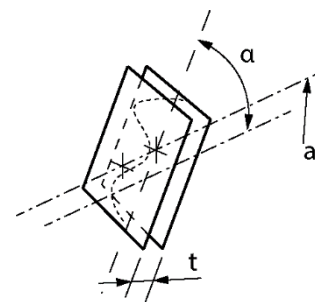
Ανοχή κλίσης μιας γραμμής ως προς ένα σύστημα αναφοράς

Ο άξονας του κύκλου πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα σε δυο παράλληλα επίπεδα με απόσταση 0.08mm μεταξύ τους, τα οποία είναι κεκλιμένα με τιμή γωνίας 60° ως προς την ευθεία γραμμή A-B. Σχήμα 1.32



Σχήμα 1.32: Παράδειγμα ανοχή κλίσης μιας γραμμής ως προς ένα σύστημα αναφοράς

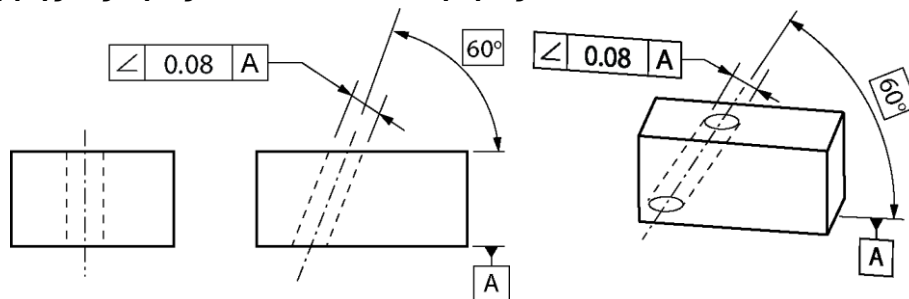
ζώνη ανοχής είναι περιορισμένη ανάμεσα σε δυο παράλληλα επίπεδα a σε απόσταση t και κεκλιμένα σε συγκεκριμένη γωνία α ως προς τη γραμμή αναφοράς. Σχήμα 1.33



Σχήμα 1.33: Ζώνη ανοχής

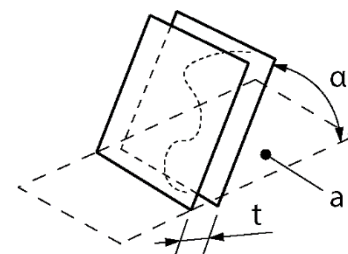
Ανοχή κλίσης μιας γραμμής ως προς ένα επίπεδο αναφοράς

Ο άξονας της κυκλικής διατομής πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα σε δυο επίπεδα με απόσταση 0.08mm μεταξύ τους τα οποία είναι κεκλιμένα με τιμή γωνίας 60° ως προς το επίπεδο αναφοράς A. Σχήμα 1.34.



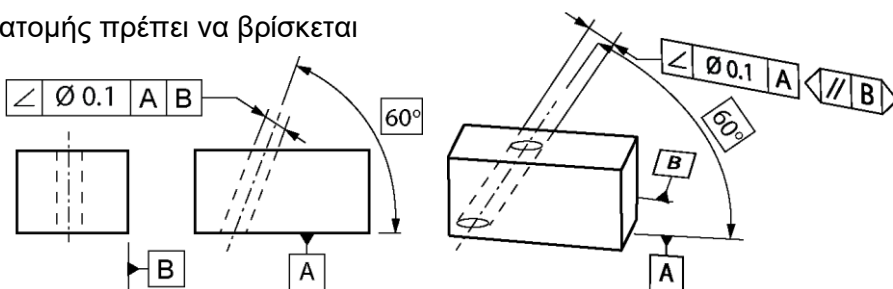
Σχήμα 1.34: Παράδειγμα ανοχή κλίσης μιας γραμμής ως προς ένα επίπεδο αναφοράς

Η ζώνη ανοχής είναι περιορισμένη ανάμεσα σε δυο επίπεδα με απόσταση t και σε κλίση με γωνία α ως προς το επίπεδο αναφοράς a . Σχήμα 1.35



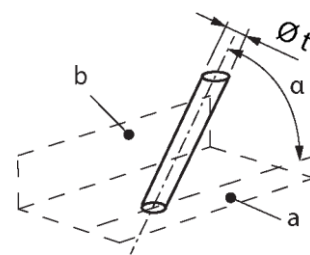
Σχήμα 1.35: Ζώνη ανοχής

Ο άξονας της κυκλικής διατομής πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα μια κυλινδρική περιφέρεια με διάμετρο 0.1mm που είναι παράλληλος στο επίπεδο αναφοράς B και κεκλιμένος με τιμή γωνίας 60° ως προς το επίπεδο αναφοράς A. Σχήμα 1.36



Σχήμα 1.36: Παράδειγμα ανοχή κλίσης μιας γραμμής ως προς δυο επίπεδα αναφοράς

Η ζώνη ανοχής είναι περιορισμένη σε μια κυλινδρική επιφάνεια με διάμετρο t (αν η ανοχή τιμής συνοδεύεται από το σύμβολο ϕ). Η κυλινδρική ζώνη ανοχής είναι παράλληλη στο επίπεδο αναφοράς b και υπό γωνία με συγκεκριμένη τιμή α ως προς το επίπεδο αναφοράς a . Σχήμα 1.17

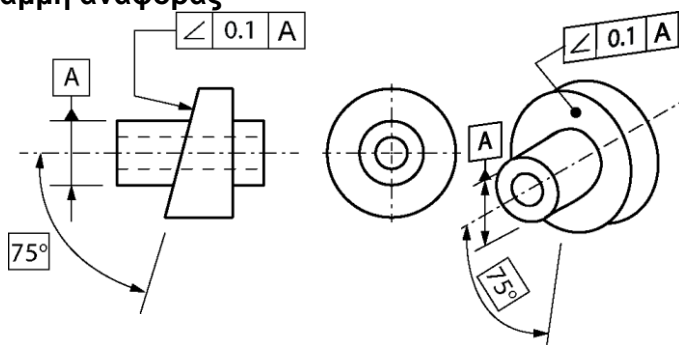


Σχήμα 1.37: Ζώνη ανοχής

Ανοχή κλίσης επιφάνειας ως προς γραμμή αναφοράς

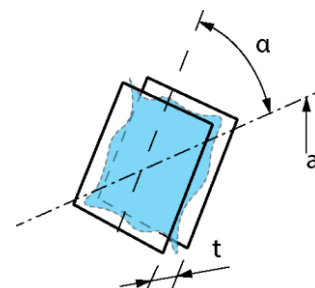
Ο άξονας κυκλικής διατομής πρέπει να είναι ανάμεσα στο δυο παράλληλα επίπεδα με απόσταση 0.1mm μεταξύ τους ο οποίος είναι υπό γωνία με τιμή 70° ως προς τη γραμμή αναφοράς A .

Σχήμα 1.38



Σχήμα 1.38: παράδειγμα ανοχή κλίσης επιφάνειας ως προς γραμμή αναφοράς

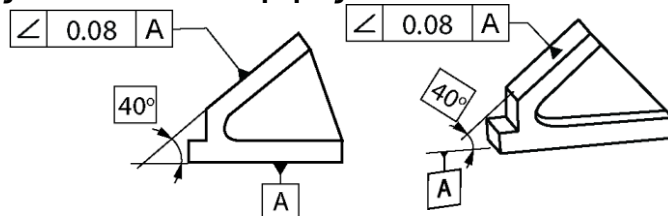
Η ζώνη ανοχής είναι περιορισμένη σε δυο παράλληλα επίπεδα με απόσταση t και υπό γωνία με συγκεκριμένη τιμή α ως προς τη γραμμή αναφοράς a . Σχήμα 1.39



Σχήμα 1.39: Ζώνη ανοχής

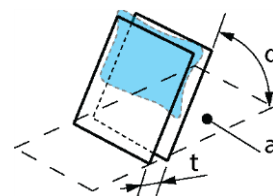
Ανοχή κλίσης μιας επιφάνειας ως προς ένα επίπεδο αναφοράς

Η επιφάνεια θα πρέπει να είναι ανάμεσα σε δυο παράλληλα επίπεδα με απόσταση 0.08mm μεταξύ τους τα οποία είναι υπό κλίση με τιμή γωνίας 40° ως προς το επίπεδο αναφοράς A . Σχήμα 1.40



Σχήμα 1.40: παράδειγμα ανοχή κλίσης μιας επιφάνειας ως προς ένα επίπεδο αναφοράς

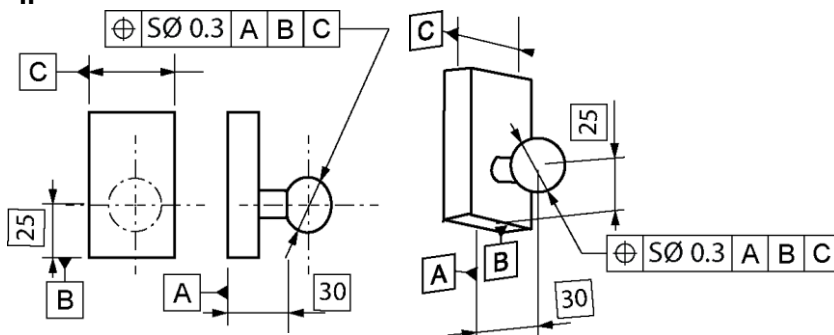
Η ζώνη ανοχής είναι περιορισμένη ανάμεσα στα δυο παράλληλα επίπεδα με απόσταση t και υπό γωνία ως προς το επίπεδο a . Σχήμα 1.41



1.2.4 Ανοχή τοποθέτησης

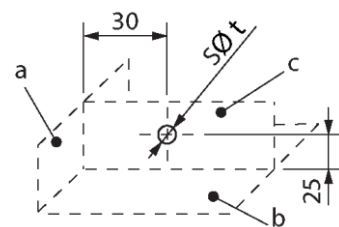
Ανοχή τοποθέτησης ενός σημείου

Το κέντρο της σφαίρας πρέπει να βρίσκεται ενδιάμεσα μιας σφαιρικής περιφέρειας διαμέτρου 0.3mm με το ίδιο κέντρο, σε σχέση με τα επίπεδα αναφοράς A και B και το μεσαίο επίπεδο αναφοράς C. Σχήμα 1.42



Σχήμα 1.42: Παράδειγμα ανοχή τοποθέτησης ενός σημείου

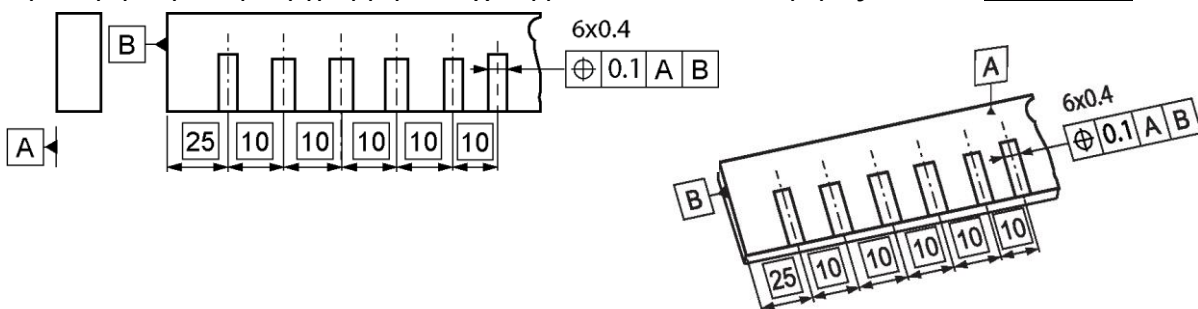
Η ζώνη ανοχής είναι περιορισμένη από μια σφαιρική περιφέρεια με διάμετρο t , αν η τιμή της ανοχής προηγείται από το σύμβολο Sφ. Το κέντρο της σφαίρας καθορίζεται από θεωρητικά ακριβείς διαστάσεις σε ως προς τα επίπεδα αναφοράς a, b και c. Σχήμα 1.43



Σχήμα 1.43: Ζώνη ανοχής

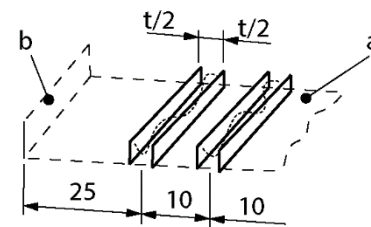
Ανοχή τοποθέτησης μιας γραμμής

Η κεντρική γραμμή κάθε ευθείας διατομής πρέπει να περιέχεται ανάμεσα σε δυο παράλληλα επίπεδα με απόσταση 0.1mm μεταξύ τους, όπου είναι συμμετρικά τοποθετημένα αναλόγως με τη θεωρητική κεντρική γραμμή, σε σχέση με τα επίπεδα αναφοράς A και B. Σχήμα 1.44



Σχήμα 1.44: Παράδειγμα ανοχή τοποθέτησης μιας γραμμής

Η ζώνη ανοχής είναι περιορισμένη σε δυο παράλληλα επίπεδα σε απόσταση t και συμμετρικά τοποθετημένα σε κάθε κεντρικό άξονα. Η κεντρική γραμμή καθορίζεται από διαστάσεις ως προς τα επίπεδα αναφοράς a και b. Η ανοχή καθορίζεται μόνο σε μια κατεύθυνση. Σχήμα 1.45



Σχήμα 1.45: Ζώνη ανοχής

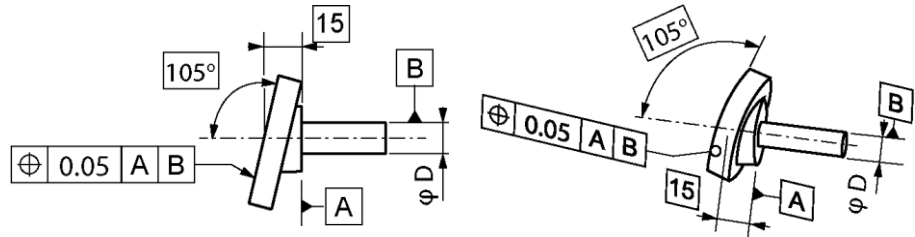
Ανοχή τοποθέτησης από επίπεδη επιφάνεια ή διάμεσο επίπεδο

Η επιφάνεια πρέπει να περιέχεται ανάμεσα σε δυο παράλληλα επίπεδα με μεταξύ τους απόσταση 0.05mm, τα οποία είναι συμμετρικά

τοποθετημένα με βάση επιφάνεια ή διάμεσο επίπεδο

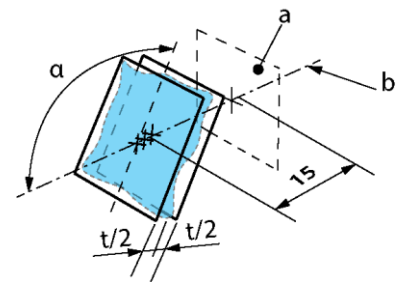
την επιφάνεια ως προς το επίπεδο αναφοράς A

και το σύστημα αναφοράς B. Σχήμα 1.46



Σχήμα 1.46: Παράδειγμα ανοχή τοποθέτησης από επίπεδη

Η ζώνη ανοχής είναι περιορισμένη σε δυο παράλληλα επίπεδα με απόσταση t και συμμετρικά τοποθετημένα σε σχέση με ο θεωρητικό άξονα ως προς τα επίπεδα αναφοράς a και b. Σχήμα 1.47

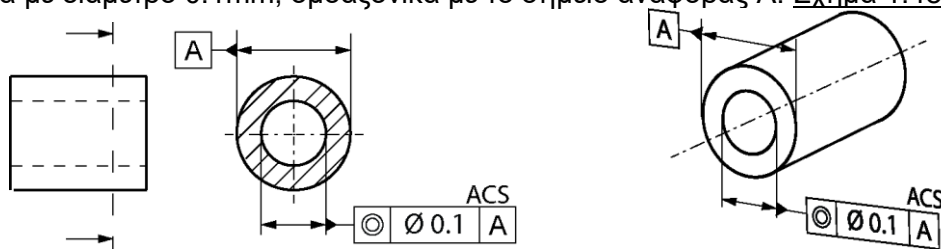


Σχήμα 1.47: Ζώνη ανοχής

1.2.5 Ανοχή κυκλικότητας και ομοαξονικότητας

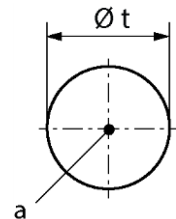
Ανοχή ομοκεντρικότητας – ομοαξονικότητας ενός σημείου

Το κέντρο της εσωτερικής κυκλικής διατομής θα πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα σε μια κυκλική περιφέρεια με διάμετρο 0.1mm, ομοαξονικά με το σημείο αναφοράς A. Σχήμα 1.48



Σχήμα 1.48: Παράδειγμα ανοχής ομοκεντρικότητας – ομοαξονικότητας ενός σημείου

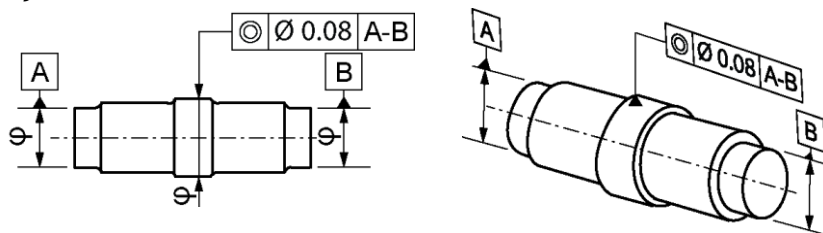
Η ζώνη ανοχής είναι περιορισμένη σε μια κυκλική διάμετρο t , η τιμή της ανοχής προηγείται από το σύμβολο ϕ . Το κέντρο της κυκλικής περιφέρειας συμπίπτει με το σημείο αναφοράς a. Σχήμα 1.49



Σχήμα 1.49: Ζώνη ανοχής

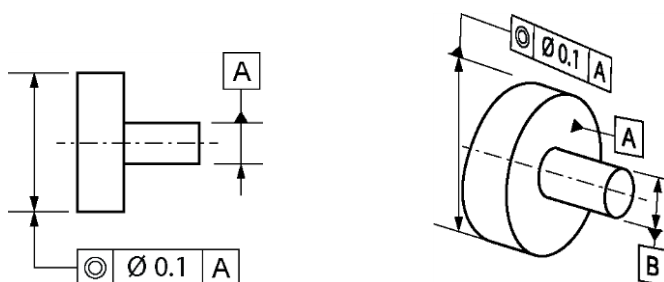
Ανοχή ομοαξονικότητας ενός άξονα

Η μεσαία γραμμή του κυλίνδρου πρέπει να βρίσκεται ενδιάμεσα σε μια κυλινδρική περιφέρεια διαμέτρου 0,08mm, ο άξονας όπου έχει κοινή ευθεία τη γραμμή A-B. Σχήμα 1.50



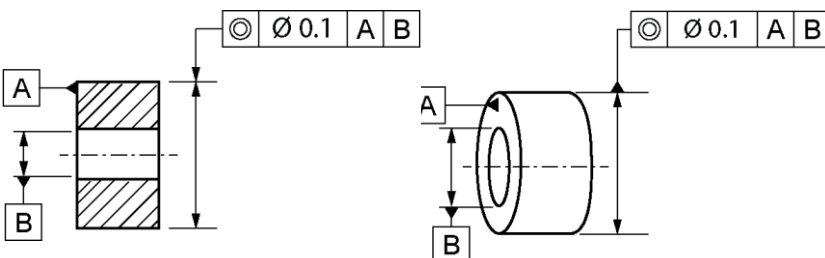
Σχήμα 1.50: Παράδειγμα ανοχής ομοαξονικότητας ενός άξονα

Η μεσαία γραμμή του κυλίνδρου πρέπει να είναι ανάμεσα σε μια κυλινδρική ζώνη διαμέτρου 0.1mm, ο άξονας ο οποίος βρίσκεται ο άξονας A. Σχήμα 1.51



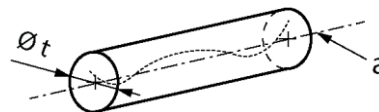
Σχήμα 1.51: Παράδειγμα ανοχής ομοαξονικότητας ενός άξονα

Η μεσαία γραμμή ενός κυλίνδρου πρέπει να είναι ανάμεσα στην κυλινδρική ζώνη διαμέτρου 0.1mm, ο άξονας ίδιος με τον άξονα του B ο οποίος είναι κάθετος προς το επίπεδο αναφοράς A. Σχήμα 1.52



Σχήμα 1.52: Παράδειγμα ανοχής ομοαξονικότητας ενός άξονα

Η ζώνη ανοχής είναι περιορισμένη σε μια κυλινδρική περιοχή διαμέτρου t , η τιμή της ανοχής προηγείται του συμβόλου ϕ . Ο άξονας της ζώνης ανοχής του κυλίνδρου συμπίπτει με τον άξονα αναφοράς a . Σχήμα 1.53

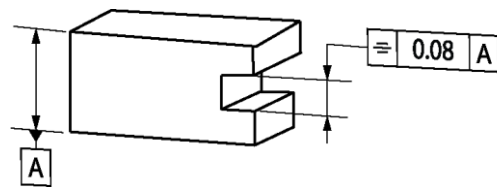
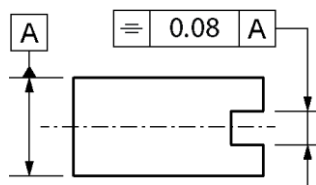


Σχήμα 1.53: Ζώνη ανοχής

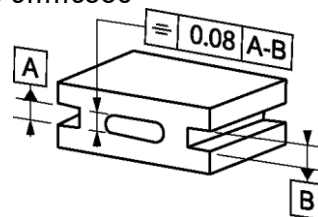
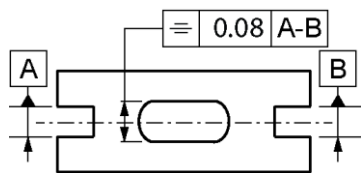
1.2.6 Ανοχή συμμετρίας

Ανοχές συμμετρίας ενός μέσου επιπέδου

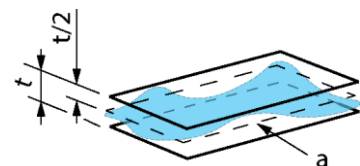
Το μεσαίο επίπεδο πρέπει να βρίσκεται ενδιάμεσα δυο παράλληλων επιπέδων με μεταξύ τους απόσταση 0.08mm τα οποία είναι συμμετρικά τοποθετημένα με το επίπεδο αναφοράς A Σχήμα 1.54 ή με το επίπεδο A-B Σχήμα 1.55



Σχήμα 1.54: Παράδειγμα ανοχή συμμετρίας ενός μέσου επιπέδου



Σχήμα 1.55: Παράδειγμα ανοχή συμμετρίας ενός μέσου επιπέδου
Η ζώνη ανοχής είναι περιορισμένη ανάμεσα στα δυο παράλληλα επίπεδα με απόσταση t , συμμετρικά τοποθετημένα με βάση το επίπεδο αναφοράς a . Σχήμα 1.56

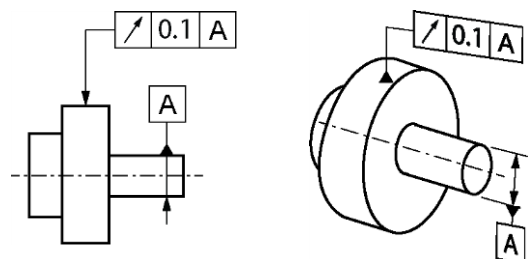


Σχήμα 1.56: Ζώνη ανοχής

1.2.7 Ανοχή κυκλικής κίνησης

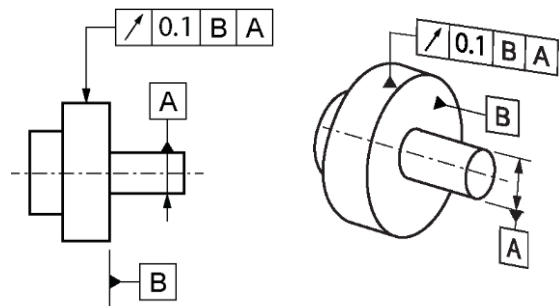
Ανοχή κυκλικής κίνησης – ακτινική

Η γραμμή σε όλο το εύρος του επιπέδου διατομής που είναι κάθετο προς τον άξονα αναφοράς A πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα σε δυο ομόκεντρους κύκλους με ακτινική διαφορά 0.1mm. Σχήμα 1.57



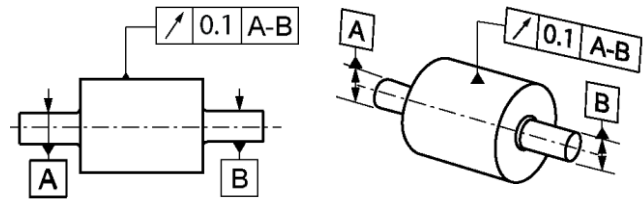
Σχήμα 1.57: Παράδειγμα ανοχή κυκλικής κίνησης - ακτινική

Η γραμμή σε όλο το εύρος του επιπέδου διατομής που είναι παράλληλο προς το επίπεδο αναφοράς B πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα σε δυο ομόκεντρους κύκλους με ακτινική διαφορά 0.1mm. Σχήμα 1.58



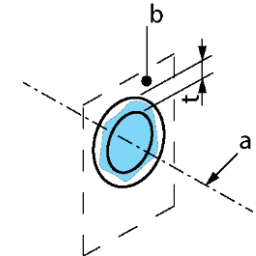
Σχήμα 1.58: Παράδειγμα ανοχή κυκλικής κίνησης - ακτινική

Η γραμμή σε οποιοδήποτε επίπεδο διατομής κάθετο προς την κοινή γραμμή αναφοράς A-B πρέπει να περιέχεται ανάμεσα σε δυο ομόκεντρων κύκλων με διαφορά ακτίνας 0.1mm. Σχήμα 1.59



Σχήμα 1.59: Παράδειγμα ανοχή κυκλικής κίνησης - ακτινικής

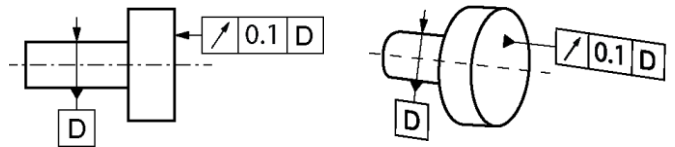
Η ζώνη ανοχής είναι περιορισμένη σε οποιοδήποτε επίπεδο διατομής κάθετο στο σύστημα αναφοράς από δυο ομόκεντρους κύκλους με διαφορά ακτίνας t , όπου τα κέντρα τους συμπίπτουν με το σύστημα αναφοράς a . Σχήμα 1.60



Σχήμα 1.60: Ζώνη ανοχής

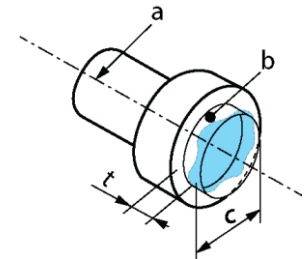
Ανοχή κυκλική κίνησης – αξονικής

Η αξονική γραμμή σε κάθε κυλινδρική διατομή συμπίπτει με τον άξονα αναφοράς D και πρέπει να είναι ενδιάμεσα δυο κύκλων με απόσταση 0.1mm μεταξύ τους. Σχήμα 1.61



Σχήμα 1.61: Παράδειγμα ανοχή κυκλικής κίνησης - αξονικής

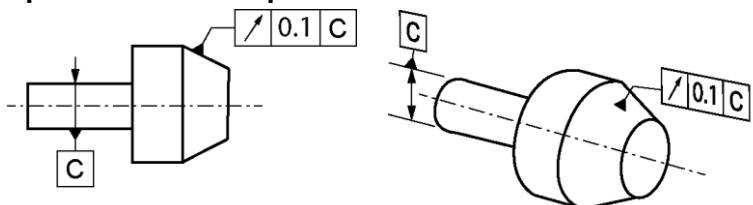
Η ζώνη ανοχής b κάθε κυλινδρικής μορφής είναι περιορισμένη σε δυο κύκλους με απόσταση t και ο άξονας του οποίου συμπίπτει με τον άξονα αναφοράς a . Σχήμα 1.62



Σχήμα 1.62: Ανοχή ζώνης

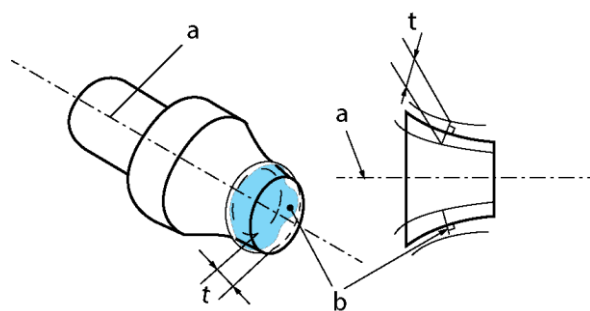
Ανοχή κυκλικής κίνησης σε οποιαδήποτε κατεύθυνση

Η γραμμή σε οποιοδήποτε κωνικό τμήμα, ο άξονας του οποίου συμπίπτει με τον άξονα αναφοράς C πρέπει να είναι ενδιάμεσα δυο κύκλων εντός του κωνικού τμήματος με απόσταση 0.1mm μεταξύ τους. Σχήμα 1.65



Σχήμα 1.65: Παράδειγμα ανοχή κυκλικής κίνησης σε οποιαδήποτε κατεύθυνση

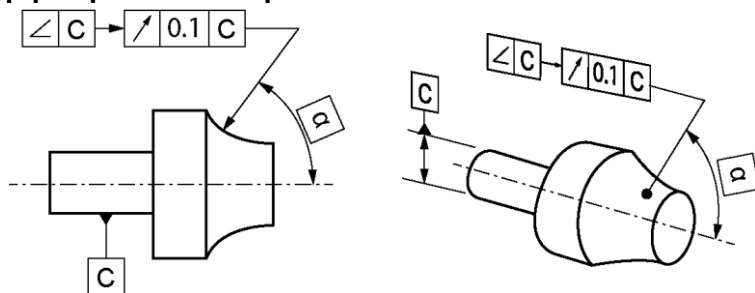
Η ζώνη ανοχής είναι περιορίζεται σε οποιοδήποτε κωνικό τμήμα από δυο κύκλους σε απόσταση t , οι άξονες των οποίων συμπίπτουν με τον άξονα αναφοράς a . Σχήμα 1.66



Σχήμα 1.66: Ζώνη ανοχής

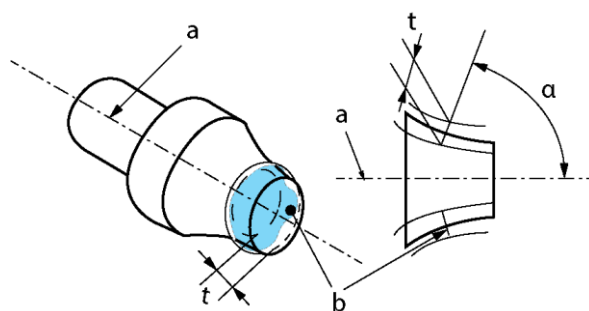
Ανοχή κυκλικής κίνησης σε συγκεκριμένη κατεύθυνση

Η γραμμή με τη χαρακτηριστική ανοχή σε οποιοδήποτε κωνικό τμήμα (γωνίας α) που αντιστοιχεί σε ένα χαρακτηριστικό κατεύθυνσης, με άξονα που συμπίπτει με τον άξονα αναφοράς C , πρέπει να περιέχεται μεταξύ δυο κύκλων με απόσταση 0.1 mm μεταξύ τους στο τέλος της κωνική περιοχής. Σχήμα 1.67



Σχήμα 1.67: Ανοχή κυκλικής κίνησης σε συγκεκριμένη κατεύθυνση

Η ζώνη ανοχής περιορίζεται σε οποιοδήποτε κωνικό τμήμα μια καθορισμένης γωνίας ανάμεσα σε δυο κύκλους με απόσταση t , οι άξονες των οποίων συμπίπτουν με τον άξονα αναφοράς a . Σχήμα 1.68

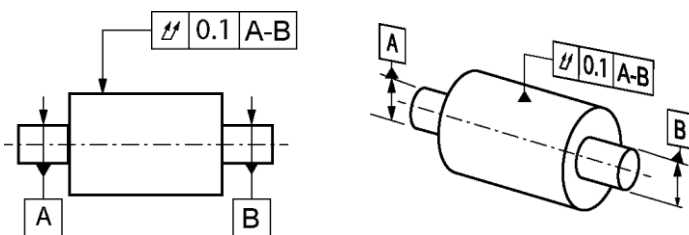


Σχήμα 1.68: Ζώνη ανοχής

1.2.8 Ανοχή κίνησης

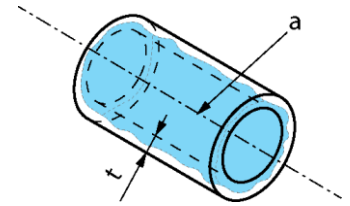
Ανοχή ακτινικής κίνησης

Η επιφάνεια πρέπει να περιέχεται μεταξύ δυο ομοαξονικών κυλίνδρων με διαφορά ακτινών 0.1 mm και των αξόνων τους να συμπίπτουν με τον άξονα αναφοράς της ευθείας A-B. Σχήμα 1.69



Σχήμα 1.69: Παράδειγμα ανοχή ακτινικής κίνησης

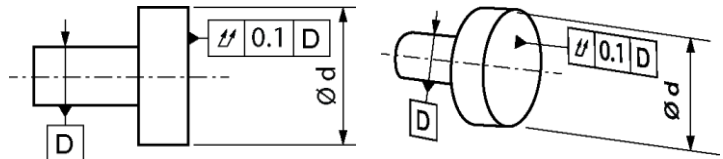
Η ζώνη ανοχής είναι περιορισμένη ανάμεσα σε δυο κυλίνδρους με διαφοράς ακτίνας t και οι άξονες να συμπίπτουν με τον άξονα αναφοράς a . Σχήμα 1.70



Σχήμα 1.70: Ζώνη ανοχής

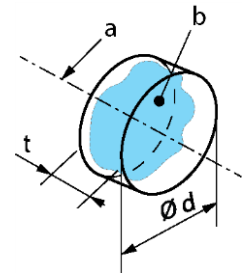
Ανοχή αξονικής κίνησης

Η επιφάνεια πρέπει να περιέχεται ενδιάμεσα σε δυο παράλληλα επίπεδα με απόσταση 0.1 mm μεταξύ τους, τα οποία είναι κάθετα στο σύστημα αναφοράς D . Σχήμα 1.71



Σχήμα 1.71: Παράδειγμα αξονικής κίνησης

Η ζώνη ανοχής είναι περιορισμένη σε δυο παράλληλα επίπεδα με απόσταση t και κάθετα στον άξονα αναφοράς a . Σχήμα 1.72



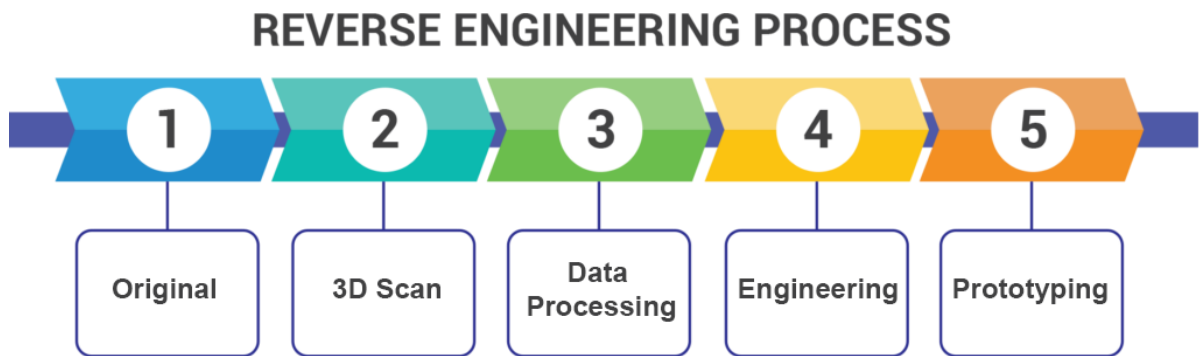
Σχήμα 1.72: Ζώνη ανοχής

2 Αντίστροφη μηχανική

2.1 Εισαγωγή

Η αντιστροφή μηχανική είναι μια διαδικασία η οποία δίνει την απαραίτητη πληροφορία στον διαχειριστή για την ανακατασκευή/διαχείριση ενός πραγματικού αντικειμένου. Ως τεχνολογία χρησιμοποιείται σε αρκετούς βιομηχανικούς τομείς για διάφορες εφαρμογές όπως μείωση κόστους, δημιουργίας αντικειμένων που δεν υπάρχουν στην αγορά πλέον, ανακατασκευή και παραλλαγή ήδη υπάρχων κ.λπ. Ο στόχος ήταν στην αρχή να ανασχεδιαστούν ήδη υπάρχοντα αντικείμενα για ανταγωνιστικούς σκοπούς ώστε να εξοικονομήσουν χρόνο και κόπο από το να τα αναπτύξουν από την αρχή. Σήμερα, έχει εξελιχθεί από μια απλή μέθοδο σχεδιασμού σε μια πλήρη και αυτόνομη επιστήμη για πολλές και διακριτές εφαρμογές.

Σκοπός αυτής της επιστήμης είναι από μια απλή τρισδιάστατη αποτύπωση να οδηγηθεί στην πλήρη σύλληψη των μηχανικών λειτουργιών ενός προϊόντος, κατανοώντας τη δομή, τη λειτουργία και τις ενέργειες που απαιτήθηκαν για τη δημιουργία του. Σαν αποτέλεσμα μπορεί να οδηγήσει σε βελτίωση του υπάρχοντος προϊόντος και να δοκιμαστεί διαφορετικά η λειτουργία του. Σε περίπτωση ενός περίπλοκου εξαρτήματος μπορεί να γίνει η αποσυναρμολόγηση του και να αναλυθεί αναλυτικά η διαδικασία παραγωγής, η λειτουργία, η διαστάσεις, ανοχές και η μορφή τους.



Σχήμα 2.1: Διαδικασία αντίστροφης μηχανικής

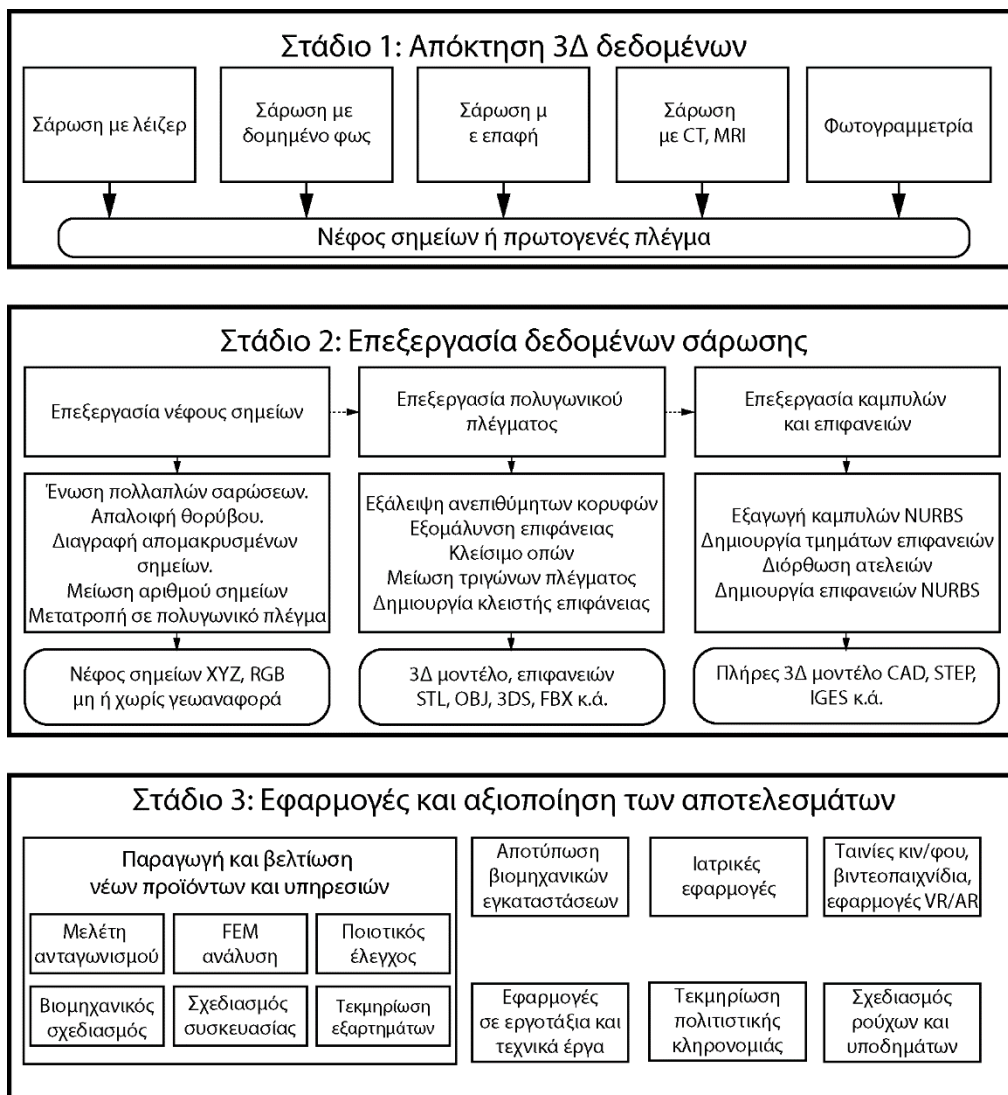
Αρχικό βήμα στην αντίστροφη μηχανική είναι η 3D σάρωση. Περιλαμβάνει τη διαδικασία ανάλυσης ενός πραγματικού αντικειμένου ή ακόμα και περιβάλλοντος ως προς το σχήμα του και ενδεχόμενος και της εμφάνισής του (π.χ. χρώμα) συλλέγοντας σημεία και δεδομένα. Ένας 3D σαρωτής είναι μια μετρητική συσκευή που μπορεί να αναγνωρίσει γεωμετρικά σχήματα ή τρισδιάστατα περιβάλλοντα και να τα μετατρέψει σε μια ψηφιακή μορφή με τη βοήθεια του υπολογιστή και τα κατάλληλα προγράμματα σάρωσης. Οι 3D σαρωτές χρησιμοποιούν μια ποικιλία τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένης της σάρωσης με λέιζερ, σάρωση με δομημένο φως, φωτογεωμετρία και σάρωση με επαφή (μη οπτική μέθοδος) η οποία θα αναπτυχθεί στο κεφάλαιο αυτό.

Τα στάδια εκτέλεσης της αντίστροφης μηχανικής είναι.:

1. Λήψη τρισδιάστατων δεδομένων.
2. Επεξεργασία δεδομένης σάρωσης.
3. Εφαρμογή των τελικών αποτελεσμάτων και αξιοποίηση αυτών.

2.2 Τεχνικές συλλογής 3D δεδομένων

Αρχικό στάδιο λήψης τρισδιάστατης μορφής ενός πραγματικού αντικειμένου ή ακόμα και ενός περιβάλλοντος είναι η τεχνική απόκτηση των 3D δεδομένων η οποία αποκαλείται σάρωση 3D δεδομένων. Η συλλογή αυτών γίνεται από ειδικά μηχανήματα (3D scanners) τα οποία είτε λειτουργούν όπως οι φωτογραφικές μηχανές ή με συλλογή σημείων. Στην πρώτη περίπτωση αντιγράφουν το πεδίο το οποίο εξετάζουν, επιφάνειες και συλλέγουν την απόσταση των σημείων τους από το σημείο αναφοράς του σαρωτή. Στη δεύτερη περίπτωση η οποία θα αναλυθεί και σε παράδειγμα, γίνεται συλλογή σημείων από μια ακίδα η οποία ακουμπάει την επιφάνεια και καταγράφει στον υπολογιστή το σημείο συντεταγμένων του στους τρεις άξονες X Y Z. Αυτό μπορεί αν γίνει κιάλας από μια σταθερής μορφής ακίδα η οποία "κυλάει" πάνω στην επιφάνεια συλλέγοντας χιλιάδες σημεία δημιουργώντας ένα νέφος. Ακριβώς την ίδια διαδικασία ακολουθεί και η σάρωση με φακό, τις επιφάνειες τις οποίες φωτογραφίζει τις μετατρέπει σε σημεία στον χώρο και στη συνέχεια δημιουργείται το νέφος σημείων. Οι σαρωτές με φακό δεν μπορούν να αποτυπώσουν πραγματικά αντικείμενα με την πρώτη προσπάθεια, γι' αυτό χρειάζεται να περαστούν κι άλλες φορές ώστε να καλυφθούν όλα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αντικειμένου, όπως εσοχές, αυλάκια με την απαιτούμενη ακρίβεια.



Σχήμα 2.2: Η γενίκευση διαδικασίας της αντίστροφης μηχανικής

Τώρα πια υπάρχουν αρκετές τεχνολογίες οι οποίες κάνουν αυτήν τη δουλειά και έχουν διαφορετικά πλεονεκτήματα η κάθε μια, διαφορετικούς περιορισμούς, εφαρμογές και κόστος. Οι παράμετροι που πρέπει να καταγραφούν για τον σωστό προγραμματισμό μιας διαδικασίας τρισδιάστατης σάρωσης και να επιλεγθεί η καταλληλότερη μέθοδος περιλαμβάνουν:

- Τον αριθμό των αντικειμένων που θα σαρωθούν σε μια ή περισσότερες σαρώσεις.
- Το πόσο μεγάλο είναι ένα αντικείμενο.
- Την πολυπλοκότητα του (απλό έως σύνθετο).
- Το είδος του υλικού (σκληρό – μαλακό).
- Την εξωτερική επιφάνεια (θαμπή – γυαλιστερή).
- Την απαιτούμενη ακρίβεια (γραμμική – ογκομετρική).
- Το είδος της γεωμετρίας (οργανική – πρισματική, εσωτερική – εξωτερική).

2.3 Σάρωση με επαφή

Η τεχνική συλλογής σημείων με επαφή γίνεται με ειδικούς βραχίονες οι οποίοι στο τέλος καταλήγουν σε έναν μικρό αισθητήρα διαφορετικής διαμέτρου. Συνήθως χρησιμοποιούνται εργαλειομηχανές μέτρησης συντεταγμένων (CMM – coordinate measuring machine) για την αποτύπωση της επιφάνειας του εξαρτήματος. Η ακίδα εδράζεται πάνω σε μια κεφαλή η οποία βρίσκεται συνήθως στον κατακόρυφο άξονα της εργαλειομηχανής και μπορεί αν οδηγηθεί με το χέρι του χειριστή ή να προγραμματιστεί με ειδικό πρόγραμμα ώστε να καλύψει μόνη της την επιφάνεια που θα συλλέξει σημεία.

Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται και στην περίπτωση του ποιοτικού ελέγχου, όταν υπάρχει το σχέδιο CAD, τότε το λογισμικό μπορεί να υπολογίσει μόνο του τις επιφάνειες και τα μέρη στα οποία θα γίνει ο έλεγχος και θα προγραμματίσει μόνο του την ακίδα να πάει σε αυτά. Ακόμα μπορεί να αναγνωρίσει περιοχές στις οποίες δεν μπορεί να έχει πρόσβαση π.χ. λόγω διαστάσεων σε μια στένωση όπου δεν χωράει η μετρητική ακίδα. Η μέθοδος εξαρτάται από την πολυπλοκότητα του αντικείμενου και μπορεί να γίνει αρκετά χρονοβόρα. Καθώς η ακίδα πλησιάζει το αντικείμενο, το ακουμπάει με μικρή πίεση, αυτή παρότι είναι μικρή μπορεί να προκαλέσει μικρή παραμόρφωση στο υλικό οπότε καθίσταται ακατάλληλη για μαλακά ή ελατά υλικά, όπως ελατήρια. Επίσης είναι απαραίτητη η σωστή τοποθέτηση του αντικείμενου πάνω στο τραπέζι κατεργασίας, ώστε η εργασία να γίνει αποτελεσματικά χωρίς προβλήματα μετατοπίσεων.

2.4 Παρουσίαση μεθόδου τρισδιάστατης αποτύπωσης

Σε αυτή την ενότητα θα αναπτυχθεί η μέθοδος της σάρωσης με επαφή, με τη βοήθεια μηχανής μέτρησης διαστάσεων CMM της εταιρίας MITUTOYO Σχήμα 2.3. Εφαρμογή στην αποτύπωση μορφής σε μια πτερωτή αυτοκινήτου όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.4 για τη δημιουργία του 3D-CAD μοντέλου. Η λειτουργία της μηχανής είναι χειροκίνητη, φαίνεται στο Σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.5: Διαδικασία επιθεώρησης σημείων σε ένα εξάρτημα



Σχήμα 2.3: Η μηχανή CMM M 574 του εργαστηρίου m3



Σχήμα 2.4: Impeller από τούρμπο αυτοκινήτου

Η τεχνική που ακολουθήθηκε ήταν η συλλογή διάφορων σημείων πάνω σε μια επιφάνεια οποιασδήποτε μορφής και η κατάλληλη προσαρμογή επιφανειών ελεύθερης μορφής για την απόδοση της γεωμετρίας στο σύστημα SIEMENS NX12. Η ακίδα η οποία κάνει τη συλλογή των σημείων κινείται με το χέρι και ο χειριστής κρίνει πόσα σημεία θα πρέπει να πάρει ώστε να έχει ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Πέρα από τα θετικά χαρακτηριστικά της μηχανής, όπως είναι η υψηλή ακρίβεια και η δυνατότητα αποτύπωσης εσοχών, υπάρχουν και μερικά μειονεκτήματα που είναι συνυφασμένα με τη μεθοδολογία αποτύπωσης με επαφή. Η διαδικασία είναι χειροκίνητη, μπορεί να διαρκέσει αρκετό χρονικό διάστημα, που εξαρτάται και σε σημαντικό βαθμό από την εμπειρία και στην προσοχή του χειριστή, αλλά παράλληλα απαιτεί κάποια εμπειρία για τη σωστή απεικόνιση των καμπυλών, επιφανειών και των λειτουργιών του συστήματος μοντελοποίησης κ.λπ. Πέρα από τη χειροκίνητη επιθεώρηση σημείων υπάρχει και η αυτόματη/ ημιαυτόματη διαδικασία. Αυτόματη είναι η διαδικασία που χειρίζεται πλήρως από τον υπολογιστή, ξέροντας μια γεωμετρία αντικειμένου μπορεί να ορίσει ο χειριστής να μετρήσει μια επίπεδη επιφάνεια, έναν κύλινδρο κ.λπ. Η μεθοδολογία αυτή συνήθως χρησιμοποιείται στον ποιοτικό έλεγχο ενός προϊόντος και η μηχανή διαθέτει ίδιο σύστημα ελέγχου. Στην κλασική αποτύπωση μορφής σε αυτόματο σύστημα ο χειριστής μπορεί να προγραμματίσει τις απαραίτητες μετρήσεις. Η ημιαυτόματη είναι η περίπτωση όπου δεν είναι πλήρως αυτόματη η κεφαλή και το σύστημα λειτουργίας και μπορεί να χρειαστεί να επέμβει ο χειριστής ώστε να ορίσει κάποια γωνία, να αλλάξει ακίδα κ.λπ. Οι κατασκευαστικές/ ποιοτικές διαφορές αυτών των διαφόρων μηχανών είναι οι εξής.

- Διαφορά τιμής:

Από την οπτική του αγοραστή, το πρώτο μέλημα είναι το ποσό που θα διαθέσει. Οι αυτόματες μηχανές είναι οι πιο ακριβές από τις δυο άλλες κατηγορίες, όπως και επίσης οι ικανότητες τους είναι καλύτερες και ανταποκρίνεται σε πιο απαιτητικά αντικείμενα.

- Ακρίβεια μέτρησης:

Σε σχέση με τη τιμή, η ακρίβεια μέτρησης είναι ένας από τους τίτλους που μπορούν να ελέγξουν το προϊόν εάν πληροί τις προϋποθέσεις, οπότε η υψηλότερη ακρίβεια μπορεί να οδηγήσει σε

καλύτερη ποιότητα. Ένα ημι-αυτόματο και μη αυτόματο, λόγω της ανάγκης τεχνητής προσαρμογής της δοκιμής, μπορεί να έχει κάποιο σφάλμα στη διαδικασία μέτρησης. Το πλήρες αυτόματο ελέγχεται πλήρως από υπολογιστή, γεγονός που μειώνει σημαντικά το τεχνητό σφάλμα. Επομένως σχετικά, η ακρίβεια του αυτόματου CMM είναι υψηλότερη από αυτήν του ημιαυτόματου και μη.

- Αποτελεσματικότητα παραγωγής:

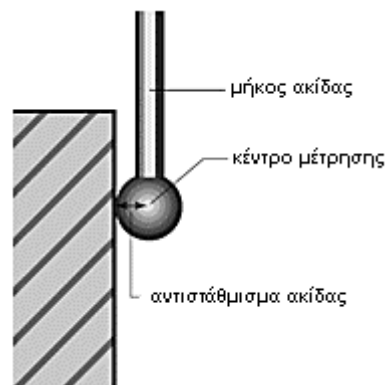
Σε μια επιχείρηση οι αρχές της είναι η αποδοτικότητα και η ποιότητα. Το πλήρες αυτόματο CMM ελέγχεται από τον υπολογιστή στη διαδικασία μέτρησης, χρειάζεται ο μηχανικός να βρίσκεται μπροστά από τον υπολογιστή και να εκτελεί το πρόγραμμα. Ενώ στο ημι-αυτόματο χρειάζεται η ανθρώπινη παρουσία να παίρνει κάποιες πρωτοβουλίες ώστε να ρυθμίσει κάτι. Γι' αυτό και το ημιαυτόματο έχει λιγότερα πλεονεκτήματα από ένα πλήρες αυτόνομο σύστημα.

2.5 Λειτουργία ακίδας

Οι μηχανές CMM συλλέγουν σημεία ακουμπώντας μια σταθερή ή μια ηλεκτρονική ακίδα με ενεργοποίηση αφής. Αν και η άκρη της ακίδας είναι πολύ ακριβής, μόλις η ακίδα συνδεθεί με τη CMM, η θέση του άκρου στο σύστημα συντεταγμένων του μηχανήματος πρέπει να προσδιοριστεί πριν από τη μέτρηση. Δεδομένου ότι είναι η περιφέρεια του άκρου που αγγίζει το μέρος, το κέντρο και η ακτίνα της ακίδας καθορίζονται με τη μέτρηση μιας πολύ ακριβούς σφαίρας (σφαίρα επαναπροσδιορισμού ή αλλιώς masterball).

Μόλις το κέντρο και η ακτίνα της ακίδας είναι γνωστά, όταν ακουμπάει σε μια επιφάνεια ενός αντικειμένου, οι συντεταγμένες του άκρου "αντισταθμίζονται" μαθηματικά από την ακτίνα του άκρου στο πραγματικό σημείο επαφής της άκρης Σχήμα 2.6.

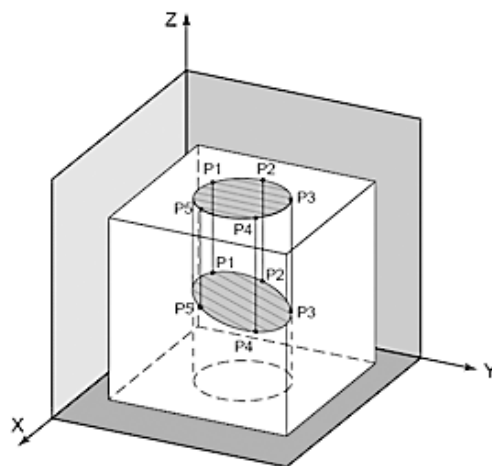
Γίνεται μια παρόμοια διαδικασία όταν παρκάρει ο οδηγός ένα αυτοκίνητο. Όσο καλύτερα μπορεί να εκτιμηθεί η αντιστάθμιση του από το εξωτερικό του αυτοκινήτου, τόσο πιο κοντά μπορεί να παρκάρει.



Σχήμα 2.6: Ανάλυση ακίδας

Στη μετρολογία, οι προβολές επιτρέπουν να μετρηθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα συσχετιζόμενα μέρη τα οποία θα ταιριάξουν τελικά μεταξύ τους. Στις μετρήσεις κυλίνδρων ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης, προβάλλοντας έναν κύλινδρο στο επίπεδο της κεφαλής, μπορεί να προσδιορισθεί με ακρίβεια πως τα έμβολα θα χωρέσουν στον κύλινδρο και πώς θα συναντηθούν με το θάλαμο καύσης στο τέλος της διαδρομής τους.

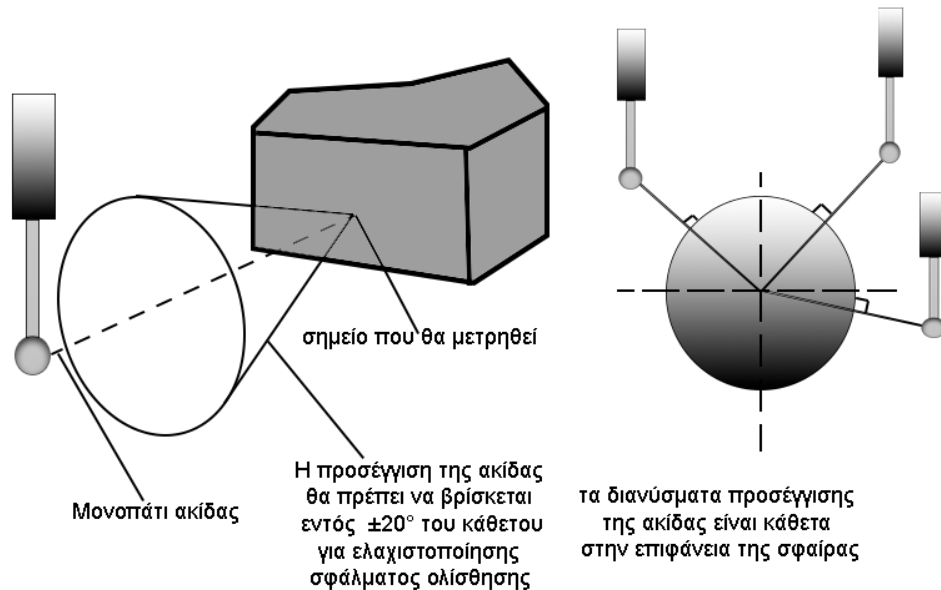
Ο ελάχιστος αριθμός σημείων που χρειάζονται για να μετρήσουν μια διάμετρο είναι 3 σημεία, αν αυτά τα σημεία δεν είναι στην ίδια απόσταση από την κορυφή της οπής, η μετρούμενη διάμετρος θα δείχνει ελλειπτική. Για να μην υπάρχει τέτοιου είδους διατομής



Σχήμα 2.7: Προβολή κυκλικής διατομής

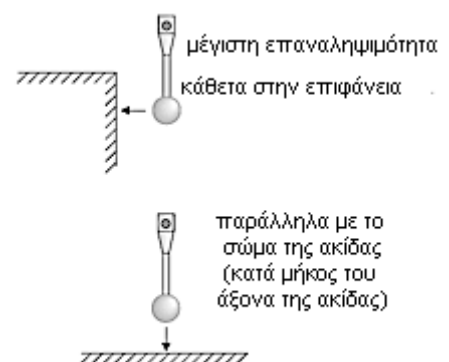
παραποίηση, τα δεδομένα μέτρησης προβάλλονται σε ένα επίπεδο που είναι κάθετο στην κεντρική γραμμή του κυλίνδρου. Με αποτέλεσμα τον ακριβή προσδιορισμό του μεγέθους

Χρησιμοποιώντας αποτελεσματικές τεχνικές για τη μέτρηση σημείων με τη βοήθεια ακίδας, μπορεί να εξαλειφθούν πολλές κοινές αιτίες σφάλματος μέτρησης. Για παράδειγμα, οι μετρήσεις της ακίδας πρέπει να λαμβάνονται κάθετα στην επιφάνεια του τεμαχίου εργασίας όποτε είναι εφικτό. Η ακίδα έχει σχεδιαστεί για να δίνει ακριβή αποτελέσματα ενώ βρίσκεται σε επαφή με το αντικείμενο στο άκρο της κάθετα προς την επιφάνεια του αντικειμένου. Στην ιδανική περίπτωση, θα πρέπει να συλλέγονται σημεία μεταξύ $\pm 20^\circ$ κάθετου για να αποφευχθεί η ολίσθηση της άκρης της ακίδας. Η ολίσθηση παράγει ασυνεπή, μη επαναλαμβανόμενα αποτελέσματα.



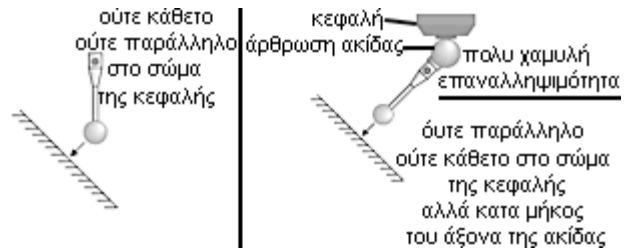
Σχήμα 2.8: Ιδανική περίπτωση συλλογής σημείων μεταξύ $\pm 20^\circ$, για αποφυγή ολίσθησης ακίδας

Τα σημεία τα οποία λαμβάνονται παράλληλα με το σώμα της ακίδας, δηλαδή κατά μήκος του άξονα της γραφίδας, δεν έχουν καλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα από αυτά που λαμβάνονται κάθετα στον άξονα.



Σχήμα 2.9: Μέγιστη επαναληψιμότητα και ακρίβεια

Θα πρέπει να αποφεύγεται η λήψη σημείων παράλληλα με την ακίδα και υπό γωνία προς το σώμα της, γιατί έχουν σαν αποτέλεσμα μεγάλα σφάλματα.



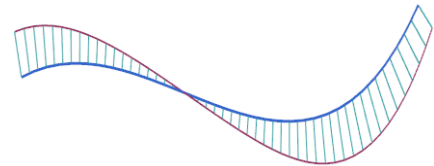
Σχήμα 2.10: Αυξημένη πιθανότητα σφάλματος και επαναληψιμότητας

2.6 Μορφή καμπυλών

Για τα γεωμετρικά στοιχεία ελεύθερης μορφής χρησιμοποιούνται καμπύλες spline. Υπάρχουν διάφοροι τύποι καμπυλών spline, οι Bezier, B-spline ή NURBS οι οποίες έχουν τα δικά τους χαρακτηριστικά. Οι spline ορίζονται από τα σημεία στα οποία περνάει η καμπύλη (through points) είτε από σημεία ελέγχου (By Poles). Στην πρώτη περίπτωση, ορίζονται μερικά σημεία στον χώρο και από αυτά περνάει η καμπύλη και δημιουργεί το αποτέλεσμα. Στη δεύτερη περίπτωση, γίνεται μια προσέγγιση των σημείων ελέγχου και δημιουργείται η καμπύλη και έπειτα μπορεί ο χειριστής να αλλάξει ή να προσθαφαιρήσει σημεία ώστε να τελειοποιήσει το αποτέλεσμα. Για τη δημιουργία spline πρέπει ο χειριστής να έχει καλές γνώσεις των ιδιοτήτων κάθε καμπύλης και να ξεχωρίζει τα διαφορετικά χαρακτηριστικά τους όπως είναι ο βαθμός καμπυλότητας, τα σημεία ελέγχου κ.λπ.

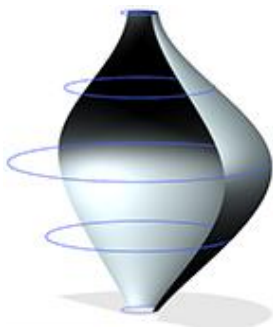
Μεγάλη ποικιλία σχημάτων μπορούν να οριστούν από καμπύλες spline, γιατί είναι αρκετά εύκαμπτες. Σε κάθε μια από τις δυο περιπτώσεις προσέγγισης με σημεία ελέγχου και παρεμβολής από σημεία, πρέπει να επισημανθεί η τελική ποιότητα της καμπύλης ώστε να διατηρηθούν τα κυρτά και κοίλα τμήματα της καμπύλης.

Η μορφή μιας καμπύλης ελέγχεται ως προς την ομαλότητα της με το διάγραμμα καμπυλότητας. Με διάφορα σημεία ελέγχου εμπειρικά δοσμένα και ομοιόμορφα κατανεμημένα από τον χρήστη μπορούν να δώσουν τα κυρτά και κοίλα τμήματα της καμπύλης.

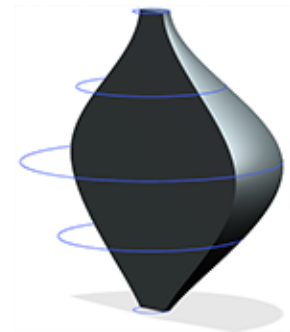


Σχήμα 2.11: Ομαλότητα καμπύλης

Στη μοντελοποίηση με επιφάνειες, η εξωτερική μορφή ενός αντικειμένου αποτελείται από πολλές επιφάνειες οι οποίες δημιουργούνται από τις splines. Η απεικόνιση με επιφάνειες είναι ένας τρόπος απεικόνισης εξωτερικών όψεων ενός αντικειμένου που δεν απεικονίζεται το πάχος του ούτε αναγνωρίζει κάποιος αν είναι στερεό ή όχι. Ένας κλειστός όγκος μπορεί να πάρει τη μορφή κάποιου στερεού ή να λειτουργήσει σαν κομμάτια επιφανειών.



Σχήμα 2.12: Κλειστός όγκος, κομμάτι επιφάνειας (sheet)



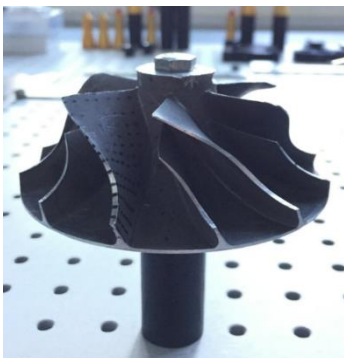
Σχήμα 2.13: Κλειστός όγκος αλλά με μορφή στερεού (solid)

Η διαμορφωμένη επιφάνεια μπορεί να διατηρήσει τη χαρακτηριστική μορφή αλλά μπορεί και να αποκτήσει κάποιο πάχος, λεπτό στρώμα πάχυνσης και να χειριστεί με τις ίδιες ιδιότητες σαν μια στερεή μορφή. Μέσω αυτών των υβριδικών μοντέλων επιτυγχάνεται ενιαία χρήση επιφανειών και στερεών στοιχείων. Η δημιουργία των επιφανειών ξεκινάει από μια γεωμετρία πλέγματος (wireframe), περιλαμβάνοντας διατομές, τροχιές, σημεία, κατευθύνσεις κ.λπ. και ο ορισμός του είναι βασισμένος πάνω σε καμπύλες spline (NURBS, Bezier/B-Splines).

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα της πτερωτής οι επιφάνειες μετρήθηκαν μεμονωμένα αλλά συνδέθηκαν μεταξύ τους και λειτούργησαν σαν μια ομάδα. Στο τέλος των απαραίτητων μετρήσεων αφού όλες οι επιφάνειες σχημάτισαν μια υδατοστεγή επιφάνεια, τότε σχηματίστηκε ένα στερεό αντικείμενο. Η μέτρηση των συντεταγμένων των σημείων έγινε στη μηχανή CMM M574 του εργαστηρίου μικροκοπής και κατασκευαστικής προσομοίωσης (m3), έπειτα η μεταφορά αυτών έγινε στο πρόγραμμα τρισδιάστατης σχεδίασης Siemens NX όπου και επεξεργάστηκαν εκεί.

2.7 Εφαρμογή αντίστροφης μηχανικής

Αρχικό στάδιο ήταν η παραλαβή του αντικειμένου και τοποθέτηση του πάνω στην επιφάνεια εργασίας της CMM ώστε να παραμείνει σταθερό για να μην κινείται.

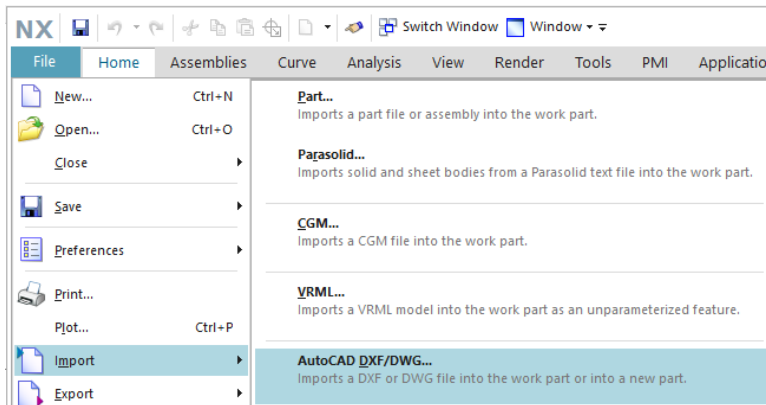


Σχήμα 2.14: τοποθέτηση πτερωτής με μια βίδα στο κέντρο της



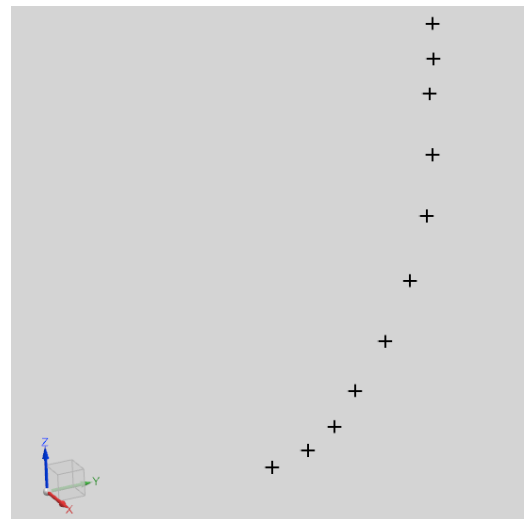
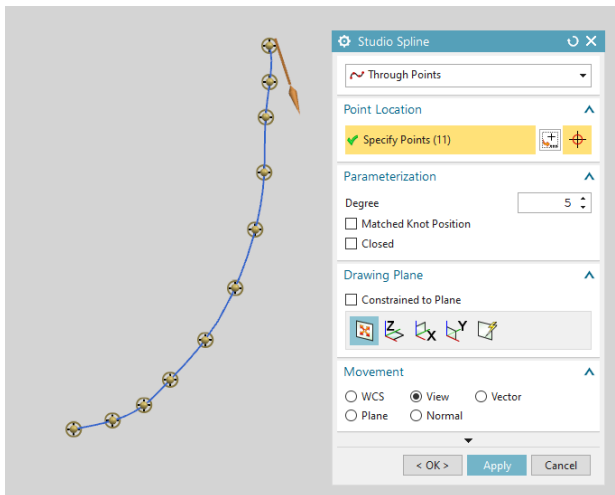
Σχήμα 2.15: Διαθέσιμες ακίδες εργαστηρίου

Στη συνέχεια, μελετήθηκε η απόσταση μεταξύ των πτερυγίων για την καταλληλότερη επιλογή ακίδας και σε περίπτωση εισαγωγής πρόσθετης επέκτασης στην κεφαλή της μηχανής. Οι μετρήσεις της μηχανής καταχωρούνται σε αρχείο .dxf και στη συνέχεια γίνεται εισαγωγή στο σύστημα NX.



Εισαγωγή σημείων στο πρόγραμμα Siemens NX, επιλέγοντας στην καρτέλα Home την εντολή Import > AutoCAD DXF/DWG

Απεικόνιση σημείων στο περιβάλλον εργασίας έπεται από την εντολή Import που προηγήθηκε. Οι μαύροι σταυροί απεικονίζουν τα σημεία τα οποία συλλέχθηκαν από την περιφέρεια της πλήρους της πτερωτής και το κάθε σημείο έχει X Y Z συντεταγμένες.

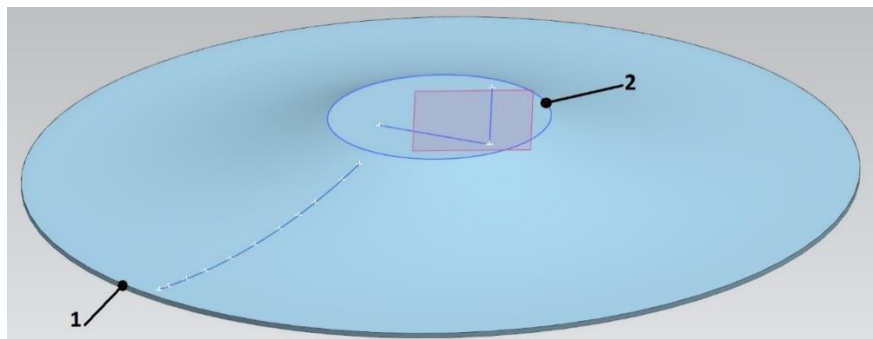


Με την εντολή studio spline έγινε η ένωση των σημείων και ορίστηκε ο βαθμός της καμπύλης (5) για να εφαρμόζει όσο καλύτερα γίνεται στο επιθυμητό αποτέλεσμα.

Σχήμα 2.16: Διαδικασία εισαγωγής σημείων και ένωσης αυτών με Studio Spline

2.7.1 Περιστροφή καμπυλών

Πρώτο στάδιο ήταν η μέτρηση του κάτω μέρους με 0.98 χιλιοστά probe διότι ήταν το πιο απλό μιας και είχε μια μόνο γεωμετρία. Είναι μια επιφάνεια που μπορεί να δημιουργηθεί από την περιστροφή μιας καμπύλης κατά 360° γύρω από ένα άξονα περιστροφής.

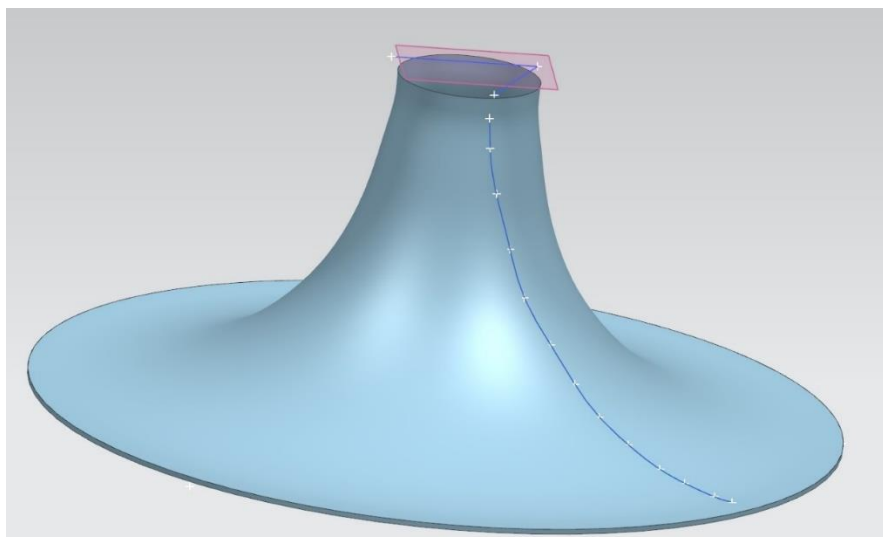


Σχήμα 2.17: Αποτέλεσμα Revolve κάτω μέρους

Οι άσπροι σταυροί είναι τα σημεία που συλλέχθηκαν χειροκίνητα με τη βοήθεια της CMM και αποθηκεύτηκαν σε αρχείο dxf. Έγινε export του αρχείου στο πρόγραμμα και ξεκίνησε η διαδικασία ένωσης τους και περιστροφής.

Επιλέχθηκαν 3 σημεία στο κάτω μέρος (αριθμός 1) ώστε να βρεθεί ο άξονας περιστροφής της πτερωτής και στο σημείο 2 βρίσκονται τα σημεία μέχρι εκεί που επεκτείνεται η επιφάνεια σύμφωνα με το Σχήμα 2.17.

Με τον ίδιο τρόπο στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται το πάνω μέρος της πλήμνης μετά την περιστροφή της καμπύλης γύρω από το ίδιο άξονα περιστροφής του κάτω μέρους (εντολή revolve).



Σχήμα 2.18: Αποτέλεσμα Revolve πάνω μέρους

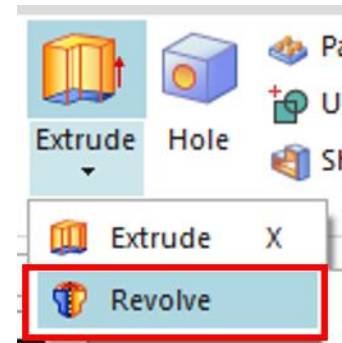
Εντολή Revolve

Η εντολή Revolve δημιουργεί πυκνότητα σε μια γραμμή ή ένα σύνολο γραμμών περιστρέφοντας την επιλογή γύρω από έναν άξονα. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι εκκίνησης της εντολής Revolve.

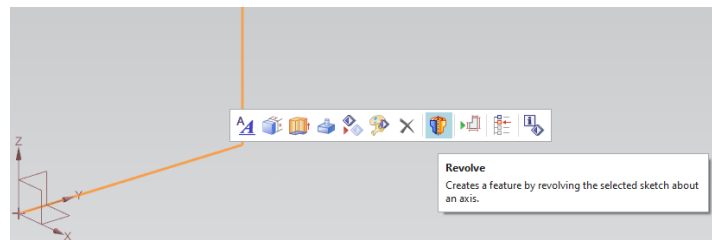
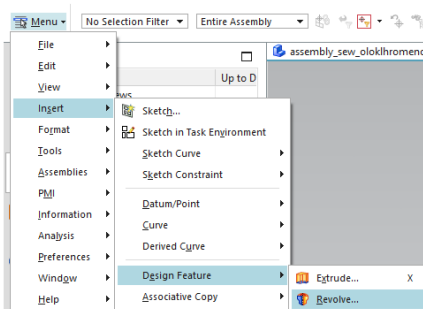
Επιλογή **Revolve** στην καρτέλα Home Σχήμα 2.19

Επιλογή **Revolve** από το Menu > Insert > Design Feature > Revolve Σχήμα 2.20

Αριστερό ή δεξί κλικ στο σχέδιο και έπειτα επιλογή της εντολής **Revolve** Σχήμα 2.21



Σχήμα 2.19: Εντολή Revolve στην καρτέλα επιλογών



Σχήμα 2.21: Εντολή Revolve από το περιβάλλον σχεδιασμού

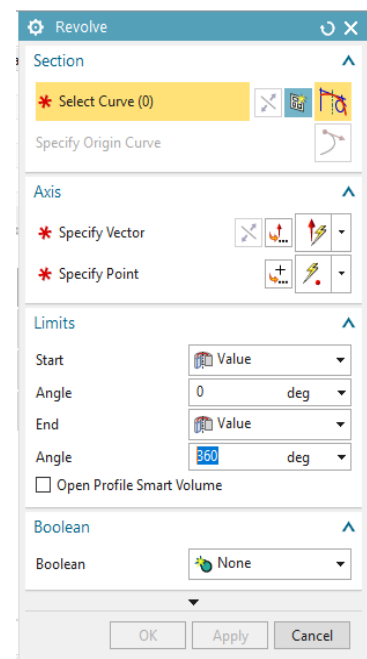
Σχήμα 2.20: Εντολή Revolve από το Menu επιλογών

Πρόκειται για μια εύκολη διαδικασία. Στην καρτέλα section > select curve επιλέγεται το σχέδιο το οποίο επιθυμεί ο διαχειριστής να περιστρέψει. Στη συνέχεια διαλέγει τον άξονα γύρω από τον οποίο θα περιστραφεί το αντικείμενο (specify vector) και το κεντρικό σημείο (specify point). Οι τιμές Limits έχουν να κάνουν αν θα περιστραφεί η γραμμή κατά 360° ή λιγότερο και από ποια γωνία θα ξεκινήσει να περιστρέφεται.

Στο Siemens NX όπως και σε άλλα προγράμματα 3D σχεδίασης, στερεά σώματα δημιουργούνται για να προσθέτουν, να αφαιρούν όγκους σε ένα αρχικό σώμα.

Αυτό επιτυγχάνεται με τις επιλογές Boolean.

- **None:** Χρησιμοποιείται για τη δημιουργία όγκου.
- **Unite:** Χρησιμοποιείται για την προσθήκη όγκου σε ένα στερεό σώμα.
- **Subtract:** Είναι υπεύθυνη εντολή για την αφαίρεση υλικού από ένα σώμα.
- **Intersect:** Χρησιμοποιείται για τη δημιουργία όγκου στο σημείο τομής του εξωθημένου όγκου και του στερεού σώματος.

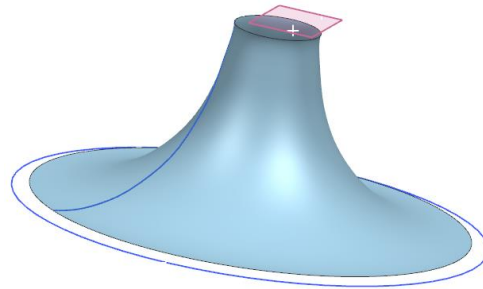


Σχήμα 2.22: Περιβάλλον της εντολής Revolve

2.7.2 Επέκταση επιφανειών

Το επόμενο βήμα αφού σχεδιάστηκαν οι καμπύλές και περιστράφηκαν, ήταν να επεκταθεί το μήκος τους ώστε να έρθουν στη τελική τους διάσταση. Αυτό έγινε χρησιμοποιώντας επίπεδα τα οποία θα λειτουργούσαν σαν όρια προς τις επόμενες επεκτάσεις που θα γινόντουσαν. Για παράδειγμα στο Σχήμα 2.23 φαίνεται το αρχικό στάδιο της φτερωτής μετά από μια περιστροφή του πάνω μέρους και εισαγωγής του πάνω όριο στη μορφή επιπέδου και το κυκλικό όριο με τη μορφή κύκλου.

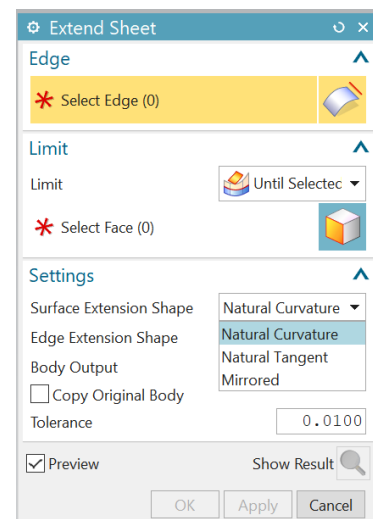
Το πάνω μέρος επεκτάθηκε μέχρι το επίπεδο με τη βοήθεια της εντολής extend sheet και το κάτω μέρος επίσης χρησιμοποιήθηκε η ίδια εντολή. Αυτό το βήμα ήταν πολύ σημαντικό στη δημιουργία της ψηφιακής μορφής της φτερωτής γιατί δεν ήταν γνωστές οι ακριβείς διαστάσεις των γραμμών.



Σχήμα 2.23: Αρχικό στάδιο πτερωτής

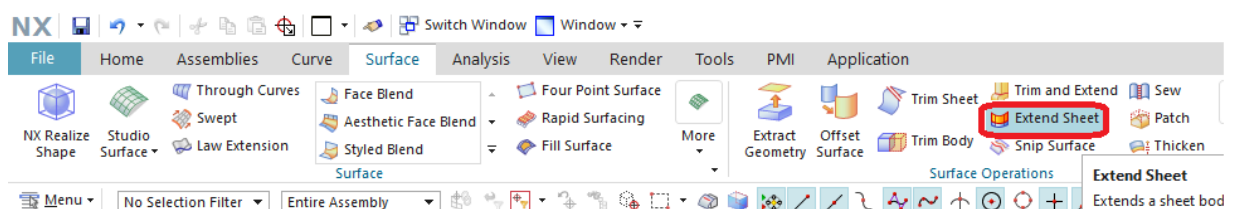
Εντολή Extend Sheet

Με την εντολή αυτή μπορεί να επεκταθεί μια επιφάνεια ως προς ορισμένα όρια με διάφορους τρόπους. Στην περίπτωση αυτή επιλέχθηκε η συνέχεια καμπυλότητας στην επιφάνεια επέκτασης, ώστε να φτάσει μέχρι το πάνω μέρος της πτερωτής και την κυλινδρική επιφάνεια της περιφέρειας



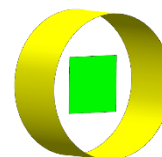
Σχήμα 2.24: Περιβάλλον Extend Sheet

1) Στην επιλογή Modeling στην καρτέλα Surface Operations Group μπορεί ο χειριστής να επιλέξει την εντολή extend sheet



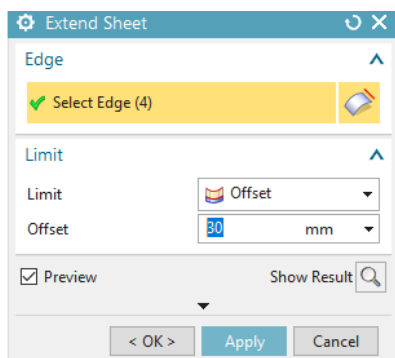
Σχήμα 2.25: Extend Sheet στην καρτέλα Surface, Siemens NX

2) Στο Σχήμα 2.26 φαίνονται οι επιφάνειες, μια θα επεκταθεί με την εντολή extend sheet και η άλλη είναι βοηθητική για παραπάνω λεπτομέρειες.

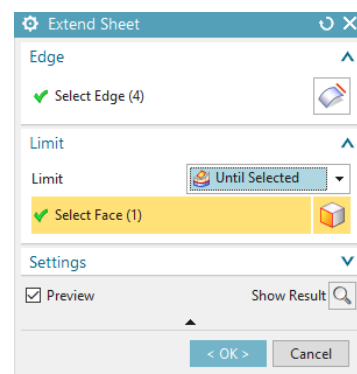


Σχήμα 2.26: Επιφάνειες για επεξεργασία με εντολή Extend Sheet

3) Στο Σχήμα 2.27 και στο Σχήμα 2.28 φαίνεται το μενού επιλογών για Extend Sheet



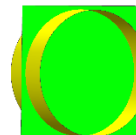
Σχήμα 2.27: Περιβάλλον Extend Sheet με Offset



Σχήμα 2.28: Περιβάλλον Extend Sheet με Until Selected

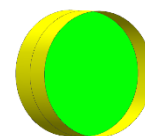
4) Μπορεί να επεκταθεί η επιθυμητή επιφάνεια με δυο διαφορετικούς τρόπους στην επιλογή Limit.

a. Offset Σχήμα 2.29 – Ορίζει ο διαχειριστής το επιθυμητό μήκος επέκτασης



Σχήμα 2.29: Αποτέλεσμα Offset

b. until selected Σχήμα 2.30 – Ο διαχειριστής επιλέγει το όριο επέκτασης της επιφάνειας που επιθυμεί.

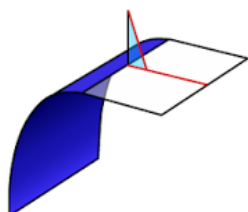


Σχήμα 2.30: Αποτέλεσμα Until Selected

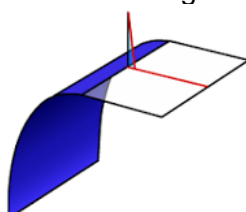
5) Υπάρχουν επιπλέον επιλογές που μπορεί κάποιος να ανακαλύψει στο μενού Settings.

α. Surface extension Shape

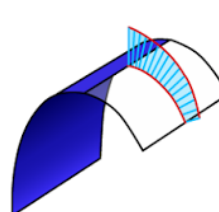
i. Natural Curvature



ii. Natural Tangent




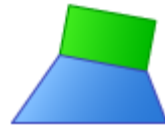
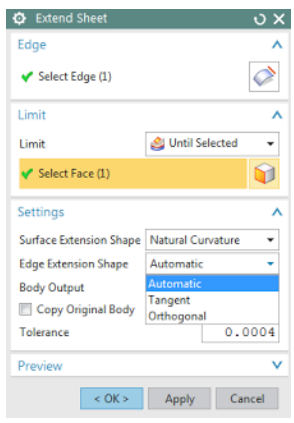
iii. Mirrored



επεκτείνει μια B-surface με μικρή επιφάνεια η οποία έχει συνεχής καμπυλότητα στο όριο και έπειτα κάθετη στην επιφάνεια.	Επεκτείνει μια b-surface από το όριο.	Επεκτείνει μια B-surface αντικατοπτρίζοντας το συνεχές σχήμα καμπυλότητας της επιφάνειας.
---	---------------------------------------	---




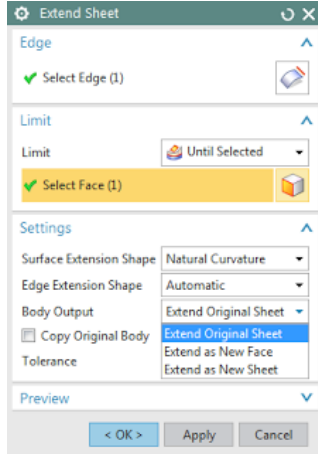
Σχήμα 2.31: Καμπυλότητα επέκτασης επιφάνειας

b. Edge Extension Shape

<p>i. Automatic</p>  <p>Επεκτείνει τα παρακείμενα όρια σύμφωνα με το προεπιλεγμένο σύστημα</p>	<p>ii. Tangent</p>  <p>Επεκτείνει τα γειτονικά εφαιπτόμενα όριο ακολουθθεί το σχήμα</p>	<p>iii. Orthogonal</p>  <p>Εκτείνει γειτονικά όρια ορθογώνια προς τα άκρα που επεκτείνονται</p>	
---	--	---	---

Σχήμα 2.32: Καμπυλότητα επέκτασης άκρου

c. Body output

<p>i. extend original sheet</p>  <p>Επεκτείνει την αρχική επιφάνεια</p>	<p>ii. Extend as New Face</p>  <p>Δημιουργεί νέα επιφάνεια με βάση την αρχική χωρίς να ομαδοποιήσει τις</p>	<p>iii. Extend as New Sheet</p>  <p>Δημιουργεί νέο σώμα φύλλου, ξεχωριστό από το αρχικό.</p>	
--	--	---	---

Σχήμα 2.33: Παραγωγή σώματος (Extend Sheet)

2.7.3 Δημιουργία φτερών

Επόμενο μέρος ήταν να φτιαχτούν τα φτερά της πτερωτής. Στο Σχήμα 2.34 έγινε η καλύτερη προσπάθεια σύλληψης σημείων στις κόκκινες κουκίδες. Μετρήθηκαν περίπου 6-8 σημεία σε κάθε ακμή του φτερού. Τα σημεία ήταν ίσα σε αριθμό σε κάθε πλευρά του πτερυγίου και σε ίσες περίπου αποστάσεις μεταξύ τους.

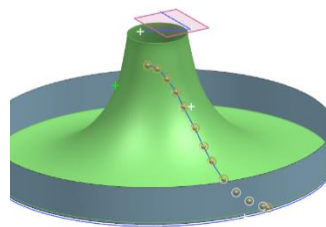


Σχήμα 2.34: Φτερό πτερωτής με εικονικά σημεία όπου συλλέχθηκαν σημεία

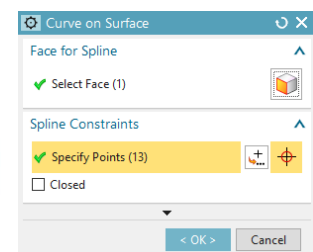
Αφότου έγινε η εξαγωγή της πρώτης ομάδας σημείων για τη δημιουργία των φτερών, εφαρμόστηκε η εντολή *curve on surface* η οποία δημιουργεί μια τυχαία καμπύλη πάνω σε μια επιφάνεια όπου καμία από τις δυο παραμέτρους u , v δεν παραμένει σταθερή. Στις ισοπαραμετρικές καμπύλες, η μια από τις δυο μεταβλητές είναι σταθερή και η άλλη μεταβάλλεται με πεδίο ορισμού $(0,1)$. Στις τυχαίες καμπύλες χρησιμοποιείται μια νέα μεταβλητή t , και η καμπύλη της ορίζεται ως $C(u(t),v(t))$, όπου οι αρχικές παράμετροι u , v εκφράζονται ως προς t , $u = u(t)$ και $v = v(t)$.

Τα σημεία τα οποία μετρήθηκαν στη CMM ήταν σημεία πάνω στο φτερό και σε μια πολύ μικρή απόσταση από την πλήμνη. Αυτό έγινε διότι έπρεπε να καταγραφεί η πορεία του φτερού στον χώρο και επίσης να απέχει μικρή απόσταση από το κεντρικό σώμα ώστε να μπορούν τα σημεία να προβληθούν πάνω στην πλήμνη.

Στο Σχήμα 2.26 φαίνεται το περιβάλλον της εντολής *curve on surface* όπου έχει επιλεγθεί η επιφάνεια της πλήμνης (με πράσινο χρώμα στο Σχήμα 2.35) και τα 13 σημεία (*Specify points (13)*) τα οποία είναι αποτέλεσμα μετρήσεων από τη CMM.

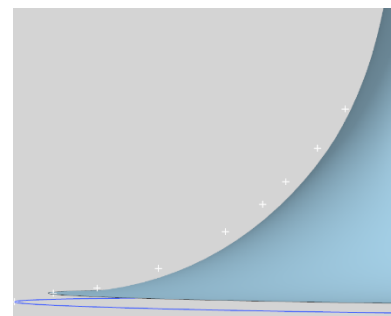


Σχήμα 2.35: Αποτέλεσμα *Curve on Surface* μετά την επιλογή σημείων



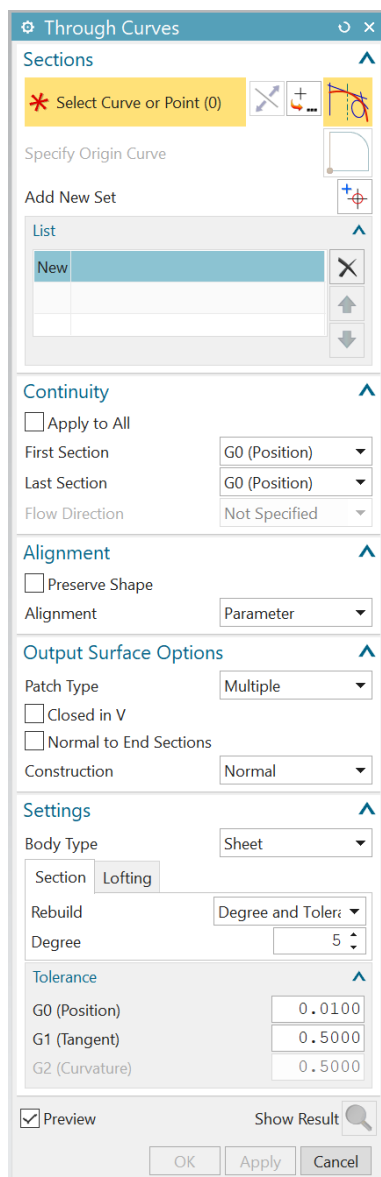
Σχήμα 2.36: Περιβάλλον *Curve on Surface*

Στο Σχήμα 2.37 φαίνονται τα σημεία με άσπρους σταυρούς τα οποία απέχουν από την πλήμνη μικρή απόσταση, επιλέγοντας τα με την εντολή *curve on surface* έγινε η προσαρμογή τους πάνω στο face (την πλήμνη) κάθετα.



Σχήμα 2.37: Απεικόνιση σημείων με άσπρους σταυρούς

Εντολή Through Curves



Σχήμα 2.38: Περιβάλλον Through Curves

Με την εντολή Through Curves (Σχήμα 2.38) δημιουργείται μια επιφάνεια από μια σειρά καμπυλών (sections) στο χώρο. Οι καμπύλες επιλέγονται στο τμήμα Sections.

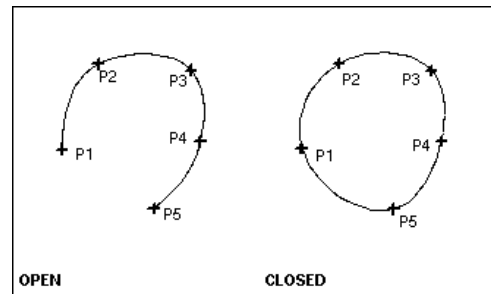
Με την επιλογή Continuity μπορεί να δοθεί η επιθυμητή συνέχεια (G0, G1 ή G2) με άλλα σώματα στην αρχική και τελική καμπύλη της επιφάνειας. Στην περίπτωση της πτερωτής δεν υπήρχε αυτή η επιλογή.

Η επιλογή Alignment ορίζει τον τρόπο «αντιστοίχισης σημείων» πάνω στις 2 καμπύλες. Επιλέχθηκε Parameter όπου αντιστοιχεί σημεία με την ίδια τιμή της παραμέτρου ορισμού u των καμπυλών.

Στην επιλογή Output Surface Options επιλέχθηκε Multiple που αντιστοιχεί σε επιφάνεια B-Spline.

Στην επιλογή Settings ορίζονται οι διατομές (κατεύθυνση u της επιφάνειας) να προσαρμοσθεί η επιφάνεια στο βαθμό των καμπυλών που δημιουργήθηκαν, 5^{ου} βαθμού επιφάνεια, ενώ ως προς την κατεύθυνση lofting (v), έμεινε default βαθμός (3^{ου} βαθμού επιφάνεια ως προς v). Η ακρίβεια των υπολογισμών (Tolerance) δεν άλλαξε.

Γενικά, οι splines είναι ανοιχτές – αρχίζουν από ένα σημείο και καταλήγουν σε κάποιο άλλο. Κλειστές καμπύλες, αρχίζουν και τελειώνουν από το ίδιο σημείο, μπορεί να δημιουργηθεί επιλέγοντας Closed Curve option. Αυτή η επιλογή είναι διαθέσιμη μόνο για πολλαπλά τμήματα splines

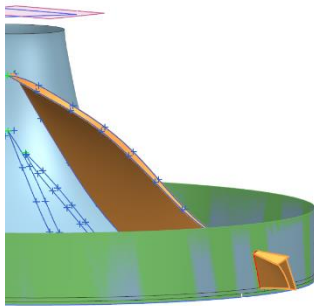


Σχήμα 2.39: Ανοιχτή και κλειστή spline

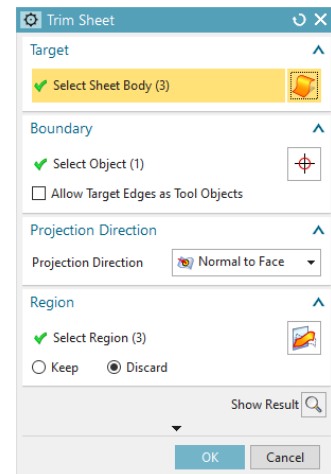
Σημείωση: Όταν δημιουργεί ο χρήστης κλειστή spline, δεν χρειάζεται να ορίσει το πρώτο και το τελευταίο σημείο – η καμπύλη κλείνει μόνη της.

2.7.4 Στεγανοποίηση φτερών με τη βοήθεια extend sheet

Κατά τη διάρκεια επέκτασης επιφανειών, όπως για παράδειγμα στα φτερά της πτερωτής, βρέθηκαν μερικά κενά όπου δεν τέμνονταν οι επιφάνειες. Για τον λόγο αυτό επεκτάθηκαν με την εντολή extend sheet και στη συνέχεια έγιναν trim τα περιττά κομμάτια που δεν χρειαζόνταν. Συνεπώς στο Siemens NX, η εντολή trim sheet χρησιμοποιείται για να κόβει κομμάτι από το σώμα ή επιφάνεια χρησιμοποιώντας καμπύλες, επιφάνειες ή από ένα επίπεδο.



Επιλέχτηκαν οι 3 επιφάνειες που περιβάλλουν τον φτερό σαν **target** ώστε να γίνει η περικοπή τους. Σαν όριο (boundary) επιλέχτηκε το κυκλικό κομμάτι πράσινου χρώματος του Σχήματος 2.40. Συνεπώς το αποτέλεσμα ήταν η διαγραφή του περισσίου κομματιού κίτρινου χρώματος από το φτερό.

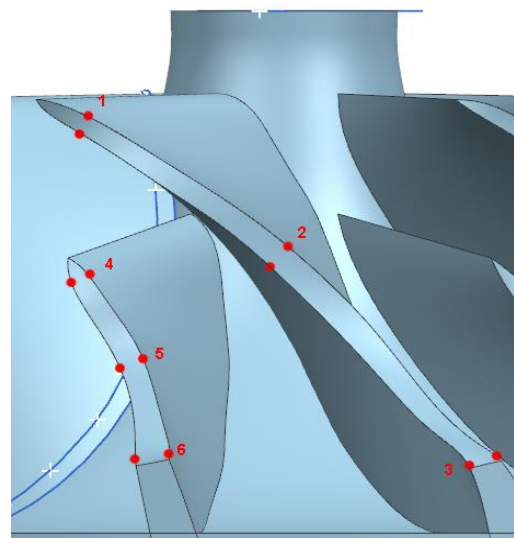


Σχήμα 2.40: Απεικόνιση boundary και επιφάνειας που θα κοπεί

Σχήμα 2.41: Περιβάλλον Trim Sheet

2.7.5 Σφάλματα κατά τη διάρκεια ψηφιοποίησης

Με μια manual CMM είναι δύσκολο να επιτευχθούν τέτοιου είδους μετρήσεων σωστά και με υψηλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα. Ο λόγος είναι γιατί χειρίζεται με το χέρι η κεφαλή και κατ' επέκταση η ακίδα και γεωμετρίες όπως είναι τα φτερά μιας πτερωτής είναι δύσκολο να γίνει με απόλυτη ακρίβεια. Επειδή όμως ήταν το μόνο μέσο το οποίο ήταν διαθέσιμο, έγιναν οι μετρήσεις όπως αναφέρθηκε και στις προηγούμενες υποενότητες. Για τη σύλληψη σημείων εσωτερικά του φτερού αλλά και εξωτερικά, επειδή ο χώρος εισαγωγής της ακίδας ήταν περιορισμένος, χρησιμοποιήθηκαν επεκτάσεις αλλά και αλλάχτηκαν αρκετές γωνίες της κεφαλής κατά τη διάρκεια της συλλογής σημείων. Χρησιμοποιήθηκαν γωνίες οι οποίες δίνουν σφάλματα στις μετρήσεις οπότε και στη τοποθέτηση των σημείων στον χώρο. Το αρχικό στάδιο και πάχος των φτερών ήταν μεγαλύτερο από το επιθυμητό και είχε αυτή τη μορφή.



Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.42 οι διατομές των φτερών έχουν μεγάλη τιμή σε σχέση με την πραγματικότητα. Οι τιμές οι οποίες προσεγγίζουν τις πραγματικές μετρήθηκαν ξεχωριστά σε 3 ζευγάρια στο κάθε φτερό κατά μήκος της εξωτερικής διατομής

Σχήμα 2.42: Απεικόνιση σημείων για μείωση πάχους φτερών

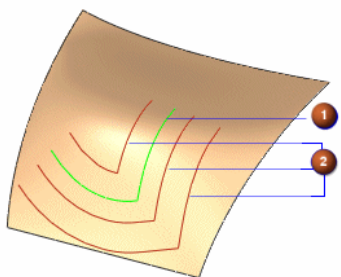
τους και στη συνέχεια έγιναν διαδοχικές ώστε να "λεππύνουν" τα φτερά. Το κάθε ζευγάρι κουκίδων στο Σχήμα 2.42 αντιπροσωπεύει την απόσταση στο Σχήμα 2.43 έτσι όπως θα πρέπει να ήταν στην πραγματικότητα τα πάχη των διατομών.

L.No	Mem. No	Job	Des. Nominal	Tolerance	Actual	Dev.	Oversize
43	1	Distance Distance ZX	-	-	0.533	-	-
45	2	Distance Distance ZX	-	-	1.320	-	-
47	3	Distance Distance ZX	-	-	1.196	-	-
49	4	Distance Distance ZX	-	-	0.744	-	-
51	5	Distance Distance ZX	-	-	0.965	-	-
53	6	Distance Distance ZX	-	-	0.964	-	-

Σχήμα 2.43: Προσεγγιστικές τιμές που αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές τιμές της φτερωτής στα ζευγάρια των σημείων στο Σχήμα 2.42

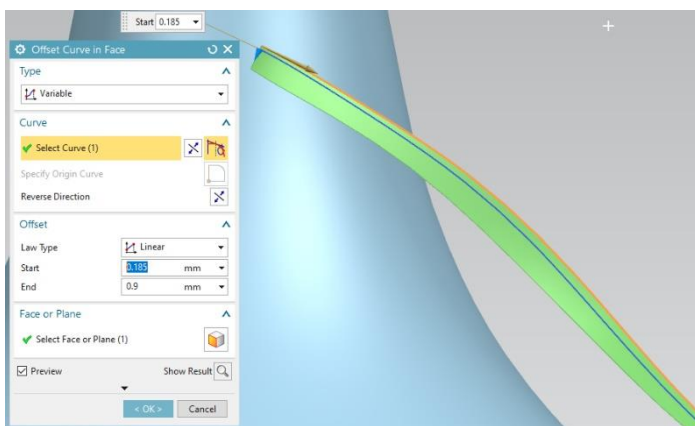
2.7.6 Μείωση φτερών

Για να γίνει το ξεκίνημα της διαδικασίας μείωσης των διατομών χρειάστηκε η εντολή offset curve in surface. Χρησιμοποιείται αυτή η εντολή για να δημιουργηθούν καμπύλες μετατόπισης σε μια ή περισσότερες όψεις από συνδεδεμένες γωνίες ή καμπύλες στις επιφάνειες. Οι καμπύλες μετατόπισης μπορεί να είναι συσχετιστικές ή μη συσχετιζόμενες, και βρίσκονται σε καθορισμένη απόσταση από μια υπάρχουσα καμπύλη ή ακμή.



- 1) Καμπύλη που επιλέχτηκε για μετατόπιση πάνω στην επιφάνεια
- 2) Αποτέλεσμα εντολής offset curve in surface πολλαπλών καμπυλών με διαφορετικές τιμές η κάθε μια.

Σχήμα 2.44: Παράδειγμα Offset curve in surface



Στο Σχήμα 2.45 φαίνεται το περιβάλλον της εντολής offset curve in face και δεξιά το αποτέλεσμα της. Η πράσινη επιφάνεια που έχει επιλεχθεί είναι η επιφάνεια όπου εδράζεται η καμπύλη. Επιλέχτηκε η γραμμική μετατόπιση της καμπύλης και οι τιμές είναι αποτέλεσμα του πηλίκου της τιμής του ψηφιακού φτερού (με πιθανά σφάλματα) προς την πραγματική τιμή του φτερού που μετρήθηκε ξεχωριστά.

Σχήμα 2.45: Περιβάλλον Offset Curve in Face Siemens NX

προσέγγιση πραγματικής τιμής φτερωτής (Σχήμα 2.42)

*$2 * \text{τιμή διατομής ψηφιακής μορφής φτερωτής (αποτέλεσμα επιλεγμένων σημείων)}$*

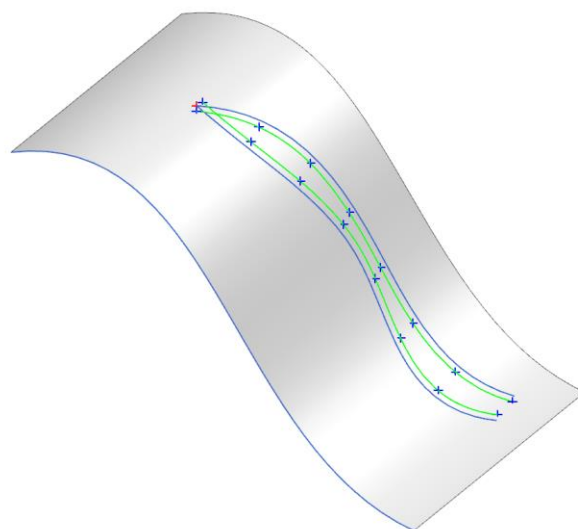
Εξίσωση προσέγγισης μείωσης φτερών

Συνεπώς χρησιμοποιήθηκαν αυτές οι τιμές για να φτάσει όσο πιο κοντά γίνεται η νέα καμπύλη το επιθυμητό πάχος. Οι μειώσεις έγιναν ομοίως και στη διπλανή διατομή του φτερού ώστε να παραμείνει η κεντρική γραμμή κοινή με την αρχική και να μην υπάρχουν μετατοπίσεις. Με λίγα λόγια έγινε συμπίεση των φτερών και από τις δυο του μεριές. Αυτό εξηγεί η Εξίσωση 1 διαιρώντας επίσης με το 2, για τον λόγο για τον οποίο έγιναν ίδιες μειώσεις και από τις δυο πλευρές.

Εφαρμογή με εντολή set of points

Στο παράδειγμα του Σχήματος 2.46 φαίνεται:

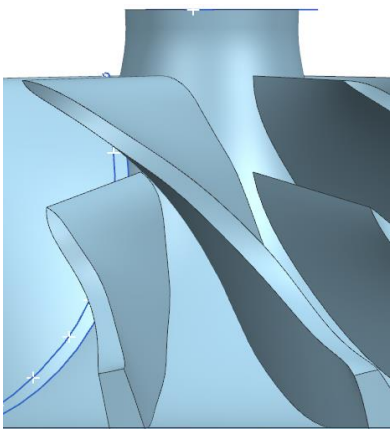
- Με γκρι χρώμα η επιφάνεια που προβάλλονται οι καμπύλες
- Με μπλε χρώμα είναι οι καμπύλες που είναι το αποτέλεσμα της αρχικής μορφής του φτερού πριν γίνουν οι μειώσεις
- Με πράσινο είναι οι νέες καμπύλες, αποτέλεσμα της εντολής offset curve in face
- Ο κόκκινος σταυρός απεικονίζει την κορυφή (μύτη) του φτερού της πτερωτής
- Οι μπλε σταυροί είναι αποτέλεσμα της εντολής set of points των καμπύλων με πράσινο χρώμα



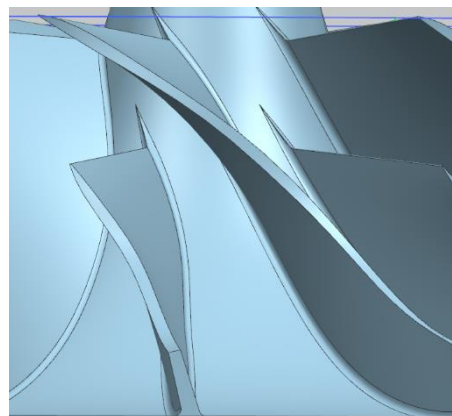
Σχήμα 2.46: Εφαρμογή εντολής Set of Points

Συνεπώς με τα παραπάνω δεδομένα, φτιάχνεται ξανά το φτερό από την αρχή χρησιμοποιώντας τώρα τους μπλε σταυρούς και τον κόκκινο για τη δημιουργία νέων καμπυλών spline.

Η διαδικασία αυτή έγινε τέσσερις φορές. Δυο φορές για το κάθε φτερό στη περιοχή την πλήμνης και στο τέλος της περιοχής του φτερού. Το αποτέλεσμα ήταν ικανοποιητικό.



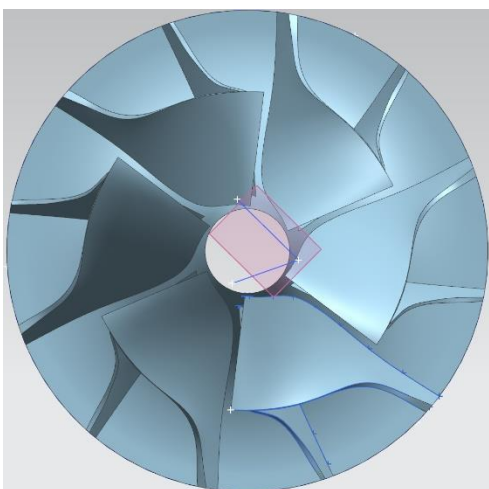
Σχήμα 2.47: Πριν την μείωση του πάχους



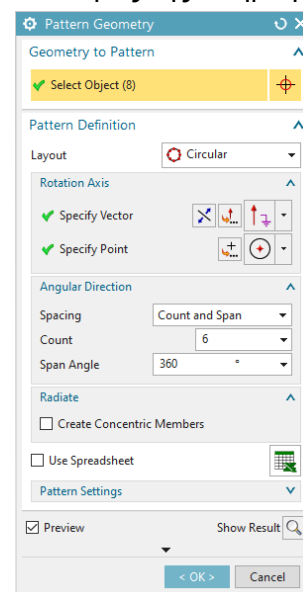
Σχήμα 2.48: Μετά την μείωση του πάχους

2.7.7 Τελικό στάδιο

Καθώς υπήρχαν τα δυο φτερά πάνω στο σώμα και το μόνο που έλλειπε ήταν μια γεωμετρική περιστροφή 6 κομματιών γύρω από κέντρο ώστε να δημιουργηθούν όλα. Η περιστροφή ήταν κυκλική (layout: circular), άξονας περιστροφή κάθετος στον κύκλο και specify point το κέντρο του κύκλου. Στις σειρά επιλογών Angular Direction, έγιναν οι εξής επιλογές: Spacing: Count and Span, διότι είναι γνωστός τον αριθμό των φτερών που έχει η πτερωτή (6 μικρά φτερά και 6 μεγάλα) και τις μοίρες που πρέπει να περιστραφεί για να καλύψει όλο το εύρος της πλήμνης (span angle 360°).

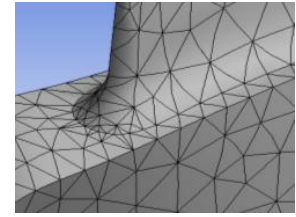


Σχήμα 2.49: Αποτέλεσμα Pattern geometry



Σχήμα 2.50: Περιβάλλον Pattern Geometry

Αφού δημιουργήθηκαν τα 6 ζευγάρια φτερών και ενώθηκαν με το κύριο σώμα, δημιουργήθηκαν τα φιλέτα στην μεριά της ένωσης του φτερού με την πλήμνη. Τα φιλέτα χρησιμοποιούνται σε αρκετές κατασκευές και έχουν μελετηθεί αρκετά για την αεροδυναμική απόδοση. Εννοείται για μια μετατροπή κωνικής περιοχής σε κυκλική, με διάφορες τιμές ακτίνας αναλόγως με την αεροδυναμική απόδοση που επιθυμεί ο κατασκευαστής και την κατάσταση ροής.



Σχήμα 2.51: Δημιουργία fillet σε φτερό

Τέλος έκλεισαν οι κυκλικές περιοχές και έγινε η ένωση του πάνω και του κάτω και στο τελευταίο στάδιο πριν την παράδοση ήταν η στερεοποίηση του. Το ψηφιακό μοντέλο θα χρησιμοποιηθεί σε μεταπτυχιακή εργασία ενός φοιτητή για τη μέτρηση ροής του αέρα. Το εργαστήριο μικροκοπής και κατασκευαστικής προσομοίωσης (m3) κλήθηκε να ψηφιοποιήσει την πτερωτή με τη χρήση της μηχανής μέτρησης συντεταγμένων CMM M574 γιατί δεν υπήρχαν έτοιμα σχέδια από την κατασκευαστική εταιρία.

3. Εφαρμογή ποιοτικού ελέγχου

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναπτυχθεί μια σειρά ενεργειών, στρατηγικών μεθόδων που σχετίζονται με τη γενική διαδικασία ολοκλήρωσης μιας επιθεώρησης με τη βοήθεια μιας μετρητικής μηχανής.

Οι ενέργειες που μπορεί να ακολουθήσει ο χρήστης είναι οι εξής:

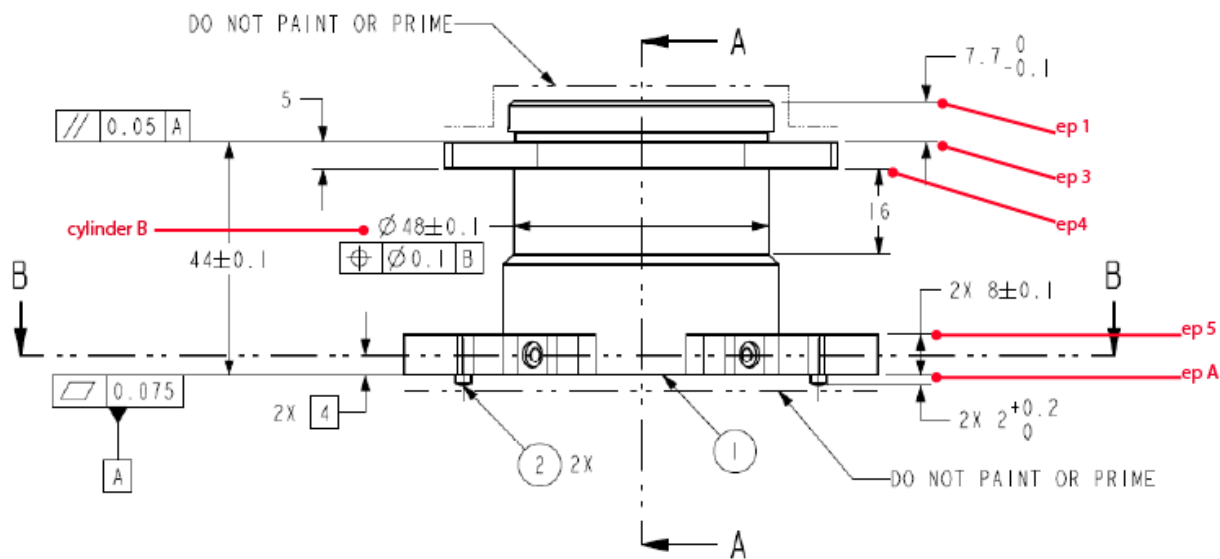
1. Επιλογή γεωμετριών που θα μετρηθούν.
2. Διακρίβωση σημείων, αξόνων και επιφανιών αναφοράς που θα χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση ευθυγράμμισης του αντικειμένου στο σύστημα συντεταγμένων.
3. Επιλογή τρόπου συγκράτησης αντικειμένου.
4. Διακρίβωση και σωστή επιλογή διαμέτρου ακίδας και σωστή τοποθέτησης γωνιών στην κεφαλή για τη μέτρηση.
5. Στρατηγική μέτρηση γεωμετριών.
6. Προσανατολισμός του κομματιού.

3.1 Επιλογή γεωμετριών που θα μετρηθούν

Γενικά, στον ποιοτικό έλεγχο, μετά από μια κατασκευή ενός εξαρτήματος θα πρέπει να εξακριβωθούν κάποιες γεωμετρίες για να σιγουρευτούν ότι έχουν κατασκευαστεί σωστά. Μερικές φορές υπάρχουν μερικά χαρακτηριστικά που δεν μπορούν να μετρηθούν με μια μηχανή CMM διότι υπάρχουν προβλήματα προσβασιμότητας, όπως για παράδειγμα μικρά τόξα όπου ζητούνται να βρεθούν οι ακτίνες, για τον λόγο αυτόν καλύτερο και πιο αποδοτικό είναι να μετρηθούν από άλλα όργανα. Θα πρέπει να γίνει η λήψη και καταγραφή των απαραίτητων επιφανειών που θα μετρηθούν από τον χρήστη προκειμένου να αποδείξει την ακρίβεια του τεμαχίου εργασίας. Οι πληροφορίες αυτές παρέχονται από το μηχανολογικό σχέδιο του εξαρτήματος ή το PMI.

Είναι σημαντικό όταν διαβάζει κάποιος στο μηχανολογικό σχέδιο τις διαστάσεις ενός αντικειμένου το οποίο πρόκειται να γίνει προς επεξεργασία επιθεώρησης, να κρατάει σημειώσεις πάνω στο ήδη υπάρχων σχέδιο ώστε να μπορεί να αποθηκεύσει στη μνήμη του υπολογιστή τα επίπεδα, τους κύκλους, τις κυλινδρικές επιφάνειες με κάποιο συγκεκριμένο όνομα ώστε στη συνέχεια να γνωρίζει ποια θα πρέπει να συγκρίνει. Στο Σχήμα 3.1 φαίνεται μια όψη μηχανολογικού σχεδίου από το εξάρτημα το οποία μετρήθηκε στο εργαστήριο με τη βοήθεια μια μηχανής CMM. Αρχικά έγινε μια ομαδοποίηση των όψεων ώστε να μην χρειαστεί να γίνουν όλα στο ίδιο αρχείο μέτρησης. Μιας και ο χειριστής μπορεί να αποθηκεύσει το σύστημα ευθυγράμμισης που έχει δημιουργήσει και χωρίς να μετακινήσει το αντικείμενο από το τραπέζι εργασίας, μπορούν να χωριστούν οι μετρήσεις σε διαφορετικά κεφάλαια.

Για να μετρηθεί η απόσταση $7.7 \pm 0,1$, θα πρέπει να υπολογιστούν 2 επίπεδα $ep1$ και $ep3$. Τα επίπεδα δημιουργούνται εισάγοντας την απαραίτητη εντολή στο πρόγραμμα και συνεχίζοντας με τη λήψη των σημείων (3 και πάνω) ώστε να φτιαχτεί ένα επίπεδο. Έπειτα υπολογίζεται η απόσταση βάζοντας σαν μεταβλητές μέσα στο πρόγραμμα τα επίπεδα $ep1$ και $ep3$. Σε περίπτωση που υπάρχει ένα αρκετά πολύπλοκο αντικείμενο με πολλά δεδομένα, για διευκόλυνση του χειριστή πρέπει να γίνεται η απαραίτητη αποθήκευση ονόματος και στο χαρτί αλλά και στη μνήμη του υπολογιστή γιατί μπορεί ένα από αυτά τα χαρακτηριστικά να χρειαστεί και σε άλλη μέτρηση.



Σχήμα 3.1: Όψη μηχανολογικού σχεδίου με βοηθητικές σημειώσεις για την αποθήκευση γεωμετριών στη μνήμη της μηχανής CMM και προβολής επιφάνειας αναφοράς A

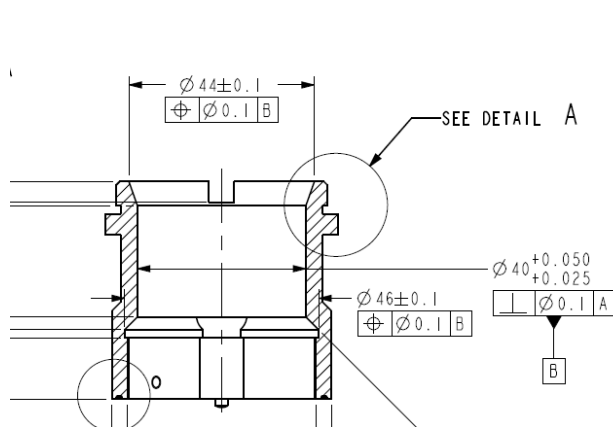
3.2 Διακρίβωση συστήματος αναφοράς

Τα συστήματα αναφοράς είναι συνήθως μια δυνατότητα εντοπισμού ή τοποθέτησης του δοκιμίου που χρησιμοποιείται για μέτρηση. Ένα σύστημα αναφοράς είναι επίσης η αφετηρία από την οποία καθορίζονται η θέση και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός αντικειμένου. Η σημασία τους είναι πολύ χρήσιμη ειδικά σε περίπτωση ένωσης εξαρτημάτων (assembly), αντιπροσωπεύουν ένα πραγματικό χαρακτηριστικό πάνω στο εξάρτημα όπως το κέντρο ενός κυλίνδρου, μια επιφάνεια, ένας άξονας. Κατανοώντας τα συστήματα αναφοράς τότε μπορούν να αποφευχθούν αρκετά σφάλματα.

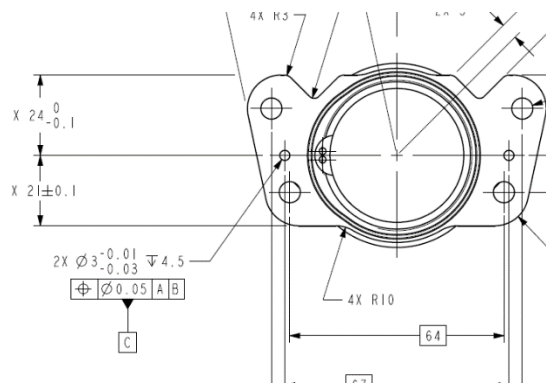
Τα συστήματα μπορούν να προσδιοριστούν από το μηχανολογικό σχέδιο ή το 3D μοντέλο CAD. Από τα χαρακτηριστικά αυτά που τα έχει ορίσει ο σχεδιαστής, μπορεί κάποιος που θα παραλάβει το εξάρτημα προς επιθεώρηση να κατανοήσει για το τι είδους χαρακτηριστικό αναφοράς είναι το καθένα. Αποτελούνται από ένα τρίγωνο το οποίο ξεκινάει από το χαρακτηριστικό και καταλήγουν σε ένα τετράγωνο όπου εσωτερικά περιέχουν κάποιο κεφάλαιο γράμμα. Η γεωμετρία που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών αναφοράς σε γεωμετρική ανοχή έχει ως εξής:

1. Primary datum – ορίζει ένα χαρακτηριστικό ή χαρακτηριστικά όπου αναφέρονται στην οριζοντίωση του εξαρτήματος. Συνήθως χρησιμοποιείται ένα επίπεδο, μια επιφάνεια ή ένας άξονας.
2. Secondary datum – ορίζει ένα χαρακτηριστικό ή χαρακτηριστικά όπου αναφέρονται στην περιστροφή του εξαρτήματος σε σχέση με το primary datum.
3. Tertiary datum – ορίζει ένα χαρακτηριστικό ή χαρακτηριστικά όπου αναφέρονται στην ολοκλήρωση του συστήματος συντεταγμένων σε σχέση με το primary και το secondary.

Στο Σχήμα 3.1 αναγράφεται το επίπεδο A (primary datum) στην πρόσοψη του εξαρτήματος ως η κάτω επιφάνεια (εφ Α), στο Σχήμα 3.2 σαν άξονας αναφοράς (secondary datum) είναι ο άξονας του κυλίνδρου με διάμετρο $40^{+0.050}_{-0.025}$ και στο Σχήμα 3.3 είναι ο άξονας ή το κέντρο της εσοχής (tertiary datum) με διάμετρο $3^{-0.01}_{-0.03}$.



Σχήμα 3.2: Όψη μηχανολογικού σχεδίου τεμαχίου 1 όπου απεικονίζεται ο άξονας αναφοράς B



Σχήμα 3.3: Όψη μηχανολογικού σχεδίου τεμαχίου 1 όπου απεικονίζεται ο άξονας αναφοράς C

3.3 Επιλογή τρόπου συγκράτησης αντικειμένου

Δύναμη μέτρησης

Όταν επιλέγεται μια μέθοδος συγκράτησης, ο χρήστης πρέπει να γνωρίζει τη δύναμη με την οποία έρχεται σε επαφή η ακίδα της CMM με το εξάρτημα. Η δύναμη αυτή έχει να κάνει με το είδος της μηχανής, αν είναι αυτοματοποιημένη ή χειροκίνητη. Σε μια χειροκίνητη μηχανή, όπως αυτή του εργαστήριου, λαμβάνεται και σαν παράμετρος κάποια απότομη κίνηση που μπορεί να οδηγήσει σε μετακίνηση του εξαρτήματος.

Βαριά αντικείμενα

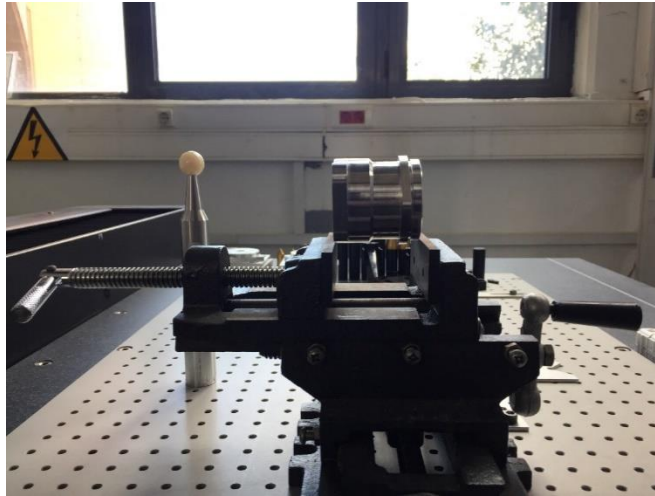
Αν το εξάρτημα είναι αρκετά βαρύ, τότε μπορεί να τοποθετηθεί στο τραπέζι εργασίας με κανένα βοηθητικό τρόπο συγκράτησης. Ωστόσο λαμβάνεται υπόψη ότι τα βαριά φορτία ενδέχεται να παραμορφώσουν τη γεωμετρία του μηχανήματος.

Ελαφριά αντικείμενα

Για μικρά αντικείμενα χρησιμοποιείται πλαστελίνη, ειδικός πηλός ή ειδικό κερί συγκράτησης, αλλά ο χειριστής πρέπει να εξασφαλίσει ότι τα ίχνη που αφήνουν αυτού του είδους κολλητικά υλικά, πρέπει να απομακρυνθούν πλήρως με απαραίτητη ασφάλεια χωρίς να προκαλέσουν κάποια ζημιά. Σε μερικές περιπτώσεις θα πρέπει να στερεωθεί μηχανικά ένα αντικείμενο πάνω στο τραπέζι εργασίας της CMM. Ο χειριστής θα πρέπει να γνωρίζει ότι οι δυνάμεις σύσφιξης θα μπορούσαν να προσκαλέσουν κάποιους είδους παραμόρφωσης στο αντικείμενο και να αποκλίνει από το πραγματικό του σχήμα.

Εξωτερικό εξάρτημα συγκράτησης

Για την υλοποίηση του ποιοτικού ελέγχου του εξαρτήματος χρησιμοποιήθηκε, μια μέγγενη βαριάς κατασκευής όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.4 για τη συγκράτηση του εξαρτήματος. Το εργαστήριο διαθέτει μεγάλη ποικιλία εξαρτημάτων συγκράτησης, τα οποία μπορούν να βιδώσουν πάνω σε μια πλάκα και μπορούν να διασφαλίσουν αν όχι όλες, τότε τις περισσότερες μορφές αντικειμένων για μια πλήρη επιθεώρηση.



Σχήμα 3.4: Συγκράτηση τεμαχίου 1 με μέγγενη, πάνω στο τραπέζι εργασίας CMM

3.4 Επιλογή ακίδας και γωνιών κεφαλής



Σχήμα 3.5: Τοποθετημένη masterball στο τραπέζι εργασίας για καλυμπράρισμα ακίδας

Αφότου έχει τοποθετηθεί το αντικείμενο πάνω στο τραπέζι εργασίας, μένει η εξακρίβωση των γωνιών που θα πρέπει να λάβει η κεφαλή της μηχανής που κρατάει την ακίδα μέτρησης και η σωστή διάμετρος για κάθε γεωμετρία. Στο εργαστήριο, η CMM είναι manual και μπορεί ο χειριστής εκτός λειτουργίας συλλογής σημείων, να κινήσει ελεύθερα την κεφαλή ως προς τους 3 άξονες και να καταγράψει τις γωνίες που θα χρησιμοποιήσει. Αφού καταγραφούν αυτές και

είναι έτοιμος να ξεκινήσει πρέπει να γίνει η εξακρίβωση τους στον χώρο. Υπάρχει μια σφαίρα (masterball) όπως παρατηρείται στο Σχήμα 3.5, η οποία έχει μια ορισμένη διάμετρο δοσμένη από τον κατασκευαστή και η οποία είναι αποθηκευμένη στη μνήμη του προγράμματος στον υπολογιστή. Είναι πολύ σημαντικό να διατηρείται καθαρό το άκρο της ακίδας καθώς και την επιφάνεια της σφαίρας masterball. Κατά τη διάρκεια της πρόσκρουσης, η ακίδα ανιχνεύει σημεία και έτσι εξακριβώνει τη διάμετρο της. Η προσεκτική πιστοποίηση της ακίδας θα βελτιώσει την ακρίβεια των μετρήσεων, όπως χαρακτηριστικά του μεγέθους. Αυξάνοντας τον αριθμό των σημείων γύρω από τη σφαίρα τότε η προκύπτουσα διάμετρος του άκρου θα είναι πιο ακριβής.



Στο Σχήμα 3.6 φαίνεται μια κεφαλή CMM. Οι γωνίες που μπορεί να πάρει η CMM M574 στο εργαστήριο είναι B 0° – ±180° με βήμα 15° και για γωνία A 0° – 90° με βήμα 15°. Αυτές οι γωνίες ρυθμίζονται χειροκίνητα και κατά την διάρκεια μετρήσεων μπορεί να υπολογιστεί και να καλιμπραριστεί νέο ζευγάρι γωνιών και νέα διάμετρος ακίδας.

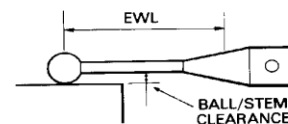
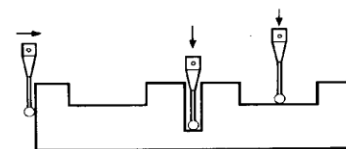
Σχήμα 3.6: Περιστρεφόμενη κεφαλή ως προς A και B άξονες

Σωστή επιλογή ακίδας



Σχήμα 3.7: Διαθέσιμες ακίδες εργαστηρίου

Η άκρη τη γραφίδας πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη. Αυτή η στρατηγική μειώνει την πιθανότητα εσφαλμένων σημείων που προκαλούνται από την ακίδα που έρχεται σε επαφή με το μετρούμενο τμήμα. Μια μεγαλύτερη μπάλα αυξάνει το μήκος της ακίδας και επιτρέπει μεγαλύτερη διάμετρο στελέχους, αυξάνοντας την ακαμψία της γραφίδας. Κάθε ακίδα έχει το δικό της EWL Σχήμα 3.8 το μέγεθος της προέκτασης όπου μπορεί να εισχωρήσει η γραφίδα σε μια εσοχή και να χτυπήσει πρώτα η σφαιρική επιφάνεια και όχι ο άξονας που την κρατάει.



Σχήμα 3.8: (EWL – Effective Working Length)

Για τη διαδικασία επιθεώρησης του τεμαχίου χρησιμοποιήθηκαν τα εξής μεγέθη και γωνίες ακίδας:

No.	Nominal (mm)	A	B
2	1	90	90
3	2	90	-90
4	2	0	0
5	1	90	-90
6	2	90	90
7	2	90	180

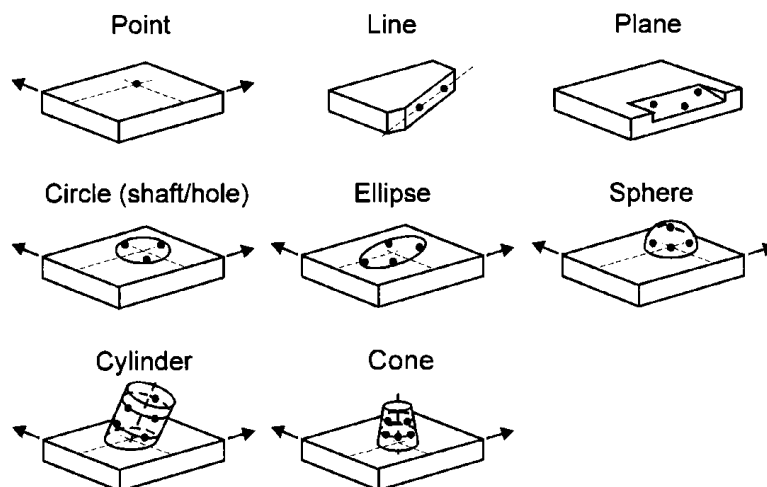
Σχήμα 3.9: Μεγέθη ακίδας και γωνίες κεφαλής που χρησιμοποιήθηκαν

3.5 Στρατηγική μέτρηση γεωμετριών

Ένα κατεργασμένο αντικείμενο έχει συνήθως ένα συνδυασμό τυπικών γεωμετρικών χαρακτηριστικών όπως ευθείες γραμμές, επίπεδα, κύκλοι, σφαίρες, κώνοι και κύλινδροι. Η γεωμετρία αυτές μπορούν να οριστούν μέσα από ένα σύνολο σημείων. Υπάρχει ένας μαθηματικός τύπος για κάθε διακριτή γεωμετρία και ορίζει έναν ελάχιστο αριθμό σημείων επαφής Σχήμα 3.10 που πρέπει να χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία του χαρακτηριστικού. Για παράδειγμα 2 σημεία ορίζουν μια ευθεία γραμμή, 3 σημεία έναν κύκλο. Ωστόσο, τα τρία σημεία δεν θα δώσουν αρκετές πληροφορίες για την ανοχή και το σφάλμα του κύκλου, για τον λόγο αυτό ο χειριστής επιλέγει να κάνει την επιθεώρηση αυτών των γεωμετρικών χαρακτηριστικών με περισσότερα σημεία επαφής. Τα σημεία δεν χρειάζεται να απέχουν μεταξύ του ίση απόσταση, αρκεί να καλύπτουν περιμετρικά το αντικείμενο ώστε να έχει μια ομοιόμορφη κάλυψη.

Μετά από μια συλλογή σημείων, αυτά επεξεργάζονται στο πρόγραμμα του υπολογιστή και αποκαλύπτουν τα χαρακτηριστικά της επιθεωρημένης γεωμετρίας. Για τη λήψη αξιόπιστων αποτελεσμάτων, ελέγχει ο χειριστής τις τιμές του μηχανολογικού σχεδίου και καταλήγει σε συμπεράσματα. Λίγα σημεία επαφής και σε μικρή περιφέρεια ενδέχεται να δώσουν μια αναξιόπιστη αναφορά.

Λαμβάνεται υπόψη από τον χειριστή ότι όσο πιο πολλά σημεία επαφής μετρήσει τόσο καλύτερο και αξιόπιστο θα είναι και το αποτέλεσμα της μέτρησης. Ωστόσο, όσο μεγαλύτερος ο αριθμός, τόσο μεγαλύτερος ο χρόνος επιθεώρησης ειδικά με τη χρήση χειροκίνητης μηχανή και επιπλέον αυξάνεται η κούραση του χειριστή σε δύσκολες γεωμετρίες (πχ εσοχές) και μπορεί να οδηγήσει σε επακόλουθα λάθη.



Σχήμα 3.10: Καθορισμός κοινών γεωμετρικών χαρακτηριστικών (Mitutoyo)

Αριθμός σημείων επαφής που απαιτείται		
Γεωμετρικό Χαρακτηριστικό	Ελάχιστα μαθηματικά σημεία	Προτεινόμενα ελάχιστα σημεία
Ευθεία γραμμή	2	5
Επίπεδο	3	9 (Περίπου 3 γραμμές από 3 σημεία)
Κύκλος	3	7
Σφαίρα	4	9 (Περίπου 3 κύκλοι από 3 σημεία σε τρία παράλληλα επίπεδα)
Κώνος	6	12 (Κύκλοι σε 4 παράλληλα επίπεδα για πληροφορίες σχετικά με την ευθυγραμμότητα) 15 (5 σημεία σε κάθε κύκλο για πληροφορίες σχετικά με την κυκλικότητα)
Έλλειψη	4	12
Κύλινδρος	5	12 (Κύκλοι σε 4 παράλληλα επίπεδα για πληροφορίες σχετικά με την ευθυγραμμότητα) 15 (5 σημεία γύρω από κάθε κύκλο για πληροφορίες σχετικά με την κυκλικότητα)

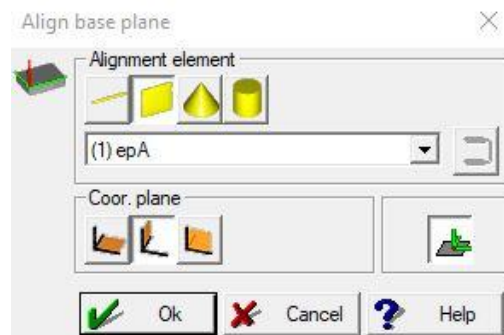
Σχήμα 3.11: Πίνακας από BS7172: 1989

3.6 Προσανατολισμός του κομματιού

Από την στιγμή που έχουν γίνει οι πιο πάνω απαραίτητες διαδικασίες, είναι η αρχή για να ξεκινήσει η διαδικασία λήψης σημείων. Αρχικό στάδιο είναι η ευθυγράμμιση του αντικείμενο πάνω στο τραπέζι εργασίας. Όσο παράλληλος και να φαίνεται ένας κύβος με τους άξονες ΧΥ στο τραπέζι εργασίας, πρέπει πάντα να γίνεται η ευθυγράμμιση του αντικειμένου στη μνήμη του υπολογιστή, και ας είναι εικονικά σε εμάς “στραβό”.

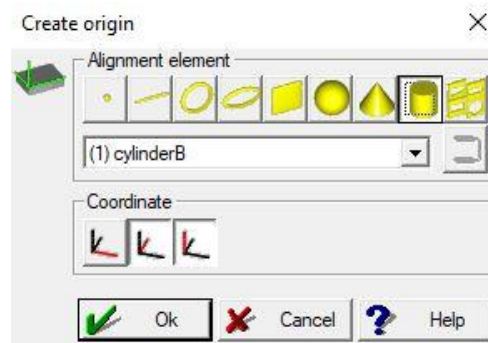
Το αντικείμενο τοποθετείται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να χειριστής να ορίσει τα συστήματα αναφοράς. Στο παρακάτω παράδειγμα της φαίνεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε.

Αφού έχει γίνει η απαραίτητη διαδικασία για τον ορισμό του επιπέδου αναφοράς A (ep A), μέσα από το πρόγραμμα ορίζεται σαν base plane (Align base plane) Σχήμα 3.12 ως προς το ζευγάρι αξόνων στο οποίο είναι τοποθετημένο το εξάρτημα (YZ, YZ ή ZX)

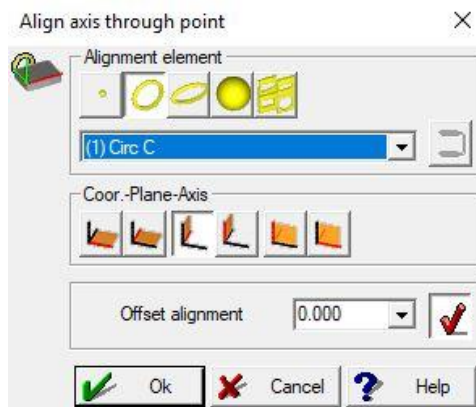


Σχήμα 3.12: Περιβάλλον Align base plane

Έπειτα γίνεται επιθεώρηση κυλίνδρου ώστε να βρεθεί ο άξονας αναφοράς ο οποίος θα είναι και αυτός σαν secondary datum. Με τη βοήθεια Create origin Σχήμα 3.13 εισάγεται το κέντρο του



Σχήμα 3.13: Περιβάλλον Create Origin



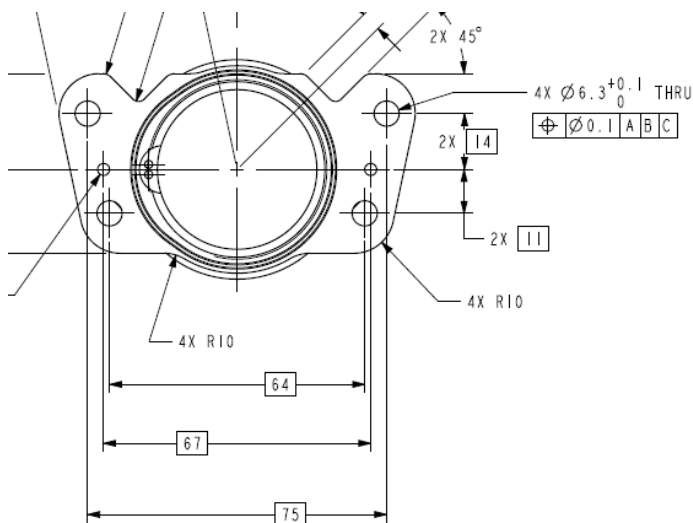
Σχήμα 3.14: Περιβάλλον Align axis through point

Τρίτο σύστημα αναφοράς είναι η εσοχή στο κάτω μέρος του εξαρτήματος. Συλλέγοντας τα απαραίτητα σημεία και ελέγχοντας την εγκυρότητα του με το μηχανολογικό σχέδιο ευθυγραμμίζεται το κέντρο του συστήματος αναφοράς B με τον άξονα του κύκλου C. Με την εντολή Align axis through point Σχήμα 3.14 πραγματοποιείται η ευθυγράμμιση

Καθώς γίνουν αυτές οι λειτουργίες μπορεί να αποθηκευτεί το σύστημα αναφοράς που μετρήθηκε και να γίνει επαναφόρτωση στο μέλλον, έχοντας πάντα το δοκίμιο ακούνητο καθ' όλη αυτή τη χρονική διάρκεια.

Εφαρμογή προσανατολισμού συστήματος συντεταγμένων

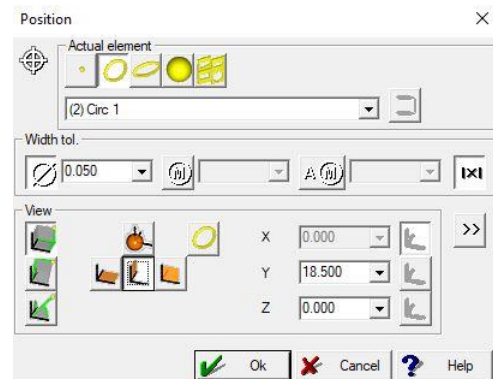
Σε αυτή την περίπτωση (Σχήμα 3.15), το δοκίμιο είναι ένα κυλινδρικό σώμα με προεξοχές



Σχήμα 3.15: Όψη μηχανολογικού σχεδίου τεμαχίου 1

οποία δίνεται 6.3mm και απόσταση κεντρικής γραμμής οπής προς το επίπεδο Z και Y οι οποίες είναι 14mm και 75/2 αντιστοίχα, μιας και το κέντρο αναφοράς είναι το κέντρο του κύριου κυλίνδρου).

περίεργης μορφής και κάποιες εσοχές, κυλινδρικής μορφής πάνω σε αυτές. Σε δισδιάσταση μέτρηση, οι συντεταγμένες των σημείων αφής προβάλλονται σε αυτή την περίπτωση στο επίπεδο ZY. Οι συντεταγμένες σημείου χρησιμοποιούνται στη συνέχεια από το λογισμικό για τον υπολογισμό των τριών άγνωστων (διάμετρο οπής, η

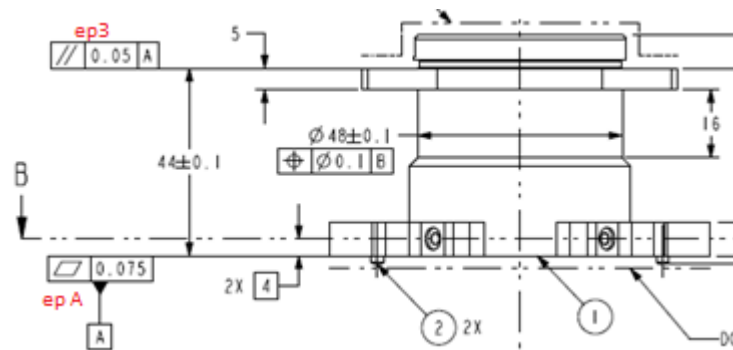


Σχήμα 3.16: Περιβάλλον Position

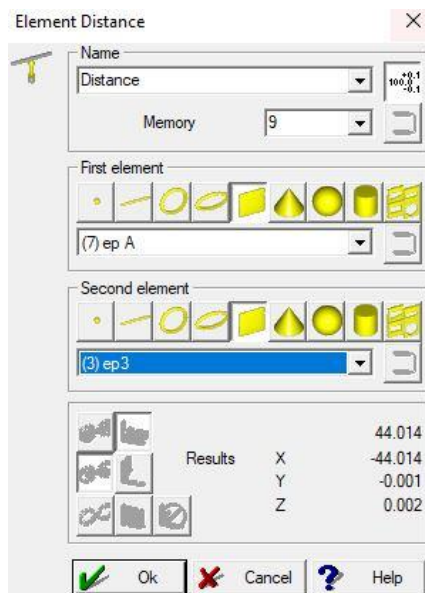
Στη συνέχεια ακολουθήθηκε το ίδιο μοτίβο για τις υπόλοιπες οπές ίδιας μορφής και διάστασης. Υπολογίστηκαν και τα υπόλοιπα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, χρησιμοποιώντας το ίδιο σύστημα αναφοράς που βρέθηκε στην αρχή. Η εργασία χωρίστηκε σε 3 report όπου στο πρώτο είναι η άνω όψη, στο δεύτερο report είναι η κάτωψη και στο τρίτο report είναι η πρόσοψη μαζί με τη τομή της.

Απόσταση ανάμεσα σε δυο επίπεδα

Στην ενότητα "Επιλογή γεωμετριών που θα μετρηθούν", ο χρήστης ονομάζει κάθε επιφάνεια που θέλει να μετρήσει και την καταγράφει πάνω στο μηχανολογικό του σχέδιο για να έχει μια πλήρη εικόνα των ονομάτων κάθε γεωμετρίας. Από τη στιγμή λοιπόν που έχουν μετρηθεί τα απαραίτητα επίπεδα με τη βοήθεια της CMM, ο χειριστής μπορεί να υπολογίσει τις απαραίτητες αποστάσεις. Για παράδειγμα, [Σχήμα 3.17](#) για τον υπολογισμό της απόστασης 44mm και όρια ανοχής ± 0.1 , οι μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν είναι τα δυο παράλληλα επίπεδα (ep3 και ep A).



Σχήμα 3.17: Όψη μηχανολογικού σχεδίου με βοηθητικές σημειώσεις για τη διευκόλυνση του χρήστη να θυμάται τις επιφάνειες



Με την εντολή Element Distance [Σχήμα 3.18](#) μπορεί ο χειριστής να υπολογίσει αποστάσεις ανάμεσα σε διάφορα γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Στη συγκεκριμένη περίπτωση υπολογίζεται η κάθετη απόσταση ανάμεσα σε δυο επίπεδα. Δίπλα από το name, βρίσκεται η επιλογή enable tolerance. Με αυτή την εντολή ο χειριστής, αφότου εισάγει τις απαραίτητες παραμέτρους και πατήσει Ok, τότε μπορεί και αν εισάγει τις δοσμένες ανοχές σύμφωνα με το μηχανολογικό σχέδιο μαζί με τη Nominal τιμή της διάστασης και στο τέλος να δει τα αποτελέσματα των μετρήσεων του στο περιβάλλον του προγράμματος

Σχήμα 3.18: Περιβάλλον Element Distance


Auditor	Date	Part Name	Part-No.
Georgios Bilalis	30-3-2021	Temaxio 1	1

L.No	Mem. No	Job	Des.	Nominal	Tolerance	Actual	Dev.	OverSize
15	1	Circ C		3.000	-0.010	2.949	-0.051	-0.021
		Diameter			-0.030			<<-+---
21	2	Circ 1		6.300	0.100	6.306	0.006	
		Diameter			0.000			_____
25	3	Circ 2		6.300	0.100	6.306	0.006	
		Diameter			0.000			_____
29	4	Circ 3		6.300	0.100	6.302	0.002	
		Diameter			0.000			_____
33	5	Circ 4		6.300	0.100	6.299	-0.001	-0.001
		Diameter			0.000			<<-+---
37	6	Circ C 2		3.000	-0.010	2.956	-0.044	-0.014
		Diameter			-0.030			<<-+---
38	2	Circ 1	Y	37.500	0.100	37.507	0.019	
		Position	Z	14.000		13.994		**_
39	3	Circ 2	Y	33.500	0.100	37.469	29.095	28.995
		Position	Z	0.000		13.996		--->>
40	4	Circ 3	Y	32.000	0.100	32.004	0.009	
		Position	Z	11.000		10.999		*_
41	5	Circ 4	Y	32.000	0.100	31.973	0.055	
		Position	Z	11.000		11.005		****_
45	7	Circ 2		6.300	0.100	6.307	0.007	
		Diameter			0.000			_____
46	7	Circ 2	Y	37.500	0.100	37.466	0.070	
		Position	Z	14.000		13.992		*****_
65	1	Distance		41.000	0.000	41.066	0.066	0.066
		Distance ZX			-0.100			---+--->>
67	2	Distance		41.000	0.000	40.977	-0.023	
		Distance ZX			-0.100			-----
69	3	Distance		5.900	0.100	5.917	0.017	
		Distance ZX			0.000			-----
71	4	Distance		6.000	0.100	5.926	-0.074	-0.074
		Distance ZX			0.000			<<-+---

Σχήμα 3.19: Μετρήσεις τεμαχίου 1 Report1

Auditor	Date	Part Name	Part-No.
Georgios Bilalis	30-3-2021	Temaxio 1	1

L.No	Mem. No	Job	Des.	Nominal	Tolerance	Actual	Dev.	Oversize
18	1	Circ c		3.000	-0.010	2.951	-0.049	-0.019
		Diameter			-0.030			<<---+---
20	1	Circ c	Y	33.500	0.100	33.513	0.027	
		Position	Z	0.000		0.000		**---
26	2	Circ 6		2.000	0.100	1.985	-0.015	
		Diameter			-0.100			---**---
30	3	Circ 7		2.000	0.100	1.988	-0.012	
		Diameter			-0.100			---**---
31	3	Circ 6	Y	22.200	0.050	22.203	0.038	
		Position	Z	1.270		1.254		****_
32	3	Circ 7	Y	22.200	0.050	22.203	0.034	
		Position	Z	1.270		1.254		****_
46	4	Circ 1		4.200	0.100	4.203	0.003	
		Diameter			0.000			*****---
50	5	Circ 2		4.200	0.100	4.195	-0.005	-0.005
		Diameter			0.000			<<---+---
51	4	Circ 1	Y	32.500	0.100	32.476	0.064	
		Position	Z	0.000		0.022		****_
52	5	Circ 2	Y	32.500	0.100	32.508	0.038	
		Position	Z	0.000		0.017		***_
56	6	Circ 3		50.000	-0.030	49.989	-0.011	0.019
		Diameter			-0.080			---+--->>
57	6	Circ 3	Y	0.000	0.050	0.007	0.021	
		Position	Z	0.000		0.007		***_
64	8	Circ 4	X	0.000	0.100	0.000	0.022	
		Position	Y	0.000		0.011		**---
68	9	Circ 5	Y	32.500	0.100	32.515	0.043	
		Position	Z	0.000		0.016		***_

	MICROMACHINING & MANUFACTURING MODELING LAB			
	TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE - SCHOOL of PRODUCTION ENGINEERING & MANAGMENT			
		Rev.	Date of Issue	Lang. gr/en

Auditor	Date	Part Name	Part-No.
Georgios Bilalis	30-3-2021	Temaxio 1	1

L.No	Mem. No	Job	Des.	Nominal	Tolerance	Actual	Dev.	Oversize
27	2	Distance		7.700	0.000	7.642	-0.058	
		Distance XY			-0.100			---**---
36	5	Distance		44.000	0.100	44.014	0.014	
		Distance XY			-0.100			---**---
42	6	Distance		8.000	0.100	7.995	-0.005	
		Distance XY			-0.100			---*---
48	7	Distance		8.000	0.100	8.025	0.025	
		Distance XY			-0.100			---**---
57	1	Circ 1		52.000	0.100	52.036	0.036	
		Diameter			-0.100			---***---
57	1	Circ 1	Y	0.000	0.100	0.008	0.076	
		Position	Z	0.000		0.037		*****_
58	7	ep A			0.075	0.015	0.015	
		Flatness						**---
59	7	ep A			0.050		0.030	
		Parallelism						****_



- Page 1 -

Σχήμα 3.21: Μετρήσεις τεμαχίου 1 Report 3

No.	Function	Parameters
1	Protocol output	GEOPAK\Mitoyo\lucreport
2	Change probe	2
3	Plane	epA (1) Mean
6	Align base plane	epA (1) YZ plane, Origin in element
7	Change probe	3
8	Cylinder	cylinderB (1) Mean
11	Create origin	cylinderB (1) YZ
12	Change probe	2
13	Circle	Circ C (1) Mean
16	Tolerance - Circle Circ C (1)	Diameter 3.000 -0.010 -0.030
17	Align axis through point	Circ C (1) Y axis Offset = 0.000
18	Save coord. system	101
19	Circle	Circ 1 (2) Mean
22	Tolerance - Circle Circ 1 (2)	Diameter 6.300 0.100 0.000
23	Circle	Circ 3 (4) Mean
26	Tolerance - Circle Circ 3 (4)	Diameter 6.300 0.100 0.000
27	Circle	Circ 4 (5) Mean
30	Tolerance - Circle Circ 4 (5)	Diameter 6.300 0.100 0.000
31	Circle	Circ C 2 (6) Mean
34	Tolerance - Circle Circ C 2 (6)	Diameter 3.000 -0.010 -0.030
35	Tolerance Position	Element = Circ 1 (2) Width of tolerance = 0.100
36	Tolerance Position	Element = Circ 3 (4) Width of tolerance = 0.100
37	Tolerance Position	Element = Circ 4 (5) Width of tolerance = 0.100
38	Circle	Circ 2 (7) Mean
41	Tolerance - Circle Circ 2 (7)	Diameter 6.300 0.100 0.000
42	Tolerance Position	Element = Circ 2 (7) Width of tolerance = 0.100

No.	Function	Parameters
36	Tolerance Position	Element = Circ 3 (4) Width of tolerance = 0.100
37	Tolerance Position	Element = Circ 4 (5) Width of tolerance = 0.100
38	Circle	Circ 2 (7) Mean
41	Tolerance - Circle Circ 2 (7)	Diameter 6.300 0.100 0.000
42	Tolerance Position	Element = Circ 2 (7) Width of tolerance = 0.100
43	Change probe	6
44	Plane	ep1 (2) Mean
47	Plane	ep2 (3) Mean
50	Plane	ep3 (4) Mean
53	Plane	ep4 (5) Mean
56	Change probe	6
57	Plane	ep5 (6) Mean
60	Distance	Distance (1)
61	Tolerance - Distance Distance (1)	Distance 41.000 0.000 -0.100
62	Distance	Distance (2)
63	Tolerance - Distance Distance (2)	Distance 41.000 0.000 -0.100
64	Distance	Distance (3)
65	Tolerance - Distance Distance (3)	Distance 5.900 0.100 0.000
66	Distance	Distance (4)
67	Tolerance - Distance Distance (4)	Distance 6.000 0.100 0.000
68	Circle	Circ d12 (8) Mean
71	Tolerance - Circle Circ d12 (8)	Diameter 12.000 0.100 0.000
72	Distance	Distance (5)
73	Tolerance - Distance Distance (5)	Distance 18.500 0.000 -0.000
74	Save coord. system	101

Σχήμα 3.22: Αναλυτική περιγραφή των μετρήσεων του Report 1

M report 2 *		
No.	Function	Parameters
1	Change probe	1
2	Machine coordinates	
3	Open protocol	GEOPAK\Mitutoyo\Mitutoyo Standard Report
4	Change probe	2
5	Plane	epA (1) Mean
8	Align base plane	epA (1) YZ plane, Origin in element
9	Change probe	3
10	Cylinder	Cylinder B (1) Mean
13	Create origin	Cylinder B (1) YZ
14	Change probe	2
15	Circle	Circ c (1) Mean
18	Tolerance - Circle Circ c (1)	Diameter 3.000 -0.010 -0.030
19	Align axis through point	Circ c (1) Y axis Offset = 0.000
20	Tolerance Position	Element = Circ c (1) Width of tolerance = 0.100
21	Save coord. system	101
22	Change probe	5
23	Circle	Circ 6 (2) Mean
26	Tolerance - Circle Circ 6 (2)	Diameter 2.000 0.100 -0.100
27	Circle	Circ 7 (3) Mean
30	Tolerance - Circle Circ 7 (3)	Diameter 2.000 0.100 -0.100
31	Tolerance Position	Element = Circ 7 (3) Width of tolerance = 0.050
32	Circle	Circ 1 (4) Mean
35	Tolerance - Circle Circ 1 (4)	Diameter 4.200 0.100 0.000
36	Circle	Circ 2 (5) Mean
39	Tolerance - Circle Circ 2 (5)	Diameter 4.200 0.100 0.000
40	Tolerance Position	Element = Circ 1 (4) Width of tolerance = 0.100
41	Tolerance Position	Element = Circ 2 (5) Width of tolerance = 0.100
42	Circle	Circ 3 (6) Mean
45	Tolerance - Circle Circ 3 (6)	Diameter 50.000 -0.030 -0.080
46	Tolerance Position	Element = Circ 3 (6) Width of tolerance = 0.050
47	Circle	Circ 4 (8) Mean
50	Tolerance - Circle Circ 4 (8)	Diameter 55.000 0.300 0.000 Position Width of tolerance = 0.100

Σχήμα 3.23: Αναλυτική περιγραφή των μετρήσεων του Report 2

No.	Function	Parameters
1	Change probe	1
2	Load coord. system	101
3	Open protocol	GEOPAK\Mitutoyo\Mitutoyo Standard Report
4	Change probe	5
5	Plane	ep1 (1) Mean
8	Plane	ep2 (2) Mean
11	Plane	ep3 (3) Mean
14	Change probe	4
15	Plane	ep4 (4) Mean
18	Distance	Distance (2)
19	Tolerance - Distance Distance (2)	Distance 7.700 0.000 -0.100
20	Distance	Distance (4)
21	Tolerance - Distance Distance (4)	Distance 44.000 0.100 -0.100
22	Change probe	2
23	Plane	ep A (7) Mean
26	Distance	Distance (5)
27	Tolerance - Distance Distance (5)	Distance 44.000 0.100 -0.100
28	Change probe	7
29	Plane	ep 5 (8) Mean
32	Distance	Distance (6)
33	Tolerance - Distance Distance (6)	Distance 8.000 0.100 -0.100
34	Change probe	4
35	Plane	ep 5b (9) Mean
38	Distance	Distance (7)
39	Tolerance - Distance Distance (7)	Distance 8.000 0.100 -0.100
40	Change probe	2
41	Cylinder	Cylinder B (1) Mean
44	Change probe	4
45	Circle	Circ 1 (1) Mean
48	Tolerance - Circle Circ 1 (1)	Diameter 52.000 0.100 -0.100 Position Width of tolerance = 0.100
49	Tolerance Flatness	Element = ep A (7) Width of tolerance = 0.075
50	Tolerance Parallelism	Element = ep A (7) Width of tolerance = 0.050 Reference element = ep3 (3)

Σχήμα 3.24: Αναλυτική περιγραφή των μετρήσεων του Report 3

4. Product Manufacturing Information - PMI

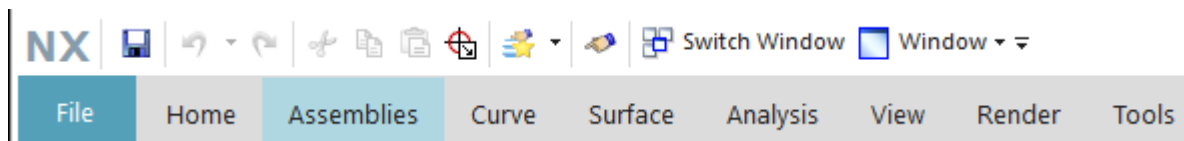
4.1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με το προηγούμενο κεφάλαιο σχετικά με τη διαστασιολόγηση των ανοχών ενός εξαρτήματος το οποίο είναι το πιο βασικό στάδιο για την υλοποίηση της τελικής μορφής του εξαρτήματος, έχει αναπτυχθεί μια μεθοδολογία που παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες ώστε να μπορεί να μετρηθεί αλλά και να κατασκευαστεί το εξάρτημα σε ψηφιακή μορφή με τη χρήση 3D συστημάτων. Στα 3D συστήματα αυτό αποκαλείται ως MBD (Model Based Definition) όπου είναι μια πλήρης ψηφιακή εξήγηση του προϊόντος στο τρισδιάστατο μοντέλο και PMI (Product Manufacturing Information) το οποίο συνεισφέρει στο MBD. Το PMI περιέχει πληροφορίες γεωμετρικών χαρακτηριστικών όπως διαστάσεις και ανοχές (GD&T, Geometric Dimensioning and Tolerancing), 3D σχόλια (μορφή κειμένου), φινίρισμα επιφάνειας και πληροφορίες υλικού. Επίσης επιτρέπει την κατασκευή και τον έλεγχο ποιότητας του εξαρτήματος χωρίς τη χρήση 2D σχεδίων μιας και όλες οι απαραίτητες πληροφορίες παρέχονται στο 3D μοντέλο σε διαφορετικές όψεις. Ένα βασικό μέρος ενός MBD είναι η ενσωμάτωση όλων των πληροφοριών του προϊόντος και κατασκευής του (PMI) στο 3D μοντέλο. Διαστάσεις, ανοχές, σημειώσεις και άλλες πληροφορίες οι οποίες βρίσκονται σε ένα μηχανολογικό σχέδιο, εμφανίζονται στο μοντέλο με άμεσες συνδέσεις για τον ορισμό της γεωμετρίας του. Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε μια ή πιο πολλές όψεις τις οποίες τις καθορίζει ο σχεδιαστής του εξαρτήματος για την πιο εύκολη ανάγνωση τους.

Ένα MBD πρέπει να περιέχει μια ολοκληρωμένη αναπαράσταση PMI ώστε τα αυτοματοποιημένα συστήματα, όπως η μηχανική κατεργασία και η επιθεώρηση, να μπορούν να επαναχρησιμοποιούν τις πληροφορίες αποτελεσματικά και σε μελλοντικές διαδικασίες. Η αναπαράσταση του PMI περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με το GD&T χωρίς γραφικά στοιχεία παρουσίασης. Η σαφήνεια του PMI είναι αρκετά σημαντική ώστε να διαβάζεται εύκολα από τους χειριστές, καταναλωτές ώστε να κατανοούν και να εμπιστεύονται τον ορισμό του μοντέλου. Η παρουσίαση του PMI πρέπει να οργανωθεί σε αποθηκευμένες προβολές με σχολιασμούς που υποστηρίζουν την πολλαπλή προβολή της επηρεαζόμενης γεωμετρίας. Η απεικόνιση των απαραίτητων πληροφοριών ενός εξαρτήματος θα γίνει με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος Siemens NX.

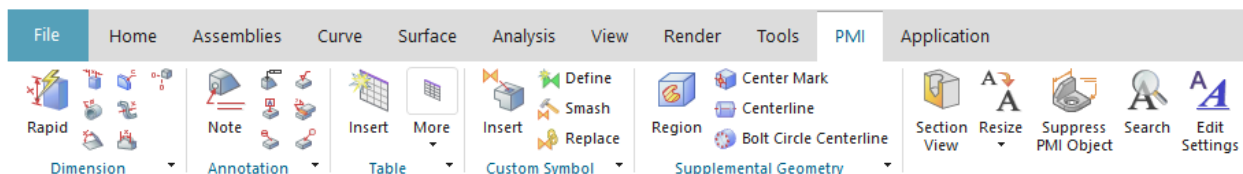
4.2 Περιβάλλον καρτελών PMI

Για να μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει το PMI πρέπει αρχικά να το ενεργοποιήσει, αυτό γίνεται πατώντας δεξί κλικ στην γκρι επιφάνεια της γραμμής File και έπειτα να επιλέξει PMI.



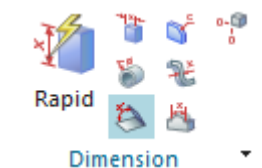
Σχήμα 4.1: Καρτέλα επιλογών Siemens NX

Το περιβάλλον με τις χρήσιμες εντολές που χρησιμοποιεί ένας σχεδιαστής για να σχεδιάσει και να διαστασιολογήσει ένα εξάρτημα φαίνεται στο Σχήμα 4.2.











Σχήμα 4.2: Περιβάλλον καρτέλας PMI

Στην πρώτη καρτέλα Σχήμα 4.3 είναι οι βασικές διαστάσεις που εισάγει ο σχεδιαστής στις διαφορετικές όψεις του εξαρτήματος.

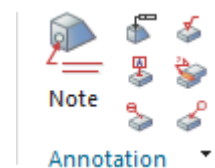


Σχήμα 2.3: Περιβάλλον καρτέλας Dimension στο PMI








 Rapid	Rapid dimension μπορεί να εφαρμόζει διάφορες μορφές διάστασης αναλόγως με το όρισμα τους στην επιλογή σημείων.
 Linear	Linear dimension δίνει τη γραμμική απόσταση από δυο σημεία επιλεγμένα πάνω στο αντικείμενο.
 Radial	Radial δείχνει τη διάσταση μιας κυκλικής οπής σαν διάμετρο ή ακτίνα.
 Angular	Angular δείχνει τη γωνία ανάμεσα σε δυο μη παράλληλες γραμμές.
 Chamfer	Chamfer δείχνει τη διάσταση ενός φαλτσοκοψίματος που έχει δημιουργηθεί.
 Thickness	Thickness δημιουργεί μια διάσταση μετρώντας την απόσταση ανάμεσα σε δυο γραμμές.
 Arc Length	Arch length δημιουργεί μια τη διάσταση γύρω από μια περιφέρεια τόξου
 Ordinate	Ordinate δημιουργεί μια διάσταση κάθετη που μετρά την απόσταση από ένα κοινό σημείο σε μια θέση σε ένα αντικείμενο κατά μήκος μιας γραμμής βάσης

Σχήμα 4.4: Εντολές καρτέλας Dimension

Δίπλα από την καρτέλα Dimension βρίσκεται η καρτέλα Annotation Σχήμα 4.5 όπου έχει να κάνει με τα σχόλια που εισάγει ο σχεδιαστής σε ένα σχέδιο του όπως ορισμός επιπέδων αναφοράς, συγκολλήσεις κ.λπ.

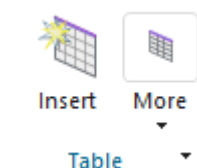


Σχήμα 4.5: Περιβάλλον καρτέλας Annotation στο PMI

 Note	Ο τύπος ετικέτας Note χρησιμοποιείται για τη δημιουργία και επεξεργασία σημειώσεων και ετικετών. Μια σημείωση αποτελείται από κείμενο ενώ μια ετικέτα αποτελείται από κείμενο επίσης αλλά με τη χρήση leader line που συνδέει το μέρος του αντικειμένου που πρέπει να σχολιαστεί με κάποιο βέλος και δίπλα το κείμενο.
 Feature Control Frame	Feature control Frame χρησιμοποιείται για την εισαγωγή συμβόλου ανοχής μορφής και θέσης και δέχεται τις απαραίτητες επεξεργασίες για τη σωστή απεικόνιση των στοιχείων.
 Datum Feature Symbol	Datum Feature Symbol χρησιμοποιείται για την απεικόνιση επιπέδων αναφοράς σε ένα εξάρτημα ή αντικείμενο.
 Datum Target	Datum target χρησιμοποιείται για την απεικόνιση επιπέδων αναφοράς σε συνδυασμό της διάστασης της επιλεγμένης επιφάνειας.
 Surface Finish	Surface finish χρησιμοποιείται για την απεικόνιση συμβόλων ποιότητας μιας επιφάνειας
 Weld Symbol	Weld Symbol χρησιμοποιείται για την απεικόνιση συμβόλων συγκόλλησης με το αντίστοιχο σύμβολο και κείμενο που αντιστοιχεί.
 Balloon	Balloon note χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό ενός στοιχείου συναρμολόγησης με την ένδειξη μιας ετικέτας.

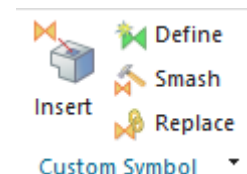
Σχήμα 4.6: Εντολές καρτέλας Annotations

Έπειτα ακολουθείται μια η καρτέλα Table Σχήμα 4.7 η οποία εισάγει έναν πίνακα για επεξεργασία, ο οποίος μπορεί αν χρησιμοποιηθεί για την εισαγωγή κειμένων, τύπων, εξαρτημάτων κ.λπ.



Σχήμα 4.7: Περιβάλλον καρτέλας Table στο PMI

Δίπλα από την καρτέλα Table βρίσκεται η Custom Symbol Σχήμα 4.8 όπου μπορεί ο χρήστης να εισάγει ένα σύμβολο μέσα από τη βιβλιοθήκη του NX.



Σχήμα 4.8: Περιβάλλον καρτέλας Custom Symbol στο PMI

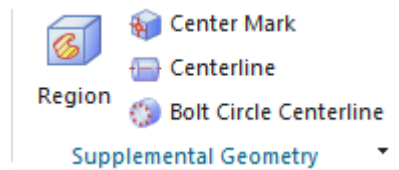
Μετά βρίσκεται η καρτέλα Supplemental Geometry με τις επιλογές εισαγωγής αξόνων, περιοχών ορίων κ.λπ. Σχήμα 4.9.

Region: Δημιουργεί μια περιοχή (ορθογώνια, κυκλική κ.λπ.) η οποία χρησιμοποιείται για να δείξει τα όρια σε ένα αντικείμενο

Center Mark: Δημιουργεί έναν σταυρό στο κέντρο ενός κύκλου.

Centerline: Δημιουργεί έναν κεντρικό άξονα σε έναν κύλινδρο

Bolt Circle Centerline: Δημιουργεί μια πλήρη ή κάποιο μέρος μια κυκλικής γραμμής περνώντας από τα κέντρα των οπών σε κυκλική μορφή.



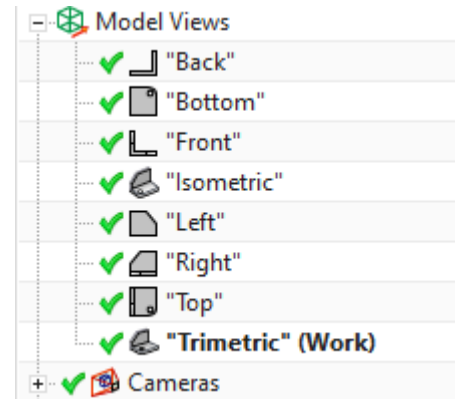
Σχήμα 4.9: Περιβάλλον καρτέλας Supplemental Geometry στο PMI

4.3 Δημιουργία Μοντέλου

Όψεις

Στην καρτέλα Part Navigator και κάνοντας επέκταση την επιλογή Model Views φαίνονται οι βασικές όψεις ενός σχεδίου Σχήμα 4.10 που έχει σαν default ο πρόγραμμα (back, bottom, front, isometric, left, right, top, trimetric).

Μπορεί ο χρήστης με δεξί κλικ πάνω στο Model Views να δημιουργήσει μια νέα όψη και να τη μετονομάσει, που θα τον βοηθήσει στην τοποθέτηση των απαραίτητων διαστάσεων.



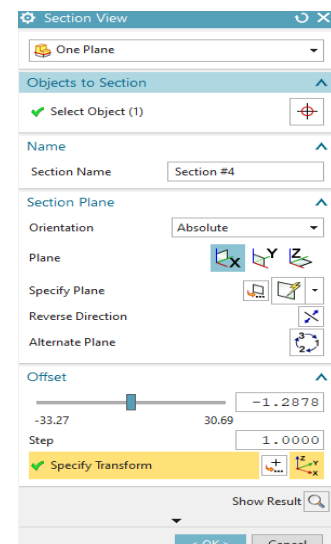
Σχήμα 4.10: Model Views, Part Navigator

Section View

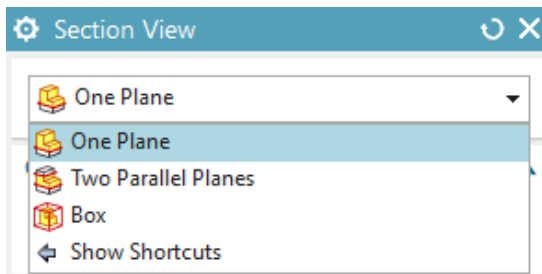
Αφού καθοριστούν οι απαραίτητες όψεις μπορεί να προσθέσει και μια όψη για την τομή του αντικειμένου επιλέγοντας στην καρτέλα PMI την επιλογή Section View Σχήμα 4.11.

Μέσα από το μενού επιλογών μπορεί ο χρήστης να προσαρμόσει την τομή του αντικειμένου στα τρία επίπεδα X Y Z όπως επίσης να κάνει offset το νοητό επίπεδο που κόβει το αντικείμενο σε κάποια απόσταση από την αρχή που έχει οριστεί.

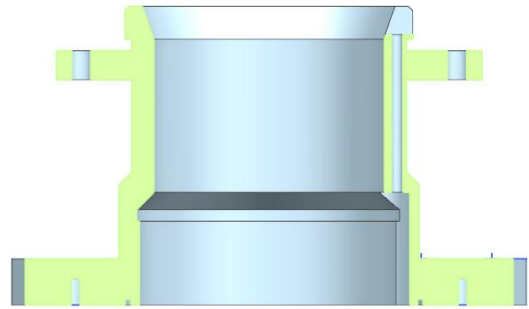
Στον τύπο μπορεί να επιλεγθεί ένα επίπεδο, δυο παράλληλα με απόσταση ρυθμιζόμενη, και ένα κουτί από 6 επίπεδα Σχήμα 4.12.



Σχήμα 4.11: Περιβάλλον Section View



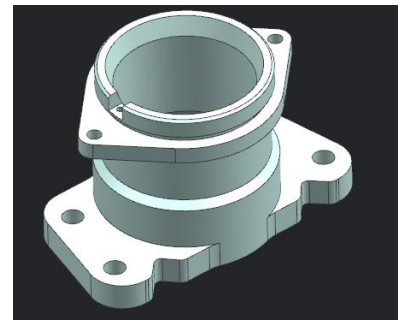
Σχήμα 4.12: Section View επιλογή planes



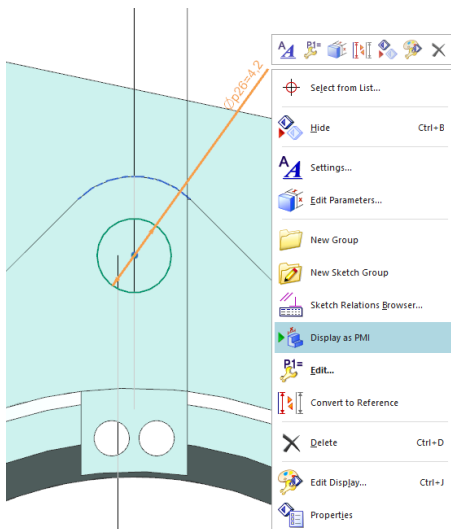
Σχήμα 4.13: αποτέλεσμα Section View, one plane

4.4 Φτιάχνοντας το PMI

Θα εφαρμοστεί PMI σε ένα εξάρτημα το οποίο διαθέτετε πλήρως μηχανολογικό σχέδιο και σχεδιάστηκε από την αρχή στο πρόγραμμα Siemens NX, με όλες τις απαραίτητες διαστάσεις, ανοχές ώστε να γίνει ο ποιοτικός έλεγχος στη συνέχεια.



Σχήμα 4.14: 3D model
Τεμάχιο 1 για εφαρμογή PMI



Σχήμα 4.15: Ορισμός PMI διάστασης από το περιβάλλον σχεδίασης

Η χρήση λειτουργίας PMI είναι ήδη δυνατή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδιασμού στο περιβάλλον του NX. Ανοίγοντας το sketch, με δεξί κλικ στην επιθυμητή διάσταση, εμφανίζεται ένα μενού με διάφορες επιλογές, επιλέγεται η εντολή "Display as PMI".

Αφού κλείσει το sketch στο οποίο ενεργοποιήθηκε το PMI, αποθηκεύονται οι διαστάσεις μόνο στην προβολή μοντέλου που ήταν ενεργή τη στιγμή της επεξεργασίας. Ωστόσο, τα παραγόμενα PMI μπορούν να εμφανιστούν σε μια, σε μερικές ή σε όλες τις όψεις που έχει καταχωρήσει ο χρήστης. Αυτό επιτυγχάνεται με δεξί κλικ πάνω σε μια διάσταση PMI, επιλογή Display, επιλογή in all views ή in views αναλόγως ποιες θέλει να επιλέξει.

Δεν είναι δυνατόν πάντα να ληφθούν όλες οι διαστάσεις από το σκίτσο, που αποσκοπούν στη διασφάλιση μιας λειτουργικής δομής ενός μοντέλου. Για τον σκοπό αυτόν χρησιμοποιούνται

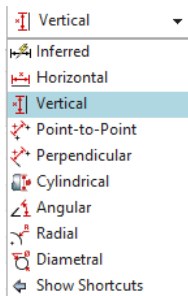
στη λειτουργία του PMI οι διαστάσεις από την καρτέλα Dimension. Υπάρχει δυνατότητα για 8 διαφορετικές επιλογές διαστάσεων, Σχήμα 4.4 Κεφάλαιο 4.2.

4.4.1 Rapid Dimension

Χρησιμοποιώντας τη γρήγορη διάσταση (Rapid Dimension) μπορεί να υπολογιστούν άμεσα αρκετά διαφορετικά είδη διαστάσεων από ένα σύνολο ακμών, επιφανειών όπου την ορίζουν.



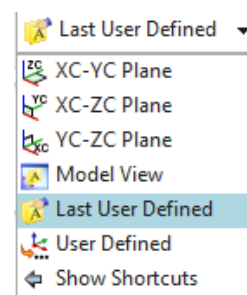
Σχήμα 4.3: Εικονίδιο Rapid στο PMI



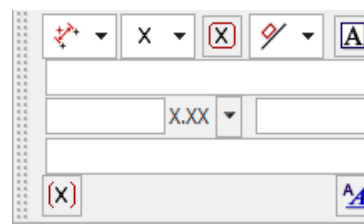
Οι ακόλουθοι τύποι διαστάσεων υποστηρίζονται κατά τη δημιουργία διάστασης με τη χρήση rapid dimension. Δίνει τη δυνατότητα πρόσβασης σε όλες τις άλλες διαστάσεις σε μια λειτουργία διαχωρίζοντας τη διαδικασία διαστασιολόγησης. Σε περίπτωση που δεν επιθυμεί ο διαχειριστής αυτού του είδους διάσταση, μπορεί να αλλάξει την μορφή της ανά πάσα στιγμή. Σε περίπτωση που επιλέξει δυο αντιδιαμετρικές γραμμές από μια τομή ενός κυλίνδρου, αυτόματα θα εμφανιστεί η διάσταση αλλά μπορεί να γίνει επιλογή Cylindrical ώστε να εμφανιστεί και το σύμβολο της διαμέτρου \varnothing .

Σχήμα 4.4: Επιλογή τοποθέτησης διάστασης PMI

Με βάση την όψη που έχει επιλέξει χειριστής, μπορεί στην επιλογή Orientation να διαμορφώσει και το επίπεδο στο οποίο επιθυμεί να φαίνεται η διάσταση. Τα επίπεδα XY / XZ / YZ ή model view μπορούν να χρησιμεύσουν ως προσανατολισμός. Επίσης μπορεί να καθοριστεί και ένα επίπεδο με βάση της επιθυμία του χρήστη (User Defined) Σχήμα 4.5. Associated Objects Σχήμα 4.6: Η σύνδεση αντικειμένων είναι απαραίτητη για τη δημιουργία σχέσης μεταξύ της διάστασης που εφαρμόζεται και του στοιχείου, μιας και είναι πολύ σημαντικό κομμάτι για την δημιουργία μοντελοποίησης CMM inspection. Καθώς επιλέγονται τα απαραίτητα σημεία αναφοράς για να εμφανιστεί η διάσταση, μαζί με αυτήν εμφανίζεται και ένα παράθυρο Σχήμα 4.7 στο οποίο γίνονται αλλαγές μεμονωμένα στη διάσταση και προστίθενται έξτρα παράμετροι όπως η μέθοδος διαστασιολόγησης, ο προσανατολισμός και οι ανοχές. Επιπλέον, μπορεί να γίνει η προσθήκη σχολίων όπως για ένδειξη 2X ή THRU (τρύπα διαμπερής) και η επιλογή των δεκαδικών ψηφίων στην τιμή της ανοχής.



Σχήμα 4.5: Επιλογή επιπέδου προβολής διάστασης PMI



Σχήμα 4.7: Περιβάλλον διαχείρισης μεμονωμένης διάστασης

Associated Objects

✓ Select Object (1)

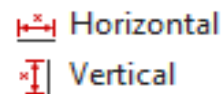


Σχήμα 4.6: Associated Objects

4.4.2 Διαστάσεις PMI

Οι βασικές διαστάσεις PMI βασίζονται στο ίδιο μοτίβο με τη Rapid Dimension και τα μενού τους είναι παραπλήσια με τις ίδιες δυνατότητες, επιλογή επιπέδου για να φαίνεται η όψη, Associated objects, Origin και Alignment.

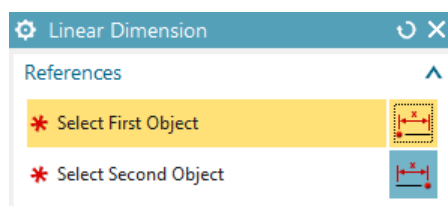
Οι μέθοδοι "Οριζόντια / Κάθετη" χρησιμοποιούνται για τη διάσταση της οριζόντιας ή κάθετης απόστασης μεταξύ δύο αντικειμένων. Για να γίνει αυτό, επιλέγονται δύο αντικείμενα και το πρόγραμμα δημιουργεί την άμεση οριζόντια ή κατακόρυφη διάσταση. Στο Σχήμα 4.10 είναι ένα παράδειγμα ενός αποτελέσματος μιας οριζόντιας διαστασιολόγησης.



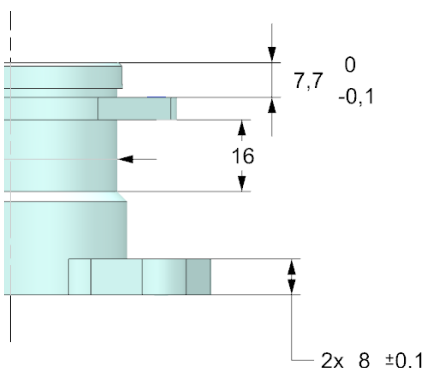
Σχήμα 4.8: Οριζόντια ή κάθετη απεικόνιση διάστασης

Ως πρώτη γεωμετρία αναφοράς, μπορεί να επιλέξει ο χειριστής τόσο ένα σημείο όσο και ένα άκρο πάνω στην επιθυμητή επιφάνεια. Το αντίστοιχο άκρο χρησιμοποιείται ως στοιχείο αναφοράς για τη δημιουργία διαστάσεων.

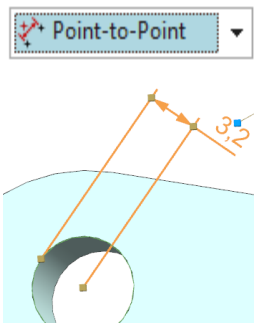
Η κατακόρυφη λειτουργία διαστάσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τον ίδιο τρόπο. Στο Σχήμα 4.10 φαίνονται τα πάχη των εξοχών πάνω στο κυλινδρικό σώμα.



Σχήμα 4.9: Επιλογή αντικειμένων για ευθύγραμμη απεικόνιση διάστασης PMI

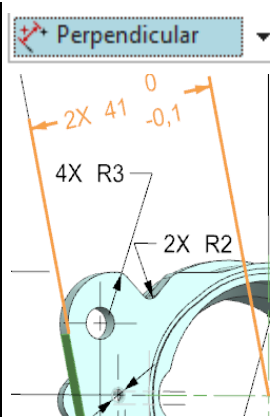


Σχήμα 4.10: Αποτέλεσμα οριζόντιας διαστασιολόγησης



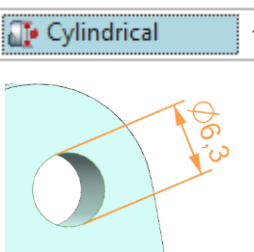
Σχήμα 4.11: Αποτέλεσμα Point-to-Point

Η μέθοδος από σημείο σε σημείο (Point to point) χρησιμοποιείται για τη διάσταση της μικρότερης απόστασης μεταξύ δύο αντικειμένων.



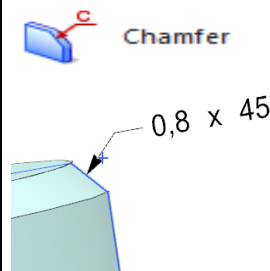
Σχήμα 4.12: Αποτέλεσμα Perpendicular

Η μέθοδος κάθετης διαστασιολόγησης (Perpendicular), χρησιμοποιείται για την απεικόνιση διάστασης ενός κυλίνδρου από μια επιφάνεια σε γωνία με τον άξονα του.



Σχήμα 4.13: Αποτέλεσμα Cylindrical

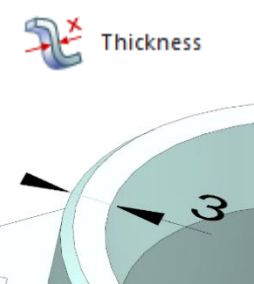
Με τη μέθοδο κυλίνδρου (Cylindrical) πραγματοποιείται, η διάσταση διαμέτρου στην 2D όψη. Το σύμβολο της διαμέτρου μπορεί να αλλάξει και να γίνει σύμβολο ένδειξης ακτίνας.



Σχήμα 4.14: Αποτέλεσμα Chamfer

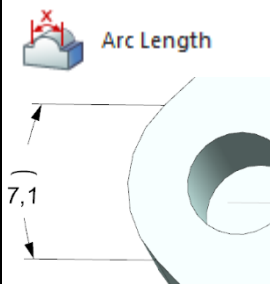
Με την εντολή Chamfer, δείχνει ο σχεδιαστής τη γωνία την οποία δημιουργεί η κοπή των δυο κάθετων γραμμών καθώς και το μήκος της νέας ακμής που

δημιουργείται. Αναγνωρίζει μόνο εντολές Chamfer που έχουν παραχθεί από το σχεδιαστικό κομμάτι (2D sketch) ή το μορφολογικό χαρακτηριστικό Chamfer και όχι κάποιο είδος τρίπλευρης παρόμοιας επιφάνειας που έχει δημιουργηθεί.



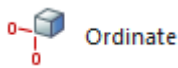
Σχήμα 4.15: Αποτέλεσμα Thickness

Με την εντολή Thickness εκφράζεται η απόσταση μεταξύ δύο καμπυλών. Όταν γίνεται η επιλογή, το σημείο στο οποίο επιλέγεται η πρώτη καμπύλη είναι σχετικό, καθώς η απόσταση από τη δεύτερη καμπύλη μετρείται ως προς την κάθετη κατεύθυνση του πρώτου σημείου.

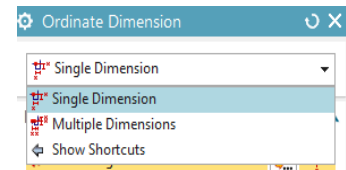


Σχήμα 4.16: Αποτέλεσμα Arc Length

Η εντολή Arc Length χρησιμοποιείται για τη δημιουργία διαστάσεων για τόξα, δηλαδή μια γραμμή κατά μήκος της περιφέρειας ενός τμήματος ενός κύκλου.



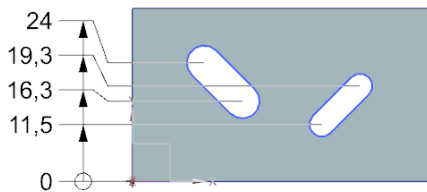
Σχήμα 4.17:
Συμβολισμός
Ordinate Dimension



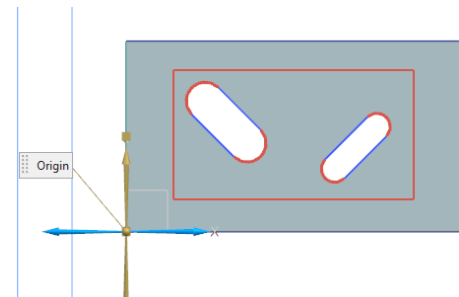
Σχήμα 4.18:
Περιβάλλον
Ordinate Dimension

Η εντολή Ordinate χρησιμοποιείται για να δημιουργεί κάθετες διαστάσεις οι οποίες μετράνε τη γραμμική απόσταση από ένα σταθερό σημείο (origin) και ενός αντικειμένου. Οι διαστάσεις μπορούν να δημιουργηθούν για μεμονωμένα αντικείμενα (Single dimension) ή για πολλαπλά (Multiple Dimension). Για τις simple dimension και multiple dimension, η επιλογή origin είναι κοινή όπως και η επιλογή περιθωρίων (Define Margins) όπου δημιουργούν βοηθητικές γραμμές που διευκολύνουν την καθορισμένη τοποθέτηση των διαστάσεων.

Στην πολλαπλή διάσταση προσθέτει ο χειριστής τις έξτρα διαστάσεις που θέλει να εισάγει. Η επιλογή μπορεί αν γίνει σε ένα πλαίσιο με τη βοήθεια του κέρσorra, για πολλαπλό μαρκάρισμα γεωμετριών. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μόνο κέντρο κύκλων, όπως στο Σχήμα 4.2



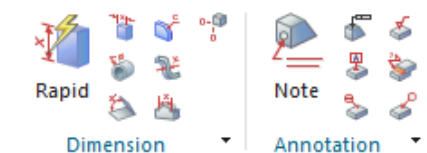
Σχήμα 4.19: Αποτέλεσμα Multiple dimension
μόνο κέντρων κύκλων



Σχήμα 4.20: Επιλογή κέντρο
κύκλων για την απεικόνιση
διαστάσεων

4.4.3 Εισαγωγή σχολίων

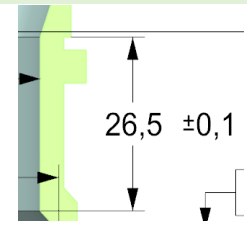
Σε ένα μηχανολογικό σχέδιο εκτός από τον καθορισμό των διαστάσεων, πρέπει να καθοριστούν και τα πεδία ανοχής, καθώς και οι απαραίτητοι ορισμοί μορφής και θέσης των επιμέρους στοιχείων. Στη λειτουργία PMI και στην καρτέλα Annotations, περιέχονται όλες οι απαραίτητες λειτουργίες λεπτομερειών για το σκοπό αυτό.



Σχήμα 4.21: Dimension και Annotation, PMI

4.4.4 Ανοχές PMI

Επιλέγοντας τις ακμές ή τις απαιτούμενες επιφάνειες αυτόματα προβάλλεται η διάσταση που έχει οριστεί τη συγκεκριμένη γεωμετρία από το sketch. Μετά την επιλογή του δεύτερου χαρακτηριστικού εμφανίζεται το παράθυρο text. Σε αυτό το παράθυρο καθορίζεται ο τύπος της ανοχής, το δεκαδικό μέρος των ψηφίων, εισαγωγή σχολίου κ.λπ.

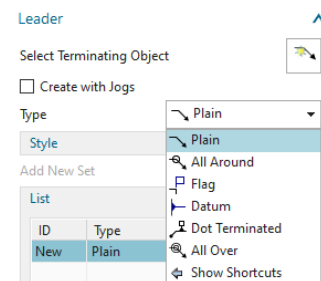


Για την απεικόνιση ανοχών μορφής και θέσης το πρόγραμμα διαθέτει την εντολή Feature Control Frame και σύμφωνα με το DIN EN ISO 1101 εμπεριέχει όλες τις απαραίτητες λεπτομέρειες. Η εντολή αυτή χρησιμοποιείται για τη δημιουργία του συμβόλου για τον ορισμό του σχήματος ή της ανοχής θέσης.

Σχήμα 4.22: Απεικόνιση διάστασης με ανοχή

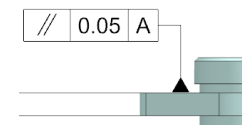
Στο κεφάλαιο 4.4.1 αναπτύχθηκαν οι συγκεκριμένες ανοχές τοποθέτησης και μορφής και αναλύθηκε λειτουργία τους. Για έναν σχεδιαστή ο οποίος σχεδιάζει τεμάχια προς επεξεργασία

είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζει την ιδιότητα κάθε ανοχής ώστε όταν φτάσει το τεμάχιο σε διαδικασία κατασκευής να μην υπάρξουν προβλήματα, όπως ανασχεδιασμός αντικειμένου για λανθασμένες ανοχές. Τα αρχικό περιβάλλον της εντολής Feature Control frame είναι κοινό με τις υπόλοιπες βασικές διαστάσεις, όπως επιφάνεια προβολής του χαρακτηριστικού και ευθυγράμμιση.



Σχήμα 4.24: Leader

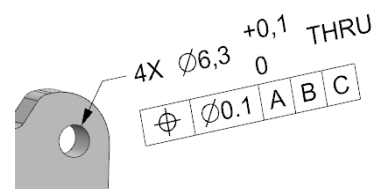
Η εντολή Leader ενώνει την επιφάνεια που θα τοποθετηθεί η ανοχή με το πλαίσιο της ιδιότητας όπως στο Σχήμα 4.25. Η ανοχή απεικονίζει την επιφάνεια στην οποία εδράζεται η γραφή να είναι παράλληλη με το επίπεδο αναφοράς A.



Σχήμα 4.23: Επιλογή είδους ανοχής

Σχήμα 4.25: Απεικόνιση ανοχή παραλληλότητας

Σε περίπτωση περισσότερων επιπέδων αναφοράς, όπως σε ανοχή τοποθέτησης, υπάρχει η δυνατότητα Primary Datum Reference, Secondary Datum Reference και Tertiary Datum Reference.



Σχήμα 4.26: Απεικόνιση ανοχής με 3 συστήματα αναφοράς

4.5 Αποτέλεσμα PMI

Για το περισσότερα προϊόντα η γεωμετρία τους είναι κρίσιμη και περιγράφεται με στερεά 3D μοντέλα. Αυτού του είδους μοντέλα στον υπολογιστή είναι ακριβή, αλλά οι διαδικασίες κατασκευής που μεταμορφώνουν έναν όγκο υλικού στο επιθυμητό αντικείμενο παράγουν ανοχή. Τα ίδια τα εξαρτήματα του προϊόντος πρέπει να είναι εντός ανοχής για να πληρούν τις απαιτήσεις που έχει ορίσει ο σχεδιαστής για το συγκεκριμένο προϊόν. Οι πληροφορίες κατασκευής προστέθηκαν στα σχέδια ως σημειώσεις, διαστάσεις, ανοχές και σύμβολα μετά την ολοκλήρωση της μοντελοποίησης,

Η σωστή χρήση του PMI μπορεί να προσφέρει αρκετή εξοικονόμηση χρόνου σε σχέση με τον παλαιό σχεδιασμό και τη διαδικασία σύνταξης. Καθώς ένας μηχανικός μοντελοποιεί ένα αντικείμενο μπορεί αμέσως μετά σε ελάχιστο χρονικό διάστημα να προσθέσει στο σχέδιο ένα είδος γεωμετρικού χαρακτηριστικού (GD&T), όπως η προσθήκη απαίτησης παραλληλότητας σε δυο επιφάνειες, σημειώνοντας την απόλυτη και σχετική ανοχή θέσης ενός μοτίβου οπών ή προσθέτοντας μια σημείωση συναρμολόγησης για μια διάσταση αναφοράς προϊόντος.

Με τη βοήθεια του λογισμικού ελέγχου PMI, μπορεί να επικυρωθεί η σύνταξη των GD&T και τα εργαλεία ανάλυσης μπορούν να αξιολογήσουν τις κρίσιμες ανοχές, να αναδείξουν ποιες ανοχές χρειάζονται κάποιου είδους χαλάρωσης και ποιες είναι αποδεκτές. Αυτό πέρα από το εξοικονομεί χρήματα ο μηχανικός, η διάρκεια αυτού του ελέγχου γίνεται σε πραγματικό χρόνο ενώ παλιά μπορούσε να διαρκέσει ημέρες ή εβδομάδες.

Η σημασιολογική φύση των πληροφοριών έχει ακόμη μεγαλύτερο αντίκτυπο στην κατασκευή. Μπορεί να πραγματοποιηθεί αυτοματοποίηση από τα δεδομένα που αποθηκεύονται και το PMI. Οι πρόσθετες ή αφαιρετικές διαδικασίες μπορούν να προσδιοριστούν με βάση τα χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων, όπως η τοποθεσία κατασκευής, το κόστος, ο όγκος και η χωρητικότητα του. Μόλις οριστεί η στρατηγική, τα προγράμματα CNC μπορούν να διαβάσουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (GD&T).

5. Σύνοψη

Αντικείμενο της εργασίας είναι η χρήση μηχανών τύπου CMM για τη μέτρηση ανοχών διαστάσεων, μορφής και θέσης καθώς και η χρήση της σε εφαρμογές αντίστροφης μηχανικής. Παράλληλα έγινε και η παρουσίαση των ανοχών διαστάσεων. Μορφής και θέσης σε σύστημα CAD, SIEMENS NX στο τρισδιάστατο μοντέλο για τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου του προϊόντος.

Στο πρώτο κεφάλαιο της διπλωματικής αναπτύχθηκε η θεωρία των ανοχών. Οι ανοχές διαστάσεων δείχνουν το καθορισμένο όριο στο οποίο είναι επιτρεπτό να κυμαίνεται μια διάσταση σε ένα κατασκευασμένο αντικείμενο για να είναι αποδεκτό. Καθώς η μηχανική προχώρησε και χρειάστηκαν πιο απαιτητικά και περίπλοκα αντικείμενα να κατασκευαστούν, γι' αυτό δημιουργήθηκε η γεωμετρική διαστασιολόγηση και η τοποθέτηση ανοχών θέσης και μορφής (Geometric Dimensioning and Tolerancing - GD&T). Η χρήση αυτής της μεθόδου διευκολύνει την περιγραφή ενός εξαρτήματος ή μιας συνδεσμολογίας εξαρτημάτων και μειώνει τον αριθμό σημειώσεων, διαστάσεων και ανοχών σε ένα μηχανολογικό σχέδιο. Τέλος με τη βοήθεια παραδειγμάτων διάφορων γεωμετριών αναπτύχθηκαν οι συμβολισμοί των ανοχών θέσης και μορφής.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναπτύχθηκε η θεωρία αντίστροφης μηχανικής βασισμένη πάνω σε συλλογή σημείων από μηχανές μέτρησης διαστάσεων (CMM) και έγινε μια εφαρμογή ψηφιοποίησης μιας πτερωτής από ένα τούρμπο αυτοκινήτου. Το συγκεκριμένο παράδειγμα έγινε από την αρχή συλλέγοντας σημεία στην επιφάνεια του αντικειμένου και με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος SIEMENS NX, έγινε η δημιουργία και η ένωση των επιφανειών ώστε να γίνει η ολοκλήρωση του στερεού μοντέλου του αντικειμένου. Το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση ροής αέρα μέσα σε ένα κέλυφος.

Στο τρίτο κεφάλαιο έγινε εφαρμογή ποιοτικού ελέγχου ενός τεμαχίου στο οποίο υπήρχε το μηχανολογικό σχέδιο με της απαραίτητες πληροφορίες. Η μέτρηση έγινε με την ίδια μηχανή μέτρησης διαστάσεων που έγινε και η εφαρμογή αντίστροφης μηχανικής. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων ήταν σε πλειοψηφία εντός ορίων ενώ σε μερικές μέτρησης έσφαλαν και είχαν μια μικρή απόκλιση από το όριο ανοχής. Επίσης εξηγήθηκαν τεχνικές για τη σωστή συλλογή σημείων διάφορων γεωμετριών και έγινε αναλυτικά η διαδικασία μέτρησης και εφαρμογής του πρώτου κεφαλαίου θεωρίας ανοχών πάνω στο τεμάχιο.

Στο τελευταίο κεφάλαιο έγινε αναφορά σε μια μέθοδο απεικόνισης διαστάσεων και ανοχών MBD (Model Based Definition). Το βασικό μέρος ενός MBD είναι ενσωμάτωση όλων των πληροφοριών του προϊόντος κατασκευής στο 3D μοντέλο. Στο 3D πρόγραμμα Siemens NX όπου έγινε και η ψηφιοποίηση του τεμαχίου του κεφαλαίου 3, εφαρμόστηκε η μέθοδος PMI (Product Manufacturing Information) όπου χρησιμοποιείται για την απεικόνιση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών όπως διαστάσεις και ανοχές, τρισδιάστατα σχόλια, φινιρίσματα επιφάνειας και πληροφορίες υλικού.

6. Βιβλιογραφία

- [1] Αντωνιάδης, Α., 2013. Μηχανολογικό Σχέδιο. 2nd ed. Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα.
- [2] Μπιλάλης, Ν. and Μαραβελάκης, Ε., 2020. Συστήματα CAD/CAM και Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση. 3rd ed. Αθήνα: ΚΡΙΤΙΚΗ.
- [3] n.d. Geometrical tolerancing according to DIN EN ISO 1101.
- [4] Flack, D., 2014. Good Practice Guide No. 41 CMM Measurement Strategies. [ebook] Hampton Rd, Teddington TW11 0LW, United Kingdom: National Physical Laboratory, p.119. Available at: <<https://www.npl.co.uk/gpgs/cmm-measurement-strategies>>.
- [5] Keyence.com. 2021. Measuring Form Tolerance | GD&T Fundamentals | KEYENCE America. [online] Available at: <<https://www.keyence.com/ss/products/measure-sys/gd-and-t/form-tolerance/>> [Accessed 25 April 2021]
- [6] Giannelis, A., n.d. Reverse Engineering of an Impeller by using Laser Scanning Technology. [ebook] International Hellenic University. Available at: <<https://repository.ihu.edu.gr/xmlui/handle/11544/14473>>.
- [7] 2020. Product Manufacturing Information Provides a Base for the Digital Twin. [ebook] CIMdata, p.3. Available at: <<https://www.cimdata.com/en/resources/complimentary-reports-research/commentaries/item/14540-product-manufacturing-information-provides-a-base-for-the-digital-twin-commentary#:~:text=PMI%20provides%20a%20foundational%20base,finish%2C%20material%20specifications%2C%20etc.>>>.
- [8] 2020. Mechanicalengblog. [online] Available at: <<https://mechanicalengblog.com/siemens-nx/nx-modeling/>>.
- [9] Hexagon Manufacturing Intelligence. 2021. Intro to Coordinate Metrology. [online] Available at: <<https://www.hexagonmi.com/solutions/technical-resources/metrology-101/intro-to-coordinate-metrology>> [Accessed 13 May 2021].
- [10] 1989. Assessment of position, size and departure from nominal form of geometric features. Manchester: British Standard.